VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV
ENERGY INSTITUTE

VYUŽITÍ CHYTRÝCH MOBILNÍCH TELEFONŮ PRO MĚŘENÍ V TECHNICE PROSTŘEDÍ

SMARTPHONES AS EXPERIMENTAL TOOLS TO TAKE MEASUREMENTS IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Jan Bernard**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	**Jan Bernard**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.**
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Využití chytrých mobilních telefonů pro měření v technice prostředí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Současné chytré mobilní telefony obsahují větší počet snímačů různých veličin. Dostatečný výpočetní výkon a existence různých aplikací dává předpoklad pro využití těchto zařízení k měření signálů různých veličin, v našem případě veličin užívaných v technice prostředí. Mohou např. 1) zcela nahradit měřicí přístroj (využitím vestavěných snímačů), 2) použít připojitelné moduly, 3) podporovat stávající měřicí přístroje a rozšířit jejich funkcionalitu, 4) sloužit jako snímač a převodník fyzikálních veličin, 5) zaznamenat okrajové, atmosférické podmínky měření a sloužit pro dokumentaci měření. Uvedené způsoby dávají určité předpoklady k daným měřením, diskutabilní je však kvalita výsledků i další limity těchto zařízení. Tato práce je zaměřena na popis možností měření pomocí chytrých mobilních telefonů a ověření pro konkrétní případ. Student pro porovnání použije profesionální měřicí přístroj, který se naučí používat.

Cíle bakalářské práce:

Strukturovaná rešerše využití současných chytrých mobilních telefonů pro měření veličin v technice prostředí, možnosti a limity, způsoby, úrovně a možnosti nahrazení specializovaných přístrojů z pohledu přesnosti měření, funkcionality, specifikace vestavěných senzorů, dostupné aplikace pro vybraný typ měření.

Volba jedné veličiny v technice prostředí, která bude podrobně popsána, vyhledání dostupných aplikací pro vybraný typ měření, jejich vyzkoušení, výběr několika perspektivních aplikací.

Sestavení experimentu pro demonstraci možností a ověření přesnosti měření konkrétního mobilního zařízení vůči profesionálnímu přístroji. Doporučení, pro jaký charakter měření je zařízení vhodné, s jakou aplikací, s jakou očekávanou přesností.

Seznam literatury:

PAVELEK, Milan a Josef ŠTĚTINA. Experimentální metody v technice prostředí. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3426-4.

SMETANA, Ctirad. Hluk a vibrace: měření a hodnocení. Praha: Sdělovací technika, 1998. ISBN 80-901936-2-5.

NAVRÁTIL, Miroslav a Oldřich PLUHAŘ. Měření a analýza mechanického kmitání: metody a přístroje. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.

CIERPKA, Christian, Rainer HAIN a Nicolas A. BUCHMANN. Flow visualization by mobile phone cameras. Experiments in Fluids [online]. 2016, 57(6), - [cit. 2016-11-14]. DOI: 10.1007/s00348-016-2192-y. ISSN 0723-4864. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/s00348-016-2192-y

SANS, Jose Angel, Javier MANJÓN, Vanesa CUENCA-GOTOR, Marcos Herminio GIMENÉZ-VALENTÍN, Isabel SALINAS, J. J. BARREIRO, Juan Antonio MONSORIU a Jose Antonio GOMEZ-TEJEDOR. Smartphone: a new device for teaching Physics. In: HEAd'15. Conference on Higher Education Advances [online]. Editorial Universitat Politecnica de Valencia, 2015, s. 415-422 [cit. 2016-11-14]. DOI: 10.4995/HEAd15.2015.332. ISBN 9788490483404. Dostupné z: http://ocs.editorial.upv.es/index.php/ HEAD/HEAD15/paper/view/332

GONZÁLEZ, Manuel Á a Miguel Á GONZÁLEZ. Smartphones as experimental tools to measure acoustical and mechanical properties of vibrating rods. European Journal of Physics [online]. 2016, 37(4), 045701- [cit. 2016-11-14]. DOI: 10.1088/0143-0807/37/4/045701. ISSN 0143-0807. Dostupné z: http://stacks.iop.org/0143-0807/37/i=4/a=045701?key=crossref.0e45dc7a48849b4a538dafe32e5b449f

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 14. 11. 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ DĚKANÁT L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá měřením fyzikálních veličin pomocí chytrých telefonů. Uvádí seznam senzorů, kterými telefony disponují a krátce popisuje jejich funkci při běžném používání a jejich využití při měření nejen fyzikálních veličin. Větší důraz je kladen na snímače mechanických veličin, u kterých jsou uvedeny i limity měření a také očekávané nepřesnosti naměřených hodnot. Dále studie pojednává o přídavných zařízeních, která umožňují překročit limity vestavěných snímačů a tím zpřesnit měření. Je zde také uvedeno několik rešerší o již provedených měření mechanických veličin s chytrými telefony. V poslední části práce je popsán experiment, během kterého šest mobilů se systémem Android a šest aplikací bylo testováno měřením signálu růžového šumu. Z výsledků vyplývají dvě hlavní skutečnosti. Měření telefonem bez předešlé kalibrace nelze považovat za spolehlivé měření, odchylky se mohou pohybovat i v řádu desítek decibelů. Avšak telefony po kalibraci v rozsahu hladin 45 – 85 dB, ve kterém je chyba měření lineární, je možné použít k měření hluku s odchylkou do 2 dB.

Klíčová slova: chytré telefony, senzory, mechanické veličiny, hluk, měření, aplikace, přídavná zařízení

ABSTRACT

The thesis is focused on the measuring of the physical quantities by the means of smartphones. It gives a list of the sensors which smartphones contain and it briefly describes their function in ordinary use and their use for the measuring not only physical quantities. Sensors of the mechanical quantities are documented in a greater extent. The measurement limits are addressed as well as the information what inaccuracies of measured quantities can be expected. The study also deals with the added devices which help to overcome the limits of inbuilt sensors and by that they make the measurement more accurate. A review of several researches on already made measurements of the mechanical quantities with smartphones is also given. The last part of the study describes an experiment during which six mobile phones with Android system and six applications were tested by measuring a pink noise signal. Two main facts follows from the results. The measurement with a phone calibrated previously cannot be considered as reliable, the errors can be in the rate of tens of decibels. Whereas phones after calibration in the levels range 45 – 85 dB, when the measuring error is linear, can be used for measurement of the noise with the error less than 2 dB.

Key words: smartphones, sensors, mechanical quantities, noise, measurement, applications, additional device

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BERNARD, J. *Využití chytrých mobilních telefonů pro měření v technice prostředí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Využití chytrých mobilních telefonů pro měření v technice prostředí“ vypracoval samostatně a s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Brně, dne 25. 5. 2017 …….

Jan Bernard

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu práce panu doc. Ing. Janu Jedelskému, Ph.D. za odborné vedení, podnětné rady a za poskytnutí a vypůjčení všech zařízení potřebných k provedení experimentu. Dále bych chtěl poděkovat všem studentům, kteří mi s ochotou propůjčili své telefony k měření.

Práce vznikla za podpory projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu "Národní program udržitelnosti I."

This work was created with the support of the project LO1202 NETME CENTRE PLUS funded by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic under the National Sustainability Programme I.

Obsah

Úvod ... 15
1 Senzory chytrých telefonů ... 17
1.1 Senzory mechanických veličin ... 17
1.1.1 Akcelerometr ... 17
1.1.2 Gyroskop ... 17
1.1.3 Senzor přiblížení (proximity senzor) ... 18
1.1.4 GPS ... 18
1.1.5 Mikrofon ... 18
1.1.6 Kamera ... 19
1.2 Senzory pro měření okrajových podmínek ... 19
1.2.1 Teploměr ... 19
1.2.2 Barometr ... 19
1.2.3 Vlhkoměr ... 19
1.3 Senzory elektromagnetického záření ... 20
1.3.1 Senzor intenzity osvětlení ... 20
1.3.2 UV senzor ... 20
1.3.3 Senzor pro měření radioaktivity ... 20
1.4 Magnetické senzory ... 20
1.4.1 Magnetometr ... 20
1.4.2 Hallův senzor ... 21
1.5 Senzory biologických veličin ... 21
1.5.1 Senzor srdečního tepu ... 21
1.5.2 Senzor okysličení krve ... 21
1.6 Biometrické senzory ... 21
1.6.1 Senzor otisku prstů ... 21
1.6.2 Skener duhovky ... 22
2 Přídavná zařízení chytrých telefonů ... 23
2.1 Zařízení proměření mechanických veličin ... 23
2.1.1 Dálkoměr ... 23
2.1.2 Tachometr na kolo ... 23
2.1.3 GPS přijímač ... 23
2.1.4 Mikrofon ... 24
2.1.5 Hlukoměr ... 24
2.2 Zařízení pro měření okrajových podmínek ... 24
2.2.1 Teploměr a vlhkoměr ... 24
2.2.2 Meteostanice ... 24

2.3 Zařízení pro měření elektromagnetického záření 25
2.3.1 UV kontrolor 25
2.3.2 Detektor γ a RTG záření 25
2.4 Další přídavná zařízení 25
2.4.1 Multimetr 25
2.4.2 Termokamera 26
2.4.3 Chytré hodinky 26
3 Rešerše již provedených měření mechanických veličin pomocí chytrých telefonů. 27
3.1 Měření hluku 27
3.1.1 Evaluation of Smartphone Sound Measurement Applications 27
3.1.2 Testing the accuracy of smartphones and sound level meter application for measuring environmental noise 27
3.1.3 A study of the accuracy of mobile technology for measuring urban noise pollution in large scale participatory sensing campaigns 28
3.2 Měření zrychlení 28
3.2.1 Smartphones as Experimental Tools: Different Methods to Determine the Gravitational Acceleration in Classroom Physics by Using Everyday Devices 28
3.2.2 Acceleration Measurements Using Smartphone Sensors: Dealing with the Equivalence Principle 29
3.3 Měření rychlosti proudění 29
4 Experimentální měření hluku 31
4.1 Hladina akustického tlaku (hluku) 31
4.2 Telefony a aplikace 32
4.3 Sestavení experimentu 33
4.4 Výsledky 34
4.5 Hodnocení 38
5 Závěr 39
Seznam použitých zkratek a symbolů 40
Seznam použitých zdrojů 41

Úvod

S vývojem mobilních telefonů vznikají nové možnosti využití těchto zařízení. Jedním z nich je experimentální měření fyzikálních veličin.

V první kapitole této práce je popsáno více než desítka senzorů, kterými jsou vybaveny dnešní chytré telefony. Tyto snímače ovšem nenajdeme pouze v mobilech, ale také v tabletech, v herních konzolích nebo v noteboocích. Slouží jednak k ochraně zařízení (např.: teploměr v baterii), ale také v oblasti zábavy (např.: gyroskop a akcelerometr v pohybových hrách), k určování polohy (GPS), nebo k měření biorytmických veličin (např.: senzor srdečního tepu).

K dosažení přesnějších výsledků při měření s mobilem, můžeme použít přídavná zařízení, jejichž seznam a stručný popis se nachází v druhé kapitole. Tyto přístroje jsou vyrobené speciálně pro daná měření.

Rešerše prací, které se také zabývaly měřením pomocí chytrých telefonů, byly zapracovány do třetí kapitoly. V nich je popsáno, jak byla daná měření prováděna, jakých výsledků dosáhla, případně k jakým závěrům dospěla.

Čtvrtá kapitola práce se zabývá samotným měřením jedné z mechanických veličin chytrými telefony. K měření byla vybrána veličina akustického tlaku (hluku) z důvodu, že všechny telefony disponují mikrofony, na internetu je ke stažení přes sto aplikací určených k měření hluku a při měření hluku nehrozí nebezpečí poškození telefonu.

V závěru jsou shrnuty výsledky a přínosy této práce.

1 Senzory chytrých telefonů

Pomocí senzorů v chytrých telefonech lze měřit veličiny mechanické, kterým bude v této práci věnována větší pozornost, dále radiometrické, magnetické, biologické a biometrické. Některé mobily disponují dokonce senzory pro měření okrajových podmínek.

Z důvodů designu telefonu, se v těchto zařízení šetří místem. Proto je kladen důraz na to, aby senzory měly co možná nejmenšími rozměry. Kvalita čidel je také ovlivněna celkovou cenou telefonu, která musí být co nejnižší. Tudíž, jsou-li požadovány senzory malých rozměrů a nízkých cen, není na místě očekávat, že jimi naměřené údaje se budou moci srovnávat s údaji specializovaných přístrojů.

1.1 Senzory mechanických veličin

První skupina snímačů v telefonech je schopna měřit některé mechanické veličiny. Mezi mechanické veličiny patří rychlost, zrychlení, síla, vibrace, průtok ale i akustické veličiny nebo tvrdost a vlastnosti materiálů.

V chytrých telefonech nalezneme hned šest čidel, které mohou měřit tyto veličiny. Kromě mikrofonu a kamery se jedná se o dva pohybové senzory: akcelerometr a gyroskop a dále o senzor přiblížení a přijímač GPS.

1.1.1 Akcelerometr

Akcelerometr neboli senzor zrychlení slouží ke snímání gravitačního zrychlení. Existuje několik principů, na kterých akcelerometr může pracovat. Nejčastěji v telefonech nalezneme čidla pracující na piezoelektrickém jevu. Dalšími typy snímačů jsou například kapacitní nebo piezorezistivní [1]. Nejrozšířenější piezoelektrický akcelerometr je senzor od společnosti Apple. Je tvořený mikroskopickými krystaly, které se vlivem vibrací deformují a generují napětí odpovídající určitému zrychlení. Akcelerometr je hojně využíván k přetáčení obrazovky displeje a v mnoha herních aplikacích [2].

Při měření mechanických veličin, jako je například zrychlení, chytrým telefonem se musíme potýkat s několika omezeními. Základní omezení jsou velikost celého telefonu, složité uchycení k měřenému předmětu a konstrukční limity zařízení. Dalším limitem je přesnost, která se pohybuje od 2 % do 10 % [28], [47].

1.1.2 Gyroskop

Gyroskop je pohybový senzor, který dokáže měřit úhlovou rychlost otáčení přístroje ve třech osách a pomáhá určit polohu zařízení v prostoru. Jeho funkce využívají navigační aplikace při hledání orientace telefonu. Společně s akcelerometrem například slouží jako krokoměr.

Prvním telefonem vybaveným gyroskopem se stal v roce 2010 telefon iPhone4. V chytrých telefonech je gyroskop tvořen miniaturními součástkami, které se při náklonu zařízení pohybují a způsobují změnu kapacitance. Jedná se tedy o kapacitní senzor. [3].

Měření s gyroskopem se potýká se stejnými limity jako měření s akcelerometrem, tedy s problémy kvůli velikosti telefonu, uchycení či poškození zařízení. Omezení se týká i přesnosti získaných hodnot. Odchylka se pohybuje v rámci 6 % [29].

1.1.3 Senzor přiblížení (proximity senzor)

Pro většinu chytrých telefonů nezbytný senzor, který deaktivuje dotykovou plochu mobilu při telefonování, aby nedošlo k nechtěné aktivaci některých funkcí nebo k ukončení hovoru. Využívá se i pro bezdotykové ovládání telefonu pomocí gest ve vzdálenosti 5–10 cm od obrazovky.

Nachází se vedle sluchátkového reproduktoru a skládá se z infradiody a infradetektoru. Pokud je telefon v pohotovostním režimu nebo jej používáme, čidlo je neaktivní. Senzor začne být aktivní až ve chvíli, kdy telefonujeme [9].

Největším omezením snímače přiblížení je jeho rozlišení, to se většinou pouze dělí na stav „objekt blízko“ a „objekt daleko“.

1.1.4 GPS

GPS (součástka v telefonu je GPS přijímač) je již základní výbavou každého chytrého telefonu. GPS, celým názvem Global Positioning System, slouží k určování polohy zařízení. Poloha se lokalizuje pomocí satelitů na oběžné dráze. K určení přesné polohy mobil potřebuje informace alespoň ze tří satelitů a k určení nadmořské výšky o jeden více. Tento počet je ovšem nezbytné minimum, při kterém je lokalizování polohy nepřesné a doprovázeno chybami. Proto se k určení přesné polohy používá větší počet družic.

Přijímač je pasivní zařízení, které pouze přijímá signály od nejbližších družic a vypočítává vzdálenost, ve které se od daných družic nachází. Výpočet probíhá na základě času, kdy družice signál vyslala a kdy zařízení signál přijalo.

Jedním z hlavních omezení v používání navigací v telefonu je rychlé vybíjení baterie telefonu, která vydrží při aktivní funkci GPS řádově jen několik hodiny. Další limitací je okolní prostředí, na kterém závisí přesnost a rychlost určování polohy. GPS signál je slabší při zatažené obloze, ve městě s výškovými domy, v lese nebo v údolí. V závislosti na podmínkách se přesnost polohy pohybuje od jednotek metrů až po desítky metrů [30]. Naopak výhodou mobilů je možnost použít A-GPS (Assisted-GPS). Telefon využívá k rychlejší lokalizaci polohy data z mobilní sítě [10].

1.1.5 Mikrofon

Mikrofon je nedílnou součástí každého telefonu, samozřejmostí je i u chytrých telefonů, kde již ovšem neslouží pouze k telefonování, ale i k záznamu audia, hlasovému zadávání textu, hlasovému ovládání telefonu, ale i k měření hluku v okolí.

Dnešní telefony již nemají pouze jeden, ale některé modely obsahují až tři mikrofony. Jeden je vyhrazený pro nahrávání audia, a další dva jsou speciálně navržené pro snímání lidského hlasu při hovorech. Dvojce mikrofonů dokáže z hovoru odstranit šum z okolí [4].

Dříve byly v telefonech využívány kondenzátorové elektretové mikrofony, které jsou v posledních letech nahrazovány mikrofony MEMS. Mikrofony MEMS oproti elektretovým mají několik výhod. Například mají vyšší mechanickou odolnost, čímž se prodlužuje jejich životnost a zvětšuje se spolehlivost. Další zásadní výhodou jsou výrazně menší rozměry.

Mikrofony MEMS jsou ve skutečnosti miniaturní křemíkové mikrofony. Skládají se z několika částí. Obsahují na tlak citlivou křemíkovou membránu, která je upevněna na křemíkovém čipu. Pak se zde nachází integrovaný předzesilovač, různé filtry (například pro odstranění hluku) a nakonec integrovaný analogově-digitální převodník [5].

Největší limitací MEMS mikrofonů je hodnota vlastního šumu, která se běžně pohybuje přes 30 dB [25]. Ke kvalitnímu nahrávání zvuku je potřeba, aby hranice vlastního šumu byla pod hodnotou 24 dB [26].

1.1.6 Kamera

Kamery chytrých telefonů jsou založeny na obrazovém senzoru CMOS, který je tvořen dvourozměrným polem fotodiod. Ty převádějí světelnou energii na energii elektrickou [6].

Chytré telefony jsou již standardně vybaveny dvěma kamerami. Jedna hlavní kamera je umístěna na zadní a druhá na přední straně telefonu. U některých telefonů nalezneme dokonce kamery tři. Jednu na přední a dvě na zadní straně zařízení. Dvojce kamer na zadní straně může sloužit k několika účelům. Buďto k zachycování 3D snímků, ke změně hloubky ostrosti, k možnosti dodatečně přeostřovat, anebo k přisvětlování fotografie [7].

Nejnovější telefony (například Apple iPhone7 nebo Samsung Galaxy S7) jsou schopné pořizovat video o rozlišení 3840 × 2160 pixelů. Nejvyšší snímkovací frekvence je 240 snímků za sekundu při rozlišení 1280 × 720 pixelů [8]. S takovýmito parametry je možné telefon použít pro přibližné měření rychlosti proudění kapalin. Důvodem nepřesného měření je malá snímkovací frekvence a také absence nastavení doby expozice [27]. U vysokorychlostních kamer je počet snímků za sekundu v řádech tisíců.

1.2 Senzory pro měření okrajových podmínek

Telefon Samsung Galaxy S4 se stal v roce 2013 prvním telefonem, jenž mohl změřit všechny tři okrajové podmínky měření. Byl vybaven teploměrem pro měření teploty okolí, barometrem a vlhkoměrem. Dalším a zároveň posledním mobilem se všemi senzory pro měření okrajových podmínek, byl Samsung Galaxy Note 3.

1.2.1 Teploměr

Dnešní chytré telefony k provozu potřebují až desítky teplotních čidel. Tyto snímače využívají součástky zvané termistory, které mění svůj elektrický odpor v závislosti na teplotě [15]. Termometry kontrolují teplotu hardwarových součástí a baterie a upozorňují na nebezpečné přehřátí telefonu, které by mohlo telefon poškodit.

Použití těchto čidel ke zjištění skutečné teploty okolního prostředí je celkem komplikované. Hodnoty měření jsou ovlivňovány zahříváním elektronických součástek, ale také například teplem lidského těla. Nejčastěji je totiž mobil odložený v kapse.

Existují ovšem telefony s teplotním senzorem, který je přímo určený k měření teploty okolí. Poprvé se objevil v modelu Galaxy S4 od firmy Samsung. Teploměry byly umístěny v zařízení co nejdále od elektronických součástek, avšak pro co nejpřesnější výsledky je třeba nechat mobil alespoň půl hodiny v pohotovostním režimu [9].

1.2.2 Barometr

Barometr v chytrých telefonech slouží ke změření atmosférického tlaku. Poprvé jím byl vybaven telefon Samsung Galaxy Nexus v roce 2011. Tlakový senzor je využíván k upřesnění nadmořské výšky. Pomáhá tím rychleji zjistit a zafixovat polohu GPS. Existuje i další využití barometru. Určené aplikace sbírají data z tlakového senzoru a poté upozorňují na větší změny tlaku [16].

V mobilních telefonech se využívá elektrického barometru-tenzometru, který mění svůj elektrický odpor v závislosti na tlaku [17].

1.2.3 Vlhkoměr

První vlhkoměr se v chytrých telefonech objevil v roce 2013 a to v mobilu Samsung Galaxy S4. Senzor vlhkosti dále nalezneme asi ve dvaceti telefonech, ale v nových modelech již chybí. Čidlo měří relativní vlhkost vzduchu pomocí elektrického kapacitního vlhkoměru [9].

1.3 Senzory elektromagnetického záření

Telefony také dokážou detekovat jisté druhy elektromagnetického záření. Nejčastěji jsou mobily vybaveny snímačem intenzity osvětlení. Další senzory umožňují měřit i záření, která jsou za hranicí člověkem viditelného světla. Jsou jimi UV záření a radioaktivní záření. Těmito čidly je však vybaveno velmi malé množství zařízení.

1.3.1 Senzor intenzity osvětlení

Čidlo je umístěno na telefonu vedle senzoru přiblížení a měří intenzitu okolního světla. Díky tomuto měření je telefon schopný regulovat jas obrazovky a tím šetřit energii baterie a zvyšovat čitelnost displeje. Senzor využívá ke své činnosti fotorezistor, který je založen na vnitřním fotoelektrickém jevu. Fotorezistor mění svůj elektrický odpor v závislosti na osvětlení. Změna odporu způsobí změnu proudu, který již odpovídá určité velikosti intenzity osvětlení [3].

1.3.2 UV senzor

UV senzorem byl poprvé vybaven v roce 2014 mobil Samsung Galaxy Note 4. Snímač je umístěn na zadní straně zařízení vedle osvětlovací diody. Před začátkem měření je zapotřebí stáhnout si aplikaci UV Sensor for Galaxy Note 4 [11]. Po zapnutí programu je potřeba natočit zadní stranu mobilu proti slunci. Měření probíhá asi 3 – 4 s. Aplikace zobrazuje výsledky v jednotkách UV index (1 UV index = 25 mW/m^2). Škála měření je rozdělena do pěti úrovní a to od nízké až po extrémně vysoké. Ke každé úrovni jsou přiřazena doporučení a opatření k tomu, jak se zachovat při pobytu venku [12].

1.3.3 Senzor pro měření radioaktivity

Jediný telefon vybavený tímto snímačem je japonský Sharp Pantone 5 z roku 2012. Je prodáván pouze v Japonsku. Telefon má tlačítko, po jehož stisknutí se spustí aplikace, která změří radiaci [13].

Avšak radiační pozadí mohou měřit i chytré telefony bez senzoru radioaktivity. Vystačí jim k tomu pouze kamera s CMOS snímačem, jenž zachycuje dopadající fotony a díky tomu je možné zachytit snímek. Za určitých podmínek je kamera mobilu schopna detekovat dopadající částice nebezpečného záření gama. K úspěšnému měření je třeba zcela zakrýt fotoaparát telefonu, aby na něj nedopadalo žádné světlo, navolit několik konstant a počkat několik sekund než se provede měření. Měření sice není nikterak přesné, ale stačí k zaznamenání nebezpečí vysoké radiace [14].

1.4 Magnetické senzory

V chytrých telefonech se vyskytují dva typy magnetických senzorů. Jedná se o magnetometr a Hallův senzor. Oba dva senzory slouží k měření lokálního magnetického pole ve třech osách. Měřené pole je dáno součtem geomagnetického pole a magnetického pole tvořeného okolím. Avšak každý z těchto senzorů plní odlišnou funkci.

1.4.1 Magnetometr

Magnetometr byl do mobilních telefonů poprvé zabudován v roce 2011 [19]. K měření magnetického pole využívá principu magnetorezistence. Čidlo tedy mění svou hodnotu elektrického odporu vlivem změny vnějšího magnetického pole.

Jeho schopnost se využívá například při určování světových stran v GPS navigacích (tzv. elektrický kompas) [3].

1.4.2 Hallův senzor

Hallův senzor detekuje magnetického pole na základě Hallova jevu. Čidlo je tvořeno polovodičovou destičkou, na které se v magnetickém poli indukuje tzv. Hallovo napěti. Toto napětí je sice velmi malé (řádově se jedná o mikrovolty), ale je dostačující pro integrované zesilovače, které vytvoří použitelný elektrický signál [18].

Funkce Hallova senzoru se využívá u flipových pouzder telefonů. V pouzdře je zabudovaný magnet. Po zavření tohoto pouzdra přejde telefon automaticky do pohotovostního režimu [9].

1.5 Senzory biologických veličin

Průlomovým výrobcem v oblasti měření biologických veličin pomocí chytrých telefonů byl Samsung. V únoru roku 2014 přišel se senzorem srdečního tepu v modelu Galaxy S5 a v září stejného roku se senzorem okysličení krve v model Galaxy Note 4.

1.5.1 Senzor srdečního tepu

Senzory srdečného tepu se pravidelně objevují pouze u telefonů firmy Samsung, která je instaluje aktuálně (září 2016) do 8 zařízení. U dalších značek se s tímto čidlem setkáme pouze zřídka.

Senzor se nachází na zadní části telefonu poblíž fotoaparátu. Skládá se ze dvou částí z červené LED diody a senzoru pulzu. Pro změření srdečního tepu je zapotřebí nejprve spustit danou aplikaci a tím aktivovat čidlo. Po jeho aktivaci se rozsvítí červená dioda, ke které přiložíme špičku prstu. Díky prosvícení prstu diodou je poté senzor pulzu schopen měřit pohyb červených krvinek v kapilárách podle pulzace a následně zobrazit srdeční pulz. Po několika sekundách měření se pulz zobrazí na obrazovce [9].

Ovšem měření srdečního tepu je možné provést na jakémkoliv chytrém telefonu, který je vybaven fotoaparátem a bleskem (bílá LED dioda). Postup měření je obdobný jako u senzoru srdečního tepu s tím rozdílem, že prstem je zakryt fotoaparát a blesk mobilu [20].

1.5.2 Senzor okysličení krve

Senzor slouží k měření úrovně nasycení krve kyslíkem. Je zabudován do senzoru srdečního tepu a také měření probíhá obdobným způsobem. Prst je přiložen na několik sekund na senzor a poté se na displeji zobrazí výsledky. Výstupem měření je úroveň nasycení krve kyslíkem udávané v procentech a srdeční tep. Aplikace ještě vyhodnotí, zdali jsou naměřené hodnoty okysličení v normálu [9].

1.6 Biometrické senzory

Biometrické senzory měří a rozpoznávají určité charakteristiky člověka. Pomocí těchto čidel, může uživatel uzamknout své důležité informace do zařízení a mít jistotu, že přístup k nim bude mít pouze on sám. Mezi nejběžnější měřené charakteristiky patří otisk prstů nebo skener duhovky, kterými jsou vybaveny i některé telefony [61].

1.6.1 Senzor otisku prstů

První čtečku otisku prstů najdeme v telefonu od firmy Apple v iPhone 5s, který byl uveden na trh v roce 2013. Čidlo se nachází buďto na zadní straně zařízení pod kamerou, anebo je přímo zabudované v domácím tlačítku. K sejmutí otisku prstu je tedy zapotřebí přiložit na senzor prst. U jiných modelů je potřeba po snímači prstem přejet. V telefonech nalezneme několik druhů čteček [9].

Prvním druhem jsou čtečky optické, které se skládají z LED diod, které slouží jako zdroj světla a fotocitlivých diod, jež vyhodnocují, kolik světla se od prstu odrazilo zpět. Tímto způsobem se získá 2D obraz prstu, který se potom porovná pomocí složitých algoritmů se snímkem nastaveným od uživatele. Nevýhoda této čtečky je její velikost a také jednoduché prolomení zabezpečení, k němuž stačí okopírovaný otisk prstu na papíře [21].

Druhým typem jsou senzory kapacitní. V čtečce se nachází veliké množství maličkých kondenzátorů, a každý z nich snímá (měří kapacitanci) jenom velice malou část prstu na úrovni papilární linií. Po sečtení údajů ze všech kondenzátorů dostane zařízení celkový 3D obraz otisku [22].

Prostorový obraz prstu může také poskytnout čtečka ultrazvuková, která je vybavena ultrazvukovým vysílačem a přijímačem. Senzor vyhodnocuje čas, za jaký se signál z vysílače odrazí nazpět [21].

1.6.2 Skener duhovky

První skenerem duhovky disponoval telefon Fujitsu Arrows NX F-04G, který se začal prodávat v roce 2015 [23].

Při měření musí být telefon držen ve vzdálenosti 25 – 35 cm před obličejem. K dalšímu potřebnému natočení telefonu se zobrazí nápověda na obrazovce. Po splnění požadavků natočení telefonu senzor prosvítí oči uživatele zářením NIR (blízké infračervenému záření), díky kterému rozezná, buď jednu, nebo obě duhovky [24].

2 Přídavná zařízení chytrých telefonů

Přídavná zařízení mohou překročit jistá omezení při měření se samotným telefonem. Spojení mezi telefonem a měřicím přístrojem může být provedeno čtyřmi způsoby. První dva jsou spojení bezdrátová, jedná se o Wi-Fi a Bluetooth. Třetí spojení je přes USB kabel a čtvrté přes konektor 3,5 mm Jack. K správnému fungování je potřeba mít v telefonu nainstalovanou aplikaci, která je s daným zařízením kompatibilní. Rozdělení zařízení je podobně jako v první kapitole podle druhu měřené veličině.

2.1 Zařízení proměření mechanických veličin

U každého z prvních tří přístrojů nalezneme funkci měření vzdálenosti. Každý z nich však měření provádí jiným způsobem a za jiným účelem. Další zařízení mikrofon slouží ke kvalitnějšímu zpracování zvuku a hlukoměr k přesnějšímu měření hluku.

2.1.1 Dálkoměr

Dálkoměr je zařízení sloužící k měření vzdáleností. Existuje několik druhů dálkoměrů, nejznámější jsou optické a světelné. Velikost takového zařízení je srovnatelná s velikostí většího telefonu. Pomocí těchto přístrojů lze jednoduše změřit například výšku objektu, plochu stěny nebo objem prostoru.

Dálkoměry, které disponují funkcí Bluetooth, je možné propojit s telefony. Z toho vyplývají výhody, jako je dálkové ovládání dálkoměru, vytváření projektů nebo odesílání dat emailem [31].

2.1.2 Tachometr na kolo

Tachometr na kolo je zařízení měřící rychlost, ujetou vzdálenost anebo odhaduje spálené kalorie. Nejčastěji se skládá ze tří částí a to z magnetu, který je připevněný na jednom z paprsků výpletu, snímače a počítače se segmentovým displejem, jenž zobrazuje získané informace.

Nicméně „chytré“ tachometry již mají pouze magnet a senzor. Počítač s malým displejem je nahrazen chytrým telefonem a veškeré údaje jsou zobrazovány na velké obrazovce telefonu. Propojení mezi senzorem tachometru a mobilem probíhá bezdrátově přes Bluetooth. Díky tachometru docílíme přesnějších údajů o rychlosti a ujeté vzdálenosti a zároveň díky telefonu zaznamenáme projetou trasu [32].

2.1.3 GPS přijímač

Jak je již uvedeno v první kapitole, největší nevýhodou používání GPS v telefonech je nízká výdrž baterie a dlouhé hledání signálu nebo nepřesná pozice při zhoršených podmínkách. Překonat tyto limity může externí GPS přijímač s rozhraním Bluetooth. Přijímač je možné bezdrátově spojit s telefonem a použít jej v jakékoliv GPS aplikaci. Přístroj je schopný rychle nalézt signál i v husté zástavbě, údolích nebo při zatažené obloze. Za plného provozu baterie přijímače vydrží až 20 hodin a přesnost se pohybuje okolo 3 metrů.

2.1.4 Mikrofon

V první kapitole je zmíněno, že mikrofony MEMS, používané v telefonech, se vyznačují vysokou hodnotou vlastního šumu. Tato vlastnost brání kvalitnímu nahrávání audia nebo přesnějšímu měření hluku.

Existují přídavné mikrofony určené přímo pro telefony. Jedná se o kondenzátorové mikrofony. Připojení k telefonu je provedeno přes kabel zakončený konektorem 3,5 mm Jack. Bohužel u těchto zařízení nebyla zjištěna hladina vlastního šumu, tudíž tuto vlastnost nebylo možné porovnat [36].

2.1.5 Hlukoměr

Přístroj měřící hladinu hluku se nazývá hlukoměr. Existují dva typy hlukoměrů. Hlukoměry běžné s odchylkou ± 4 dB a hlukoměry přesné s odchylkou ± 2 dB. Nejdůležitější částí hlukoměru je zpravidla kondenzátorový mikrofon. Dále tato zařízení obsahují zesilovač a analogové přepínání rozsahů [33].

Pokud je potřeba ovládat hlukoměr dálkově, je zde možnost využít chytrého telefonu. K jistým hlukoměrům lze připojit bezdrátový USB-A adapter. Díky adaptéru a Wi-Fi v chytrém telefonu se zařízení propojí. Po té přes nainstalovanou aplikaci je možné zařízení na měření hluku ne jen ovládat, ale také ukládat data přímo do mobilu [34].

2.2 Zařízení pro měření okrajových podmínek

Všemi třemi potřebnými senzory pro zjištění okrajových podmínek bylo vybaveno pouze několik telefonů v roce 2013 a dále již tento trend nepokračoval. Existují však různá zařízení připojitelná k telefonům, která mohou chybějící čidla nahradit.

2.2.1 Teploměr a vlhkoměr

Limitem při měření okolní teploty pomocí telefonů je ovlivnění termo čidel zahříváním elektronických součástek.

K přesnějšímu a rychlejšímu měření slouží externí teploměry a vlhkoměry, které jsou k mobilu připojeny přes konektor 3,5 mm Jack. Jedná se o malé kompaktní zařízení, které nepotřebuje žádné přídavné napájení a je určené k měření teploty a relativní vlhkosti. Aplikace, která se zařízením spolupracuje, je bezplatně ke stažení na internetu. Přesnost teploměru je ±1°C (v rozsahu −20°C až +60°C) a vlhkoměru ±5 % (v rozsahu 30 % až 80 %). Zařízení má ještě další funkce. Například výpočet rosného bodu nebo výpočet hodnoty mokrého teploměru [37].

2.2.2 Meteostanice

Bluetooth meteorologická stanice již na rozdíl od kompaktních teploměrů a vlhkoměrů, není jednoduše přenosná a je potřeba delší instalace zařízení. Slouží k měření vnitřní a vnější teploty, relativní vlhkosti, barometrického tlaku, rychlosti a směru větru, dešťových srážek, UV záření a předpovědí počasí. Spojení mezi stanicí a mobilem je přes Bluetooth. V telefonu pak můžeme přes aplikaci vidět hodnoty z předchozích pěti dnů, aktuální hodnoty, nastavovat různé alarmy při dosažení hraničních hodnot a další [38].

2.3 Zařízení pro měření elektromagnetického záření

Je-li člověk dlouhodoběji nebo intenzivněji vystavován některým druhům záření, jako je záření UV nebo radioaktivní, může působit zdravotní rizika. Telefon za pomoci dvou přídavných zařízení může obě tyto záření detekovat. Jedná se o přenosná zařízení velikosti flash disku, která jsou k chytrému telefonu připojena přes čtyřpólový konektor 3,5 mm Jack.

2.3.1 UV kontrolor

UV senzorem je vybaveno pouze pár telefonů. Pokud chce uživatel kontrolovat množství škodlivého záření, kterému se vystavuje, je zde možnost využít kapesní UV kontrolor.

Přístroj je vložen do sluchátkového výstupu mobilu a přes předinstalovanou aplikaci je změřen UV index. Škála je rozdělena do pěti úrovní ohrožení zářením od nízkého až po extrémní [39].

2.3.2 Detektor γ a RTG záření

Měřit γ a RTG záření dokáže pouze jeden telefon a ten je pouze pro japonský trh. Je ovšem jistá možnost jak měřit radioaktivní záření, ale je zdlouhavá a nepřesná. Jednodušší měření mohou poskytnout externí detektory určené k měření γ a RTG záření.

Do mobilu je nutné si předem nainstalovat aplikaci. Jednoduché měření probíhá několik sekund, přesnější 3 minuty případně až 10minut. Výsledkem měření je ekvivalentní dávkový příkon v μSv/h. Číselný údaj je vyjádřen i graficky pomocí kruhu, který se zbarvuje podle stupně ohrožení. Zobrazuje se i doba měření, počet registrovaných pulzů a počet pulzů za minutu. Chyba měření je do ±30 % a vyplývá především z rozdílnosti různých druhů telefonů [40].

2.4 Další přídavná zařízení

Proud a napětí v elektrickém obvodu nebo dlouhovlnné infračervené záření jsou parametry, které samotné chytré telefony nejsou schopny zaznamenávat. Avšak zařízení jako digitální Bluetooth multimetr nebo termokamera s micro USB konektorem umožňují telefonu zaznamenat i tyto veličiny. Posledním zařízením v druhé kapitole jsou chytré hodinky obsahující celou řadu snímačů. Proto je nebylo možné zařadit do podkapitoly s měřením jedné veličiny.

2.4.1 Multimetr

Multimetr je elektronický měřicí přístroj. Zastává funkci několika zařízení najednou. Základními veličinami, jež dokáže multimetr změřit, jsou proud, napětí a odpor. Modernější přístroje jsou schopny měřit daleko více veličin, například frekvenci, indukčnost nebo kapacitu.

Digitální Bluetooth multimetry se dokážou díky svému rozhraní spárovat s chytrým telefonem, z čehož vyplývá několik výhod. Největší kladem je dálkové ovládání do vzdálenosti 10 metrů, ve volném prostu až do 20 metrů. Další výhodou je ukládání veškerých získaných hodnot do mobilu nebo rychlé vytváření grafů v dostupné aplikaci [41].

2.4.2 Termokamera

Termokamery jsou přístroje na měření dlouhovlnného infračerveného záření (LWIR – long wave infrared). Z těchto získaných údajů je dopočítávána povrchová teplota objektu. Výstupem je obraz, kde každý pixel detektoru představuje teplotní bod, který je na displeji zobrazen v barevném provedení [43].

Nejmodernější termokamery, co se rozměrů týče, jsou srovnatelné s velikostí zapalovače. Tudíž lehce přenosné. Určité druhy kamer disponují i konektorem micro USB a je možné je připojit k telefonu (musí podporovat funkci USB OTG) nebo k počítači. U telefonů je možné pořizovat snímky nebo natáčet videa v přiloženém softwaru. Rozsah měřených teplot je od −10 °C až +250 °C, rozlišení obrazu je 384 × 288 pixelů a nejmenší rozlišitelný teplotní rozdíl (NETD - Noise Equivalent Temperature Difference) je 50 mK [44].

2.4.3 Chytré hodinky

Chytré telefony umožňují měřit tepovou frekvenci, zaznamenávat trasu nebo počítat kroky. Je zde ovšem několik limitací. Tepová frekvence je měřena jednorázově a zaznamenávání trasy a počítání kroků při běhání s velkým dotykovým mobilem je minimálně nepohodlné. K těmto účelům jsou vhodné chytré hodinky (náramky).

Chytré náramky, mohou být nošeny po celý den i noc a nijak neomezují uživatele v pohybu. Výrobci se snaží dělat hodinky i vodě a prachu odolné, aby nebylo žádné omezení v jejich používání. Náramky obsahují hned několik senzorů - snímač srdečního tepu, akcelerometr, gyroskop, barometr nebo GPS. Díky široké výbavě čidel mohou hodinky přes noc měřit kvalitu spánku (tepovou frekvenci), zaznamenávat trasu, počítat kroky nebo odhadovat počet spálených kalorií. Připojení k telefonu zajišťuje funkce Bluetooth. Baterie vydrží 2-7 dnů, záleží na výrobci a uživateli hodinek [42].

3 Rešerše již provedených měření mechanických veličin pomocí chytrých telefonů.

Třetí kapitola podává základní údaje o již provedených experimentech s chytrými telefony. Všechny práce se zabývají měřením mechanických veličin, první tři se týkají hluku, další dvě zrychlení a poslední se zabývají rychlosti proudění. Některé rešerše také poskytly podstatné informace k sestavení vlastního experimentu.

3.1 Měření hluku

Již několik prací se zabývalo měřením hladiny hluku s využitím chytrých telefonů. Společným cílem autorů je vytvořit společný program, který by sbíral naměřená data pomocí mobilů a vytvářel by tak hlukovou mapu měst či celých oblastí. Objevuje se zde však několik vážných problémů. Hlavním problémem je diverzita jednotlivých zařízení. Pro přesnější měření je potřeba telefony kalibrovat. Ovšem při rozdílných typů zařízení je nemožné provést hromadnou kalibraci. Také zde nejsou zaručeny jednotné podmínky měření. Dále jsou pojednány tři práce týkající se dané oblasti měření.

3.1.1 Evaluation of Smartphone Sound Measurement Applications

Na začátku experimentu byla provedena selekce aplikací, na základě které bylo vybráno devět aplikací pro platformu iOS. Bohužel ani jedna z aplikací pro Android nesplnila zadané požadavky, poněvadž kromě jiného se vyznačovaly velkým rozptylem hodnot a velkými rozdíly stejných aplikací na různých zařízeních.

Měření bylo provedeno celkem na sedmi hladinách a to od 65 dB až do 95 dB. Měřen byl růžový šum s frekvenčním rozsahem 20 Hz až 20 kHz. Mobily byly umístěny v dozvukové místnosti. Referenční hladina hluku byla měřena mikrofonem Larson-Davis model 2559 a hlukoměrem Larson-Davis Model 831 type 1.

Nejpřesnější aplikací při měření hladiny váženého hluku A byla aplikace SoundMeter s průměrnou odchylkou −0,52 dB. Hladinu neváženého hluku nejpřesněji měřila SPLnFFT s průměrnou odchylkou 0,07 dB [45].

3.1.2 Testing the accuracy of smartphones and sound level meter application for measuring environmental noise

Cílem práce bylo zjistit, zda je možné použít mobilní telefony, jako alternativní prostředek k měření hluku v okolí. Testy byly provedeny na stovce chytrých telefonů a to na čtyřech hladinách hluku - hluk pozadí, 50, 70 a 90 dB.

Před měřením byla provedena selekce aplikací a následně byly vybrány čtyři aplikace pro iOS a tři pro Android. Mobilní telefony byly vypůjčeny od studentů univerzity v Hartfordu. Měření probíhalo v dozvukové místnosti a byl měřen širokopásmový bílý šum. Šum byl generovaný softwarem Trident a pouštěn ze tří reproduktorů JBL XRX715. Referenční hodnotu měřil kalibrovaný hlukoměr Brüel & Kjær Type 2250 SLM.

Přesnější výsledky byly získány na hladinách 50 a 70 dB. V porovnání platforem Android a iOS se platforma Android více blížila k hodnotám hlukoměru, avšak měla vyšší směrodatnou odchylku měření. Mobily značky HTC měřily s největší přesností, dále v pořadí byly značky Samsung a Apple. Nejpřesnější aplikací se stala SLA Lite (iOS) s průměrnou odchylkou −0,37 dB. Z Android aplikací nejmenší chybu vykazovala aplikace Sound Meter s průměrnou odchylkou 1,93 dB.

Zhodnocení výsledků je následující. Pokud má být provedeno více měření, je lepší použít platformu Android a aplikaci Sound Meter, jinak je výhodnější použít platformu iOS a aplikace SLA Lite [46].

3.1.3 A study of the accuracy of mobile technology for measuring urban noise pollution in large scale participatory sensing campaigns

Studie měla za cíl zjistit, zda by bylo možné použít mobilní telefony k monitorování hluku ve městech. Případně s jakou přesností a relevancí.

Hluk byl měřen celkem na 28 různých místech v Paříži po dobu jednoho roku. K experimentu byl vybrán telefon HTC One X, zejména kvůli dobré citlivost v rozsahu hladin 35 - 100 dB. Do experimentu se zapojilo 60 účastníků. Každý z nich dostal již zmíněný telefon a měřil hluk v určitý čas na daném místě. Aplikace, použitá na všech telefonech, byla speciálně vyvinuta pro potřeby experimentu na základech aplikace NoiseTube. Program umožňoval nahrávat hluk prostředí každou sekundu a vypočítávat ekvivalentní hladinu hluku za daný čas. Před měřením byly telefony s danou aplikací kalibrovány. Byla zjištěna lineární chyba v rozsahu hladin 50 – 90 dB, což bylo pro tento experiment postačující. Měřením byly získávány okamžité hodnoty hluku a ekvivalentní hladiny hluku za deset minut. Referenční hodnoty pro desetiminutová měření měřily dvě monitorovací zvukové stanice, které byly umístěny na lampách veřejného osvětlení ve výšce 4 m. Jedna stanice byla umístěna na bulváru, druhá na náměstí. Pro porovnání okamžitých hodnot hluku byl použit hlukoměr RION NL52.

Průměrná chyba telefonu z desetiminutového měření na bulváru byla 1,5 dB a na náměstí 3 dB. Chyba okamžitých hodnot porovnaných s hlukoměrem byla do 3 dB. Autor se domnívá, že chyby měření způsobuje hlavně frekvenční charakteristika mikrofonů MEMS používaných v telefonech. Během experimentu bylo totiž zjištěno, že telefon má dobrou citlivost u frekvencí od 100 Hz do 5 kHz, u ostatních frekvencí citlivost rychle klesá [57].

3.2 Měření zrychlení

Pro měření zrychlení se v telefonu využívají dva pohybové senzory — akcelerometr a gyroskop. Dále jsou pojednány dvě práce týkající se dané oblasti měření. V první práci bylo měřeno gravitační zrychlení, v druhé práci je zjišťováno absolutní zrychlení.

3.2.1 Smartphones as Experimental Tools: Different Methods to Determine the Gravitational Acceleration in Classroom Physics by Using Everyday Devices

Cílem práce bylo ukázat využití chytrých telefonů jako pomůcky při výuce fyziky na středních a vysokých školách.

V úvodu práce je seznámení s projektem New Media Experimental Tools (N.E.T.) v rámci, kterého práce vznikla. Na konci úvodu je výčet několika senzorů, kterými dnešní chytré telefony disponují.

Další část práce se již zabývá určení gravitačního zrychlení pomocí telefonu. Nejprve je zde popsán akcelerometr, díky kterému je možné gravitační zrychlení změřit. Po té následuje popis tří pokusů, během kterých lze s jistou nepřesností určit gravitační zrychlení. První pokus je volný pád mobilu na podložku (polštář). Informace z akcelerometru během volného pádu sbírá freeware aplikace. Pomocí těchto dat je potom možné spočítat gravitační zrychlení. Druhý pokus je velmi podobný tomu prvnímu, pouze se jedná o brzděný pád. K třetímu pokusu se používá mikrofon zařízení, kdy se nechává vedle zařízení skákat skákací kulička. Opět jistá aplikace sbírá informace o hluku prostředí a ze zjištěných dat je možné experimentálně zjistit gravitační zrychlení.

Výsledky pokusu jsou pro výukové účely uspokojivé. Výchylka od přesných hodnot gravitačního zrychlení činila 2 % – 10 % [47].

3.2.2 Acceleration Measurements Using Smartphone Sensors: Dealing with the Equivalence Principle

V úvodní části práce se autor odkazuje na několik již provedených měření a velmi stručně je popisuje. Tyto práce se zabývaly měřením momentu hybnosti, dostředivého zrychlení, úhlové rychlosti a dalších veličin pomocí gyroskopů a akcelerometrů zabudovaných v chytrých telefonech.

Druhá část se věnuje popisu aparatury měření. Skládá se z jednoho kola jízdního kola, na jehož ráfek je připevněn telefon LG G2 D805. Dále se zabývá samotným akcelerometrem a gyroskopem, jež jsou umístěny v mobilu, a popisuje, na jakých principech tyto senzory pracují. Výsledky vzešlé z měření pomocí telefonu byly porovnány s hodnotami, jež vzešly z nezávislé analýzy videozáznamu měření.

Ve třetí části probíhá matematické odvození veličin, jež chce autor změřit. Jedná se úhel natočení a absolutní zrychlení. Využívá přitom druhého Newtonova zákona.

Závěrem autor vyhodnotil, že chytré telefony jsou schopné změřit úhel natočení i skutečné zrychlení, protože hodnoty zachycené ze senzoru mobilu se shodovali s výsledky analýzy záznamu [48].

3.3 Měření rychlosti proudění

Problémem u měření rychlosti proudění je aparatura zahrnující drahé vysokorychlostní kamery a osvětlení. Varianta s použitím chytrých telefonů místo drahých kamer, by tak mohla být přístupná i pro nevědecké účely, například jako učební pomůcka. Hlavní parametrem při tomto měření je vhodná snímkovací frekvence kamery v telefonu. Dále je pojednána práce týkající se dané oblasti měření.

On the possibility of using mobile phone cameras for quantitative flow visualization

Práce se zabývá možností použít kamery mobilních telefonů k měření rychlostí proudění. Konkrétně srovnává vědeckou metodu PIV (Particle Image Velocimetry – česky obrazová aneometrie) s metodou, kde hlavní úlohu sehrává telefon iPhone6.

V úvodu je srovnání finanční náročnost těchto metod, přičemž varianta s chytrým je až 70 krát levnější. Dále jsou zde popsány parametry kamery, kterou je vybaven iPhone6. Nejvhodnější parametry jsou při rozlišení 1280 × 720 pixelů se snímkovací frekvencí 240 fps a při rozlišení 1920×1080 pixelů se snímkovací frekvencí 120 fps.

V druhé části se práce nejprve zabývá zorným polem telefonu. Bylo zjištěno, že telefon je naprogramován tak, aby zorné pole zůstávalo konstantní i při změně snímkovací frekvence. Jeho velikost je vhodná pro metodu měření PIV. Dále bylo získáno optické zkreslení kamery, jehož hodnoty jsou velmi nízké a dokazují kvalitní optiku kamery. Posledním bodem druhé části je kontrola stability frekvence, kde nebyly zjištěny ani žádné náznaky nestability.

V úvodu třetí kapitoly je popsána celá měřící aparatura, jež obsahuje kromě jiného chytrý telefon iPhone6 a také kvůli porovnání výsledků vysokorychlostní kameru Dimax HS 4 by PCO GmbH, která měřila referenční hodnoty. Výsledky byly zpracovány a vyhodnoceny v programu MatLab. Samotné měření bylo provedeno u telefonu, jak při snímkovací frekvenci 240 Hz, tak při frekvenci 120 Hz. V porovnání s vysokorychlostní kamerou jsou výsledky přesnější při frekvenci 120 Hz. Důvodem přesnějších hodnot u nižší snímkovací frekvence je nejspíše to, že při frekvenci 240 Hz telefon zorné pole softwarově upravuje, aby zůstávalo konstantní.

Závěrem autor dochází k tomu, že použít telefony k měření rychlostí proudění kapalin je možné, avšak s jistými omezeními. Například není možné měřit příliš vysoké rychlosti proudění. Dále se zmiňuje o budoucnosti této metody, ve které vidí velký potenciál. Zvláště pak, pokud by byla k dispozici ke stažení aplikace, jež by dokázala vyhodnotit výsledky měření již v telefonu [27].

4 Experimentální měření hluku

Poslední část mé vlastní práce se zabývá provedeným měřením jedné z mechanických veličin s využitím chytrých telefonů. Za měřenou veličinu byla zvolena hladina akustického tlaku (hluku). Experiment byl proveden se samotnými telefony bez přídavných zařízení. Hluk měřilo celkem šest chytrých telefonů, vypůjčených od studentů a vedoucího práce. Vybrané aplikace určené k měření hluku musely splňovat zadaná kritéria, která splnilo celkem šest aplikací.

4.1 Hladina akustického tlaku (hluku)

Hluk lze charakterizovat jako nežádoucí zvuk, vyvolávající rušivý nebo nepříjemný vjem. V dnešním světě je hluk bohužel téměř všudypřítomný. S hlukem se lidé běžně setkávají v dopravě, v práci ale i doma. Nejčastějším zdrojem hluku bývá doprava, ať už letecká, automobilová či vlaková. Dnešní člověk je však nucen se neustále přepravovat a tak je hluku dopravy vystavován pravidelně, což negativně ovlivňuje jeho zdraví. Hluk má nepříznivé účinky na lidské zdraví. Může způsobit trvalou nedoslýchavost nebo i ztrátu sluchu. Špatný vliv může mít na lidskou psychiku.

Základními veličinami popisující měření zvuku (hluku) jsou akustický tlak p *[Pa]*, akustický výkon P *[W]* a intenzita zvuku I *[W·m^{-2}]*. Akustický výkon je definován vztahem

$$P=\frac{dE}{d\tau} \tag{2.1}$$

a intenzita zvuku je dána vztahem

$$I=\frac{dP}{dS}. \tag{2.2}$$

Ve vztazích (2.1) a (2.2) je E [J] akustická energie, τ [s] je čas a S [m^2] je plocha.

Všechny tři veličiny vnímané člověkem jsou v rozpětí několika řádů a lidský vjem jim není lineárně úměrný. Proto se používají pro hodnocení akustického pole tzv. akustické veličiny a mají jednotku decibel. Prvním zástupcem je hladina akustického tlaku a platí pro ní rovnice

$$L_P=10\cdot\log\frac{p^2}{p_0^2}=20\cdot\log\frac{p}{p_0}, \tag{2.3}$$

kde p *[Pa]* je efektivní hodnota akustického tlaku a $p_0 = 2\cdot10^{-5}$ *Pa* je referenční hodnota akustického tlaku pro šíření ve vzduchu. Další veličinou je hladina akustického výkonu

$$L_W=10\cdot\log\frac{P}{P_0}, \tag{2.4}$$

kde $P_0 = 10^{-12}$ *W* je referenční hodnota akustického výkonu. Třetí akustickou veličinou je hladina akustické intenzity, kterou lze definovat jako

$$L_I=10\cdot\log\frac{I}{I_0}, \tag{2.5}$$

kde $I_0 = 10^{-12}$ *W.m^{-2}* je referenční hodnota akustické intenzity. Zmíněné tři hladiny jsou mezi sebou navzájem závislé.

Lidského ucho má svou zvláštní frekvenční charakteristiku. To znamená, že různé frekvence vnímá s odlišnou intenzitou. Proto se používají při měření váhové filtry, které upravují frekvenční charakteristiku hlukoměru, tak aby se podobala charakteristice lidského ucha. Běžně se setkáme se váhovými filtry A, B a C. Většina norem a předpisů používá filtr typu A. Naměřený údaj s použitým váhovým filtrem A je dle ČSN ISO označen jako L_{pA} *[dB]* [55].

Pokud je třeba měřit hluk po určitou dobu, tak se měří tzv. ekvivalentní trvalá hladina, jde o střední energetickou hladinu (A) ve smyslu vztahu

$$L_{AeqT}=10\cdot\log\left(\frac{I}{I_0}\cdot\int_0^T\left(\left(\frac{p_{Ai}}{p_0}\right)^2\cdot dt\right)\right),$$

kde *T [s]* je doba měření a p_{Ai} je aktuální hodnota akustického tlaku [56].

4.2 Telefony a aplikace

K provedení měření bylo vyžadováno alespoň pět telefonů a alespoň tři aplikace, aby bylo možné porovnat jednotlivé výsledky. Například zjistit jak jednotlivé aplikace měří na různých telefonech nebo určit hladiny, mezi kterými je chyba měření lineární.

Podle již provedených experimentů s měřením hluku pomocí chytrých telefonů je možné očekávat určité výsledky. Za prvé, chyba v naměřených hodnotách pomocí telefonů by měla být v rozsahu hladin 50 až 90 dB lineární [57]. S aplikací Noise Meter, která splnila zadané požadavky, byl již podobný experiment proveden, tudíž se u této aplikace očekávala průměrná odchylka kolem hodnoty −8,24 dB [58].

Telefony

K měření bylo celkem vybráno šest chytrých telefonů s operačním systémem Android 4.4.4 a vyšší. Jejich seznam se nachází v tabulce 4.1. Od uživatelů byly vyplněny dotazníky[1], kde mimo jiné uvedli stáří telefonu a verzi Androidu. Na všechny zařízení bylo naistalováno šest vybraných aplikací až na Samsung Galaxy S7, který nebyl kompatibilní s aplikací SLM (BOLDEN).

Tabluka 4.1

Výrobce	Model	Označení modelu
Lenovo	P70	-
LG	G Flex 2	LG H-955
Samsung	Galaxy Note 3	SM-N9005
Samsung	Galaxy S7	SM-G930F
Sony	Xperia Z1 Compact	D5503
Xiaomi	Redmi 3	-

Aplikace

V tabulce 4.2 je seznam vybraných aplikací použitých při měření. Při vybírání aplikací bylo stanoveno jedno hlavní kritérium. Aplikace musely být schopné měřit ekvivalentní hladinu akustického tlaku L_{Aeq} (váženou filtrem typu A).

Ekvivalentní hladina byla zvolena kvůli lepšímu odečítání výsledných měřených hodnot. Aplikace bez této funkce svou měřenou hladinu neustále měnily a nebylo možné odečíst korektní výsledek.

Jak již bylo v kapitole 4.1 zmíněno, lidské ucho má svou určitou frekvenční charakteristiku. Této charakteristice se přiblížíme použitím váhového filtru A. Důvodem jeho zvolení je ta skutečnost, že jej používá většina norem a předpisů.

[1] Dotazník obsahoval otázky ohledně značky a výrobce telefonu, modelu, stáří, verzi Androidu a rok uvedení telefonu na trh.

Tabulka 4.2

Odkaz	Název	Vývojář
[49]	iNVH	Robert Bosch Engineering& Business Solutions(P) Ltd
[50]	Noise Meter	JINASYS
[51]	OpeNoise	Arpa Piemonte
[52]	Sound Analyzer App	Dominique Radrigues
[53]	Sound Level Meter	BOLDEN
[54]	Sound level meter	Jens Hee

4.3 Sestavení experimentu

Celý experiment probíhal v místnosti o rozměrech 7 × 7 × 3 m. Uprostřed místnosti byl umístěn zasedací stůl. Na něm byly položeny tři židle, aby zamezily vlivu stolu. Celkově se v místnosti nacházelo 16 židlí a 10 křesel. Celou délku jedné stěny vyplňovaly čtyři okna. Dále se v místnosti nacházela LCD televize, nástěnná tabule a kuchyňský kout.

Hluk v experimentu byl zastoupen růžovým šumem. Signál růžového šumu generoval přístroj Brüel & Kjær Type 1405 a byl přehráván reproduktorem Behringer Truth B2031A, který byl umístěn ve vzdálenosti 1,5 m od stěny a 1 m od podlahy.

Hlavním důvodem vybrání růžového a ne bílého šumu bylo, že frekvenční charakteristika růžového šumu je velmi podobná hluku dopravnímu, který je největším zdrojem hluku ve městech [59] Zvolení růžového šumu bylo ovlivněno i dostupným reproduktorem, který se skládal z basového a výškového reproduktoru. Basový reproduktor měl ovšem dvakrát větší výkon než výškový reproduktor. Proto zde nebyla jistota kvalitního pokrytí všech vysokých frekvencí při použití bílého šumu.

Referenční hladina hluku byla měřena mikrofonem Brüel & Kjær Type 4189 a kalibrovaným hlukoměrem Brüel & Kjær Type 2270 G-4 SLM. Ten byl umístěn na tripodu v minimální vzdálenosti jednoho metru od okolních stěn a podlahy. Telefony při experimentu byly drženy ručně vedle hlukoměru a společně s ním byly umístěny v difusním zvukovém poli, aby jednotlivé polohy telefonů neovlivnily výsledky měření.

Přímá spojnice mezi hlukoměrem a reproduktorem nebyla rovnoběžná s žádnou ze stěn místnosti.

Měření bylo postupně provedeno na hladině hluku pozadí, 45 dB, 65 dB a 85 dB. Po té byla provedena kalibrace aplikace a měření bylo provedeno znovu. Z důvodů přesnosti měření byly také z telefonů odejmuty všechny kryty a obaly.

Během celého experimentu byla snaha dodržet co možná nejvíce pokynů z normy ČSN EN ISO 3741. Bohužel, některá nařízení normy nebylo možné dodržet. Hlavním důvodem nedodržení velké části pokynů byla nevhodná místnost, v níž bylo prováděno měření.

4.4 Výsledky

Před vyhodnocením výsledků měření je nutno zmínit, že na telefonu Xiaomi Redmi 3 aplikace iNVH a SLM (BOLDEN) vykazovaly stále se měnící hodnoty $L_{Aeq.}$ Změny dosahovaly několika desítek decibelů, proto tato měření nebyla zapracována do výsledků.

Dále do výsledků nebylo zpracováno měření hluku pozadí. Poněvadž se v zasedací místnosti bez možnosti ovládání zapínalo a vypínalo topení a klimatizace. Zařízení při svém chodu vytvářely hluk, který sice telefony nezaznamenaly, ale hlukoměr ano, proto jsou jednotlivá měření pozadí nesměrodatná. Příčinou toho, proč telefony hluk topení a klimatizace nezaznamenaly, je nejspíš vysoký vlastní šum telefonu a nízká citlivost mikrofonů MEMS použitých v telefonech.

Všechny průměrné odchylky telefonů i aplikací jsou v tabulce 4.3 a 4.4. Nejmenší průměrné odchylky, jejíž hodnota byla 4,03 dB před kalibrací telefonu, dosáhl telefon Samsung Galaxy S7. Aplikací s průměrnou nejmenší odchylkou 3,16 dB byla aplikace OpeNoise. Po kalibraci aplikací se stal nejpřesněji měřícím telefonem Sony Xperia Z1 Compact s průměrnou odchylkou 0,28 dB. Před kalibrací byl nejméně přesným telefonem s odchylkou 12,86 dB. Nejmenší odchylku po kalibraci vykazovala opět aplikace OpeNoise a to 0,29 dB.

Tabulka 4.3

Telefony	**Průměrná odchylka [dB]**	
	nekalibrováno	kalibrováno
Lenovo P70	6,53	1,09
LG G Flex 2	6,94	0,59
Samsung Galaxy Note3	3,91	2,34
Samsung Galaxy S7	4,03	0,53
Sony Xperia Z1 Compact	12,86	0,28
Xiaomi Redmi 3	8,09	1,46

Tabulka 4.4

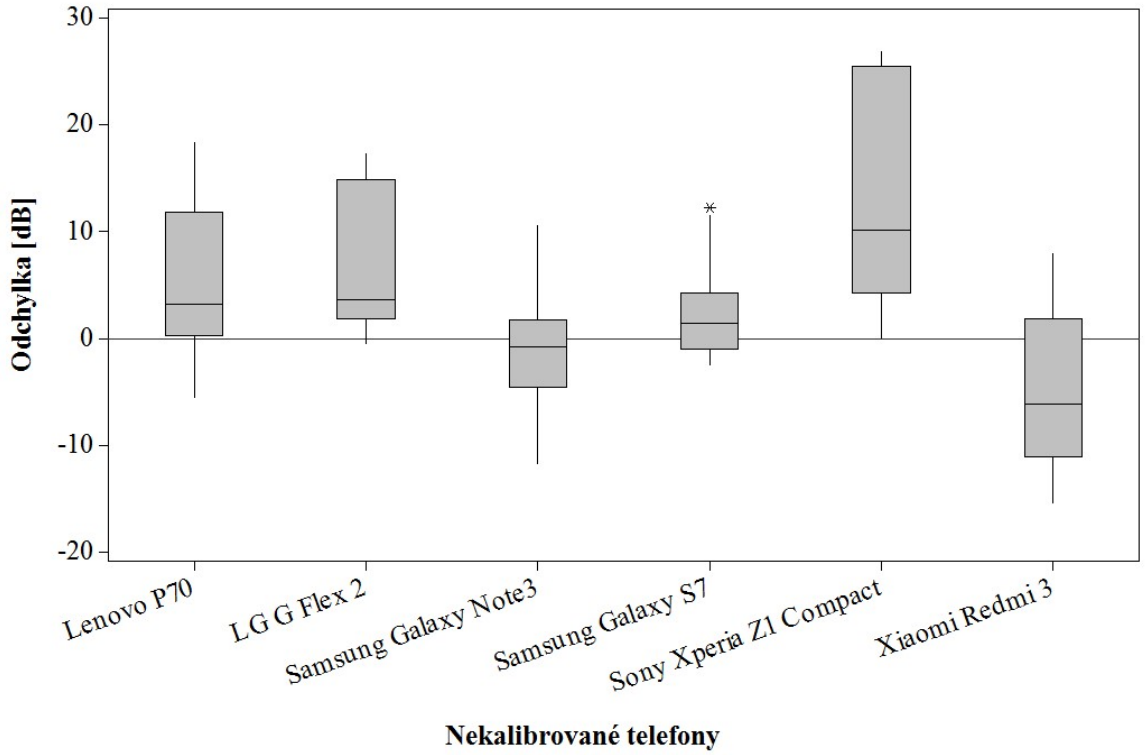
Aplikace	**Průměrná odchylka [dB]**	
	nekalibrováno	kalibrováno
iNVH	3,69	0,55
Noise Meter	12,78	1,95
OpeNoise	3,16	0,29
Sound Analyzer App	5,58	1,59
SLM (BOLDEN)	12,47	1,82
SLM (Jens Hee)	4,41	0,35

Rozložení jednotlivých odchylek telefonů a aplikací před a po kalibraci je zobrazeno v krabicových grafech. Krabicový graf se skládá z několika částí.

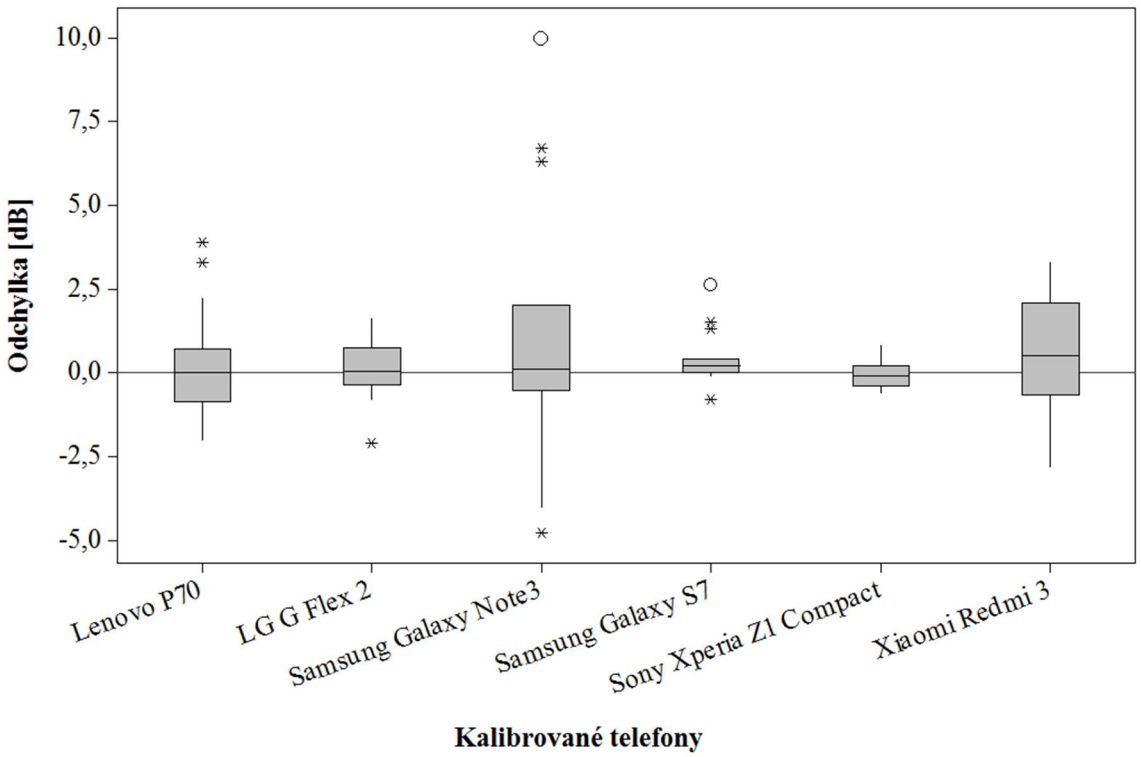
- Obdélníkové šedé plochy se nazývají krabice. Jedná se o interkvartilový rozsah (IQR). Spodní hranice krabice označuje 25. percentil a horní 75. percentil. Tedy 50 % hodnot se nachází uvnitř krabice.
- Vodorovná úsečka uvnitř krabice značí medián.
- Svislé čáry vycházející z krabice jsou tzv. vnitřní ploty. Ty vedou k minimální a maximální hodnotě, která je vzdálena od konce krabice maximálně 1,5 násobku rozsahu IQR.

- Hvězdičky značí hodnoty odlehlé. Tyto hodnoty se nacházejí 1,5 až 3 násobku rozsahu IQR od konce krabičky.
- Kroužky jsou znakem pro extrémní hodnoty, které jsou od konce krabičky dále, než je 3 násobek rozsahu IQR [60]

V krabicových grafech (viz obrázky 4.5 a 4.6) je zobrazeno rozložení odchylek jednotlivých telefonů před a po kalibraci. U prvního grafu vidíme, že nejpřesněji měřily telefony značky Samsung. Z obrázku 4.2 lze vyčíst, že Samsung Galaxy Note 3 i po kalibraci vykazoval velké odchylky. Nepřesné měření způsobila nelineární chyba při měření hladin 45 dB až 85 dB.

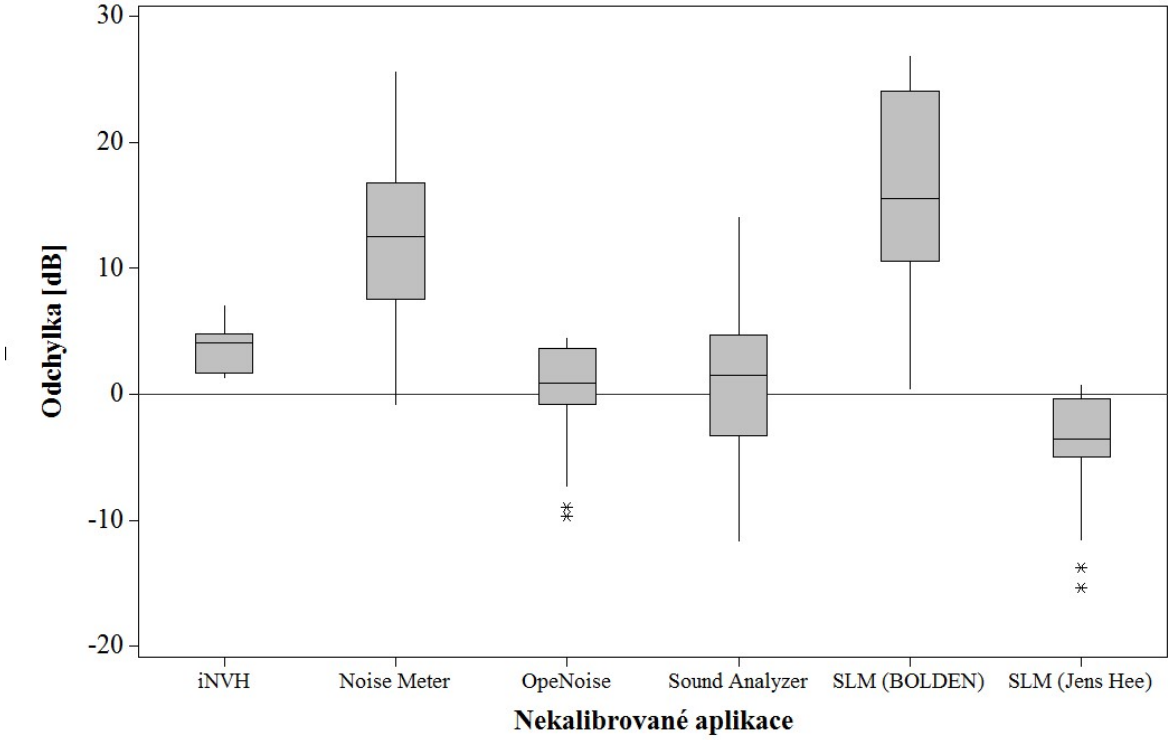


Obr. 4.1 Krabicový graf odchylek nekalibrovaných telefonů

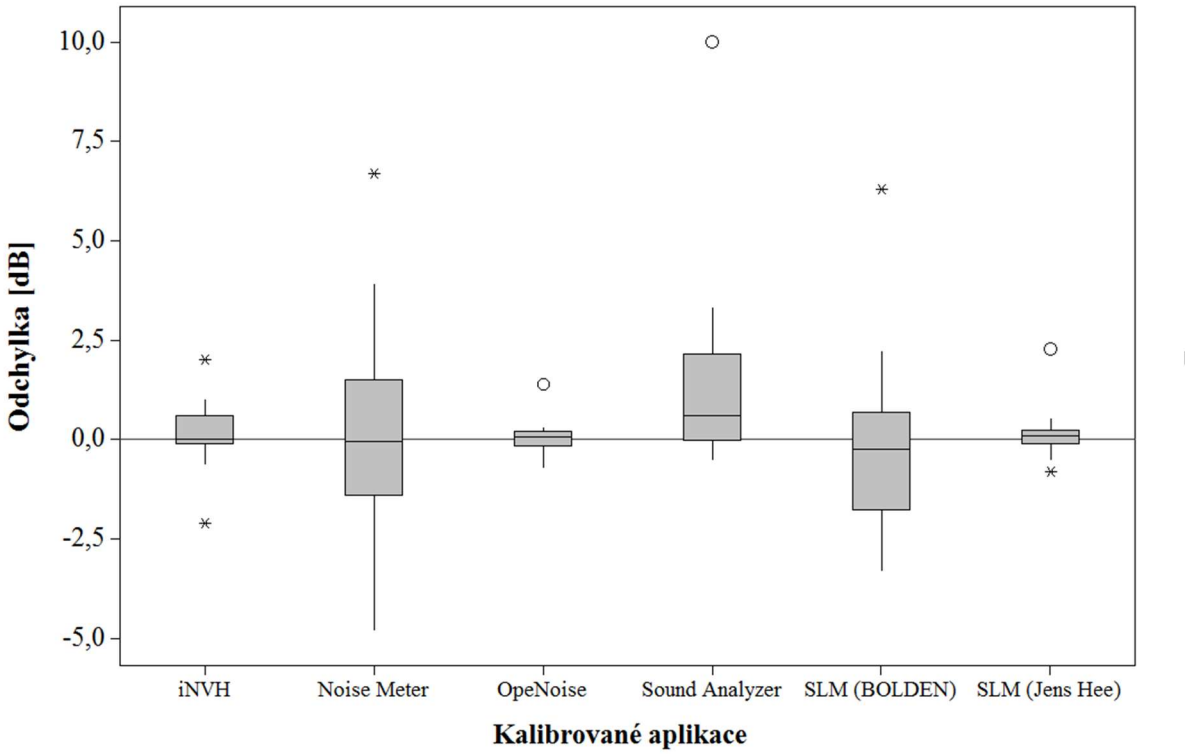


Obr. 4.2 Krabicový graf odchylek kalibrovaných telefonů

Z krabicového grafu (viz obrázek 4.3) lze vyčíst, že aplikace Noise Meter a SLM (BOLDEN) bez kalibrace se k referenčním hodnotám ani neblížily. Oproti tomu aplikace OpeNoise a SLM (Jens Hee) měly odchylku ve většině případů do 4 dB. Po kalibraci aplikací je vidět z krabicového grafu (viz obrázek 4.4) výrazné zmenšení odchylek u všech aplikací. Nejpřesnější aplikace jsou opět aplikace OpeNoise a SLM (Jens Hee).



Obr. 4.3 Krabicový graf odchylek nekalibrovaných aplikací



Obr. 4.4 Krabicový graf odchylek kalibrovaných aplikací

Měření s telefonem Sony Xperia Z1 Compact bylo provedeno třikrát, aby mohla být vypočtena směrodatná odchylka. Výsledné hodnoty jsou velmi dobré, opakovaná měření se liší v minimální míře. Celková směrodatná odchylka telefonu byla před kalibrací 0,15 a po kalibraci 0,16. V tabulce 4.5 jsou uvedeny směrodatné odchylky všech měřených aplikací. Naměřené odchylky mohou být způsobeny hlučným topením a klimatizací v místnosti, ručním držením telefonů, špatným odečtením měřených hodnot nebo samotnou aplikací nebo telefonem.

Tabulka 4.5

Aplikace	**Směrodatná odchylka (Sony)**	
	nekalibrováno	kalibrováno
iNVH	0,10	0,18
Noise Meter	0,36	0,27
OpeNoise	0,11	0,10
Sound Analyzer App	0,12	0,15
SLM (BOLDEN)	0,11	0,13
SLM (Jens Hee)	0,10	0,14

4.5 Hodnocení

Ze získaných výsledků vyplývá několik skutečností. První z nich je, že stejné aplikace měří odlišné hodnoty na různých telefonech. Tedy každý telefon má instalovaný jiný mikrofon, předzesilovač, zesilovač, analogově-digitální převodník a aplikace nejsou schopny rozlišit rozdíly mezi těmito zařízeními.

Dále telefony nejsou schopny přesně měřit hluk pozadí, který má hladinu nižší než 40 dB ani po kalibraci. Hodnota se může měnit v závislosti na typu mobilu. Důvodem je vysoký vlastní šum (30 dB a více) a nízká citlivost mikrofonu.

Před kalibrací se jevily telefony od firmy Samsung jako nejpřesnější, neboť jejich odchylka byla blízká hodnotě 4 dB. Avšak u Galaxy Note 3 chyba měření nebyla lineární, a proto po kalibraci vykazoval největší odchylku. Nelinearita u tohoto telefonu je nejspíše způsobena výrazně nižší citlivostí mikrofonu při měření hladiny 85 dB. U ostatních telefonů byl splněn předpoklad lineární chyby v rozmezí hladin 45 až 85 dB.

Po kalibraci aplikací všechny telefony (kromě Samsung Galaxy Note 3) měřily s průměrnou odchylkou mešní než 2 dB. Měření s touto přesností je na úrovni přesných hlukoměrů, tedy s kalibrovaným telefonem lze přesně měřit hluk v rozmezí hladin 45 dB až 85 dB. Ve srovnání aplikací jasně dominuje aplikace OpeNoise. Před kalibrací i po kalibraci měla nejmenší odchylku a to 3,16 dB respektive 0,29 dB.

Podle provedeného experimentu [45] u aplikace Noise Meter vychází průměrná odchylka −8,24 dB. Dle měření této práce, viz tabulka 4.3, dosáhla aplikace Noise Meter průměrné odchylky 12,78 dB. Nutno dodat, že v experimentu [45] bylo měření provedeno s 35 mobily a průměrná odchylka byla počítána z odchylek, které nebyly v absolutních hodnotách. Z čehož vyplývá záporné znaménko odchylky i její značně menší hodnota.

Je také nutné brát v úvahu, že výsledky jsou ovlivněny i povahou testovacího signálu — růžového šumu. Růžový šum má frekvenční rozsah od 20 Hz do 20 kHz. Pokud by byl měřen hluk s frekvenčním rozsahem mimo oblast dobré citlivosti mikrofonů MEMS (100 Hz až 5 kHz), výsledky by byly méně přesné.

Nejpřesněji měřící kombinací telefonu s aplikací byl telefon Samsung Galaxy S7 s aplikací OpeNoise.

5 Závěr

Cílem této práce bylo napsat strukturovanou rešerši o využití současných chytrých mobilních telefonů pro měření veličin v technice prostředí a následně sestavit experiment pro zvolenou veličinu.

V první části práce je uveden seznam celkem osmnácti senzorů, které se vyskytují v chytrých telefonech. Snímače jsou kromě běžného využití schopny měřit různé druhy veličin, od mechanických veličin přes detekci různých druhů elektromagnetického záření až po biologické veličiny. V této studii bylo hlavní zaměření na senzory mechanických veličin, jako je akcelerometr, gyroskop nebo mikrofon. Hlavní výhodou měření chytrým telefonem je hlavně pohotovost a časová a finanční nenáročnost. Na druhou stranu tato měření jsou zatížena různě velkou chybou, se kterou musí uživatel počítat.

Druhá kapitola zabývající se přídavnými zařízeními, dává možnost k překročení mnoha limitů vestavěných senzorů. Největším kladem této metody je mnohem větší přesnost měření. Mobil je v těchto případech většinou použit jako ovládající prvek nebo jako zařízení zobrazující a sbírající výsledky.

Třetí kapitola zabývající se rešeršemi již provedených prací úzce souvisí s kapitolou čtvrtou, ve které je uvedeno měření této práce. Díky již provedeným měřením, byly získány užitečné informace k provedení a sestavení vlastního experimentu. Také bylo možné potvrdit fakt, že telefony po kalibraci měří přesně v rozmezí hladin 45 – 85 dB. Dále ve shodě s jinými pracemi, průměrná odchylka po kalibraci u žádného telefonu nepřekročila 3 dB. Aplikace s nejmenší odchylkou v sestaveném experimentu této práce byla aplikace OpeNoise, jejíž průměrná odchylka před kalibrací byla 3,16 dB a po kalibraci 0,29 dB. Přesnost před kalibrací odpovídá přesnosti běžného hlukoměru a přesnost po kalibraci je na úrovni přesného hlukoměru.

Přínos této práce spočívá v kompaktnosti informací o dostupných senzorech v chytrých mobilních telefonech. Existuje mnoho studií, kde k jednotlivým měřením s chytrými telefony jsou popsány použité senzory, ale není práce, v níž by byly popsány všechny senzory telefonu. Uživatelé požadující vyšší přesnost měření s chytrými telefony mohou využít vytvořeného seznamu přídavných zařízení. Experimentální část práce přináší přínos v objevení doposud málo populární aplikace na měření hluku mající velmi dobré výsledky OpeNoise.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Symboly

E	[J]	akustická energie
f	[Hz]	frekvence
H (τ)	[μSv·s^{-1}]	ekvivalentní dávkový příkon
I	[W·m^{-2}]	intenzita zvuku
I_e	[W·m^{-2}]	intenzita záření
I_0	[W·m^{-2}]	referenční hodnota akustické intenzity
L_{AeqT}	[dB]	ekvivalentní trvalá hladina akustického tlaku
L_I	[dB]	hladina akustické intenzity
L_P	[dB]	hladina akustického tlaku
L_{pA}	[dB]	hladina akustické tlaku s váhovým filtrem A
L_W	[dB]	hladina akustického výkonu
p_{ai}	[Pa]	aktuální hodnota akustického tlaku
P	[W]	akustický výkon
p	[Pa]	akustický tlak
P_0	[W]	referenční hodnota akustického výkonu
p_0	[Pa]	referenční hodnota akustického tlaku pro šíření ve vzduchu
S	[m^2]	plocha
t	[°C]	teplota
τ	[s]	čas
Φ	[%]	relativní vlhkost

Zkratky

2D	2-Dimension
3D	3-Dimension
4K	rozlišení 3840 × 2160 pixelů
A-GPS	Assited Global Positioning System
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
fps	frame per second
GPS	Global Positioning System
LED	Light Emitting Diode
LWIR	Long Wave Infrared
MEMS	MicroElectroMechanical Systems
NETD	Noise Equivalent Temperature Difference
NIR	Near infrared range
OTG	On-To-Go
PIV	Particle Image Velocimetry
RTG	Radioisotope Thermoelectric Generator
USB	Universal Serial Bus
USB-A	Universal Serial Bus Adapter
UV	UltraViolet
Wi-Fi	Wireless Fidelity
γ záření	gama záření

Seznam použitých zdrojů

[1] Prostředky automatického řízení – HomeL VSB [Online] [Datum: 31. ledna 2017.] http://homel.vsb.cz/~jur286/prostredky_aut_rizeni/preklad.htm
[2] Senzory v mobilních telefonech od A do Z – Beryko [Online] [Datum: 31. ledna 2017.] https://www.beryko.cz/blog/recenze/senzory-v-mobilnich-telefonech-od-a-do-z.html
[3] Techbox: váš telefon je prošpikovaný sensory – Mobilnet [Online] [Datum: 31. ledna 2017.] https://mobilenet.cz/clanky/techbox-vas-telefon-je-prospikovany-senzory-12496
[4] Get help with the microphones on your iPhone, iPad, and iPod touch –Apple Support [Online] [Datum: 1. února 2017.] https://support.apple.com/en-us/HT203792
[5] MEMS mikrofony - obecný popis struktury a funkce – hw.cz vše o elektronice a automatizaci [Online] [Datum: 1. února 2017.] http://automatizace.hw.cz/mems-mikrofony-obecny-popis-struktury-a-funkce
[6] CMOS čipy – Populárně naučný portál POPULAR [Online] [Datum: 2. února 2017.] http://popular.fbmi.cvut.cz/optoel/Stranky/CMOS-%C4%8Dipy.aspx
[7] Huawei P9 s optikou od Leicy – Smartmania [Online] [Datum: 2. února 2017.] http://smartmania.cz/huawei-p9-s-optikou-od-leicy-vyzkouseli-jsme-dualni-fotoaparat/
[8]Apple iPhone 7 – GSMArena [Online] [Datum: 2. února 2017.] http://www.gsmarena.com/apple_iphone_7-8064.php
[9] Smartphony mají 19 smyslů. Znáte je všechny? – MobilMania [Online][Datum: 2. února 2017.] http://www.mobilmania.cz/clanky/smartphony-maji-19-smyslu-znate-je-vsechny/sc-3-a-1329584/default.aspx
[10] Jak funguje zaměření polohy pomocí GPS? – Svět Androida [Online] [Datum: 2. února 2017.] https://www.svetandroida.cz/gps-princip-201503
[11] UV Sensor for Galaxy Note 4 – Google Play [Online] [Datum: 2. března 2017.] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.moletag.uv.sensor&hl=cs
[12] Samsung Galaxy Note 4: podívejte se, jak bude fungovat UV senzor – SamsungMania [Online] [Datum: 2. března 2017.] http://samsungmania.mobilmania.cz/bleskovky/samsung-galaxy-note-4-podivejte-se-jak-bude-fungovat-uv-senzor/sc-310-a-1327651
[13] Only in Japan: Sharp Pantone 5 107SH is the first phone that measures radiation – Phone Arena [Online] [Datum: 2. března 2017.] http://www.phonearena.com/news/Only-in-Japan-Sharp-Pantone-5-107SH-is-the-first-phone-that-measures-radiation_id30658
[14] COGLIATI, Joshua J.; DERR, Kurt W.; WHARTON, Jayson. Using CMOS sensors in a cellphone for gamma detection and classification. arXiv preprint arXiv:1401.0766, 2014.
[15] NTC Thermistors – Murata Manufacturing [Online] [Datum: 2. března 2017.] http://www.murata.com/products/thermistor/ntc/basic/ntc
[16] What Can You Do With a Barometer on a Smartphone? – Pocketnow [Online] [Datum: 2. března 2017.] http://pocketnow.com/2011/10/19/what-can-you-do-with-a-barometer-on-a-smartphone
[17] NOVÁK, J. Design interiérové meteostanice. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 39 s. Vedoucí bakalářské práce akad. soch. Miroslav Zvonek, Ph.D.
[18] Princip Hallova senzoru – E-konstrukter [Online] [Datum: 11. března 2017.] http://e-konstrukter.cz/novinka/princip-hallova-senzoru
[19] Magnetometr – technologie pro mobilní telefony (vědecké okénko) – Mobilizujeme [Online] [Datum: 11. března 2017.] https://mobilizujeme.cz/clanky/magnetometr-nova-technologie-pro-mobilni-telefony
[20] List of all True Heart Rate Sensor Enabled Phones – Webcups [Online] [Datum: 30. března 2017.] http://webcusp.com/heart-rate-monitor-phones/

[21] Čtečky otisku prstů pod drobnohledem – jak fungují? – Mobilizujeme [Online] [Datum: 31. března 2017.] https://mobilizujeme.cz/clanky/ctecky-otisku-prstu-pod-drobnohledem-jak-funguji
[22] Snímače otisků prstů v mobilních zařízeních: Jak vlastně fungují? – Smartmania [Datum: 31. března 2017.] https://smartmania.cz/snimace-otisku-prstu-v-mobilnich-zarizenich-jak-vlastne-funguji-5897/
[23] First smartphone with Iris Scanner released – MSPoweruser [Online] [Datum: 31. března 2017.] https://mspoweruser.com/first-smartphone-with-iris-scanner-released/
[24] How it works: Iris scanning improves smartphone security Computerworld [Online] [Datum: 31. března 2017.] http://www.computerworld.com/article/3113028/mobile-security/how-it-works-iris-scanning-improves-smartphone-security.html
[25] Tutorial for MEMS microphones – STMicroelectronics [Online] [Datum: 2. dubna 2017.]http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/46/0b/3e/74/cf/fb/4b/13/DM00103199.pdf/files/DM00103199.pdf/jcr:content/translations/en.DM00103199.pdf
[26] What is self-noise (or equivalent noise level)? – Neumann.Berlin [Online] [Datum: 2. dubna 2017.]http://www.neumann.com/homestudio/en/what-is-self-noise-or-equivalent-noise-level
[27] HAIN, Rainer; BUCHMANN, Nicolas A.; CIERPKA, Christian. On the possibility of using mobile phone cameras for quantitative flow visualization.
[28] CASTRO-PALACIO, Juan C., et al. Using a smartphone acceleration sensor to study uniform and uniformly accelerated circular motions. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2014, 36.2: 1-5.
[29] BARTHOLD, Christopher; SUBBU, Kalyan Pathapati; DANTU, Ram. Evaluation of gyroscope-embedded mobile phones. In: Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011. p. 1632-1638.
[30] How accurate is your smartphone's GPS in an urban jungle? – Geoawesomeness [Datum: 7. dubna 2017.]http://geoawesomeness.com/how-accurate-is-your-smartphones-gps-in-an-urban-jungle/
[31] Laserový dálkoměr s integrovaným sklonoměrem a Bluetooth Bosch GLM 100 C Professional- Bosch ČR [Online] [Datum: 8. dubna 2017.]http://www.bosch-cr.cz/laserove-dalkomery/laserovy-dalkomer-s-integrovanym-sklonomerem-a-Bluetooth-bosch-glm-100-c-professional
[32] Bluetooth Speed Cadence Sensor – Amazon [Online] [Datum: 8. dubna 2017.]https://www.amazon.com/Bluetooth-Cadence-Wireless-Speedmeter-Computers/dp/B01MSYZGSM
[33] KUBÍČEK, Karel; PŘEDOTA, RNDr. Ph.D.Milan. Měření hluku hlukoměry Bakalářská práce, 2012.
[34] Hand-held Analyzer Type 2250-L (2250 Light) – Brüel & Kjær - Product data [Online] [Datum: 9. dubna 2017.]https://www.bksv.com/media/doc/bp2151.pdf
[35] HOLUX RCV-3000 WIRELESS GPS LOGGER - Softcom Group s.r.o. [Online] [Datum: 9. dubna 2017.]http://www.softcom.cz/eshop/holux-rcv-3000-wireless-gps-logger-Bluetooth-usb-li-on-vydrz-az-28-hodin-provozu_d168295.html
[36] USB mikrofon Renkforce pro iOS a Android - Conrad Electronic [Online] [Datum: 9. dubna 2017.]
http://www.conrad.cz/mikrofon-pro-kamery-renkforce-vm-6.k1407921?icc=category-carousel-2level&icn=toprate-specialni-mikrofony
[37] TFA 30.5035.02 SMARTHY - METEOshop.cz [Online] [Datum: 10. dubna 2017.]
https://www.meteoshop.cz/produkt/smarthy-teplomer-vlhkomer-30-5035-02-pro-mobilni-telefony-ci-tablety/1160/

[38] Bluetooth meteostanice Ventus 820 - METEOshop.cz [Online] [Datum: 10. dubna 2017.]https://www.meteoshop.cz/produkt/Bluetooth-meteostanice-ventus-820/1422/
[39] Smart Lab FUV-001 Smart UV Checker Ftlab – Amazon [Datum: 10. dubna 2017.]https://www.amazon.com/Smart-Lab-FUV-001-Checker-Ultraviolet/dp/B00SW8WGCM
[40] Mobilní telefon jako intenzimetr / dozimetr? - RoboDoupě - web nejen o robotice - [Datum: 10. dubna 2017.]http://robodoupe.cz/2016/pozor-radiace-5/
[41] Digitální Bluetooth multimetr RC OWON B35 – GM Electronics [Datum: 10. dubna 2017.] https://www.gme.cz/digitalni-Bluetooth-multimetr-rc-owon-b35#product-detail
[42] Samsung Gear Fit2 – Alza [Online] [Datum: 10. dubna 2017.] https://www.alza.cz/trendy/samsung-gear-fit2-tmave-sede-levne-d4354566.htm?kampan=adpla-tr_produkty_hodinky_chytre_c_1003783_1o2_SAAW0012a_openbox&gclid=CjwKEAjw2qzHBRChloWxgoXDpyAS-JAB01Io0X4wHyWvJlQSQ1pEqO2okyfDioQzWWzjAiimxThnpdhoCIqfw_wcB
[43] Průvodce termografií – Termokamery [Online] [Datum: 10. dubna 2017.] http://termokamera.com/prirucka-termografie/
[44] TE – Q1 Pro(Thermal Camera) – Thermal Expert [Online] [Datum: 10. dubna 2017.] http://www.i3-thermalexpert.com/products/t-e-q1-pro/?ckattempt=1
[45] KARDOUS, Chucri A.; SHAW, Peter B. Evaluation of smartphone sound measurement applications a. The Journal of the Acoustical Society of America, 2014, 135.4: EL186-EL192.
[46] MURPHY, Enda; KING, Eoin A. Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise. Applied Acoustics, 2016, 106: 16-22.
[47] KUHN, Jochen; VOGT, Patrik. Smartphones as experimental tools: Different methods to determine the gravitational acceleration in classroom physics by using everyday devices. European Journal of Physics Education, 2013, 4.1.
[48] MONTEIRO, Martin; CABEZA, Cecilia; MARTI, Arturo C. Acceleration measurements using smartphone sensors: Dealing with the equivalence principle. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2015, 37.1: 1303.
[49] iNVH - Robert Bosch Engineering&Business Solutions(P) Ltd – odkaz ke stáhnutí [Online] [Datum: 11. února 2017.] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bosch.nvh_analysis
[50] Noise Meter - JINASYS – odkaz ke stáhnutí [Online] [Datum: 11. února 2017.] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pjw.noisemeter
[51] OpeNoise - Arpa Piemonte –odkaz ke stáhnutí [Online] [Datum: 11. února 2017.] https://play.google.com/store/apps/details?id=it.piemonte.arpa.openoise
[52] Sound Analyzer App - Dominique Radrigues – odkaz ke stáhnutí [Online] [Datum: 11. února 2017.]https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dom.audioanalyzer
[53] Sound Level Meter- BOLDEN– odkaz ke stáhnutí [Online] [Datum:: 11. února 2017.] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bolshakovdenis.soundanalyzer
[54] Sound level meter - Jens Hee – odkaz ke stáhnutí [Online] [Datum: 11. února 2017.] https://play.google.com/store/apps/details?id=jh.slm.cegis
[55] PAVELEK, Milan; ŠTĚTINA, Josef. Experimentální metody v technice prostředí. Akademické nakladatelství CERM, 2007.
[56] SMETANA, Ctirad, et al. Hluk a vibrace. Měření a hodnocení. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, 1998, 188 s. ISBN 80-901936-2-5, 1998.
[57] AUMOND, Pierre, et al. A study of the accuracy of mobile technology for measuring urban noise pollution in large scale participatory sensing campaigns. Applied Acoustics, 2017, 117: 219-226.

[58] MURPHY, Enda; KING, Eoin A. Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise. Applied Acoustics, 2016, 106: 16-22.
[59] CAN, Arnaud, et al. Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observations. Applied Acoustics, 2010, 71.8: 764-770.
[60] Krabičkové grafy - IBM Knowledge Center [Online] [Datum: 29. dubna 2017.] https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/cs/SSEP7J_10.2.0/com.ibm.swg.ba.cognos.ug_cr_rptstd.10.2.0.doc/c_id_obj_boxplots.html
[61] ŠČUREK, Radomír. Biometrické metody identifikace osob v bezpečnostní praxi. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2008.