



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**KONSTRUKČNÍ NÁVRH MODULÁRNÍCH PRVKŮ
PRO AKUSTICKÁ MĚŘENÍ**

DESIGN OF MODULAR ELEMENTS FOR ACOUSTIC MEASUREMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Fábry

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Klapka, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	Adam Fábry
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojírenství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Milan Klapka, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

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:

Konstrukční návrh modulárních prvků pro akustická měření

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ke zjišťování akustických vlastností strojů a zařízení je k dispozici řada různých metod. Tyto metody vyžadují buď přesné vymezení ploch pro určení akustických vlastností a přesné rozmístění měřicích mikrofونů. Navržené modulární prvky stavebnicového charakteru umožní přizpůsobení potřebám jednotlivých akustických metod, tj. upínání vymežujících elementů či měřicí aparatury a jejich rozmístění v prostoru pro měření.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem práce je vyvinout univerzální modulární prvky s těmito parametry: výšková stavitelnost upínacích prvků v rozsahu 0 – 2500 mm, upnutí měřicích mikrofونů 1/8" až 1", klopná stabilita.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- zkonstruovat univerzální základní nosný prvek,
- zkonstruovat prvek pro vymezení měřicích ploch,
- zkonstruovat prvek pro upínání měřicí aparatury,
- stanovit cenovou rozvahu řešení.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukoncení/>

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

MIŠUN, Vojtěch. Vibrace a hluk. Vyd. 2., V Akademickém nakl. CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 177 s. ISBN 80-214-3060-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce je navrhnúť modulárne prvky, ktoré umožnia jednoduché a rýchle vymedzenie bodov akustického merania v priestore. Na vyriešenie tohto problému bola použitá konštrukcia so štyrmi stojkami, medzi ktorými bol napnutý špagát. Pomocou upínacích a vymedzovacích prvkov dokážeme vymedziť body akustického merania v priesečníku vertikálne a horizontálne napnutého špagátu. Konštrukcia z modulárnych prvkov umožňuje vysokú mobilitu konštrukcie, uľahčuje jej prenos a skladovanie a umožňuje meranie rôzne veľkých zdrojov hluku. Vďaka tejto konštrukcii dokážeme rýchlo a presne určiť body akustického merania.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

akustické meranie, meracia plocha, modulárne prvky, akustická meracia plocha

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to design modular elements that will allow a simple and fast definition of acoustic measurement points in space. To solve this problem, a structure with four struts was used, between which the twine was stretched. With the help of clamping and defining elements we can define the points of acoustic measurement at the intersection of vertically and horizontally stretch twine. The construction of modular elements allows high mobility of the structure, facilitates its transmission and storage, and allows the measurement of noise sources of different sizes. Thanks to this design, we can quickly and accurately determine acoustic measurement points.

KEYWORDS

acoustic measurement, area of measurement, modular elements, acoustic measurement area

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

FÁBRY, Adam. *Konstrukční návrh modulárních prvků pro akustická měření*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142817>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Milan Klapka.

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som rád poďakoval doc. Ing. Milanovi Klapkovi Ph.D za jeho čas a odborné rady pri písaní tejto práce. Ďalej by som rád poďakoval svojim rodičom za ich podporu pri štúdiu.

PREHLÁSENIE AUTORA O PÔVODNOSTI PRÁCE

Prehlasujem, že bakalársku prácu som vypracoval samostatne, pod odborným vedením doc. Ing. Milana Klapku, Ph.D. Súčasne prehlasujem, že všetky zdroje obrázkových a textových informácií, z ktorých som čerpal, sú riadne citované v zozname použitých zdrojov.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA	14
2.1	Hluk	14
2.1.1	Akustický výkon	14
2.2	Meranie akustického výkonu	15
2.2.1	Meracie prostredie	15
2.2.2	Meracia plocha	16
2.3	Spôsob merania	20
2.3.1	Nezávislé nastaviteľné členy	20
2.3.2	Pevná konštrukcia	21
2.3.3	Meranie na VUT	23
2.3.4	Zhrnutie rešerše	24
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE	26
3.1	Analýza problému	26
3.2	Cieľ práce	26
4	KONCEPČNÉ RIEŠENIA	27
4.1	Variant A	27
4.2	Variant B	28
4.3	Variant C	29
4.4	Výber varianty	30
5	KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE	31
5.1	Návrh stojky	31
5.1.1	Výšková nastaviteľnosť	31
5.1.2	Podstava	32
5.2	Vedenie špagátu	35
5.2.1	Upínacie elementy	35
5.2.2	Vymedzovacie elementy	36
5.3	Napínanie špagátu	37
5.4	Držiak mikrofónu	38
5.5	Voľba materiálu elementov	40

5.6	Stabilita konštrukcie	41
5.6.1	Posunutie vrchu stojky	41
5.6.2	Klopná stabilita	44
5.7	Cenová rozvaha	46
5.8	Výroba	46
5.9	Montáž konštrukcie a meranie	47
6	DISKUSIA	49
7	ZÁVER	51
8	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	52
9	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN	54
9.1	Použité skratky	54
9.2	Použité symboly	54
10	ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV	56
11	ZOZNAM TABULIEK	58
12	ZOZNAM PRÍLOH	59

1 ÚVOD

Hluk má nepriaznivý vplyv na ľudský organizmus. Pri dlhodobom vystavení zvýšenej hladiny hluku môže dochádzať k poruchám sústredenia a nervozite, čo má za následok zníženie efektivity práce a zvýšenie počtu chýb spôsobených ľudskou nepozornosťou. Z tohto dôvodu je potrebné, aby boli strojné zariadenia a elektronické spotrebiče kontrolované a navrhované tak, aby neprodukovali nadmerné množstvo hluku.

Akustické merania sa vykonávajú meraním akustických veličín v normou stanovenej ploche určenej bodmi. Rozmery meracej plochy sa prispôbujú obalovej ploche meraného zariadenia. Aby sa minimalizovala chyba merania, je potrebné, aby boli mikrofóny umiestnené v normou stanovených bodoch s dostatočnou presnosťou.

V technickej praxi sa na vymedzenie bodov akustického merania používa viacero metód, z ktorých niektoré sú vhodné pre meranie menších zdrojov hluku, iné zas na meranie veľkorozmerných zdrojov.

Cieľom tejto bakalárskej práce je navrhnúť modulárne prvky, ktoré umožnia univerzálny spôsob vymedzovania bodov akustického merania v priestore pre meráciu plochu do výšky 2 500 mm. Konštrukcia z modulárnych prvkov by mala byť navrhnutá tak, aby bola ako skladačka technicky jednoduchá, výškovo nastaviteľná, kompaktná, prenosná a skladná, aby sa jej montáž dala realizovať jediným pracovníkom a aby boli náklady na jej výrobu čo najnižšie. Ďalším podstatným faktorom je, aby bola pri meraní zabezpečená dostatočná klopná stabilita konštrukcie.

Pri riešení tejto práce je potrebné navrhnúť niekoľko konceptov na vymedzovanie bodov akustického merania v priestore a ich vzájomným porovnaním vybrať najvhodnejšiu variantu pre ďalšie riešenie. Pre vybranú koncepcionálnu variantu je potrebné vypracovať konštrukčné riešenie, ktoré pozostáva z podrobného návrhu jednotlivých funkčných častí konštrukcie a následná kontrola klopnej stability celej konštrukcie.

2 PREHL'AD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

2.1 Hluk

Hluk je nežiadúce alebo rušivé mechanické vlnenie pružného prostredia, ktoré vzniká rozkmitaním hmoty a šíri sa ako pozdĺžna vlna. Kmitanie sa prenáša na častice v bezprostrednom okolí, ktoré kmitajú okolo rovnovážnej polohy. To spôsobuje striedavé zhust'ovanie a zried'ovanie častíc akustického prostredia čo má za následok lokálne navýšenie, prípadne zníženie tlaku. Aktuálnu zmenu tlaku od barometrického tlaku, voláme akustický tlak [1].

2.1.1 Akustický výkon

Pri mechanickom kmitaní dochádza k prenášaní mechanickej energie kmitajúcich častíc. Množstvo energie ktorá prejde ohraničeným priestorom za určitý čas voláme akustický výkon. Je to najdôležitejšia charakteristika zdrojov hluku, ktorá umožňuje porovnávanie zdrojov hluku medzi sebou. Akustický výkon je definovaný vzťahom:

$$P = pvS \quad (W) \quad (1)$$

kde p (Pa) - akustický tlak,
 S (m²) - plocha,
 v (m·s⁻¹) - rýchlosť postupujúcej vlny [1].

Hladinu akustického výkonu môžeme definovať vzťahom:

$$L_w = \frac{10 \log P}{P_{ref}} \quad (dB) \quad (2)$$

kde P (W) - hodnotený akustický výkon,
 P_{ref} (m²) - referenčná hodnoty akustického výkonu $P_{ref}=10^{-12}$ W [2].

Akustický výkon môžeme určiť aj s využitím akustickej intenzity, teda množstvom toku akustickej energie uzavretou plochou v ktorej bude umiestnený zdroj hluku. Akustický výkon pomocou intenzity určíme vzťahom:

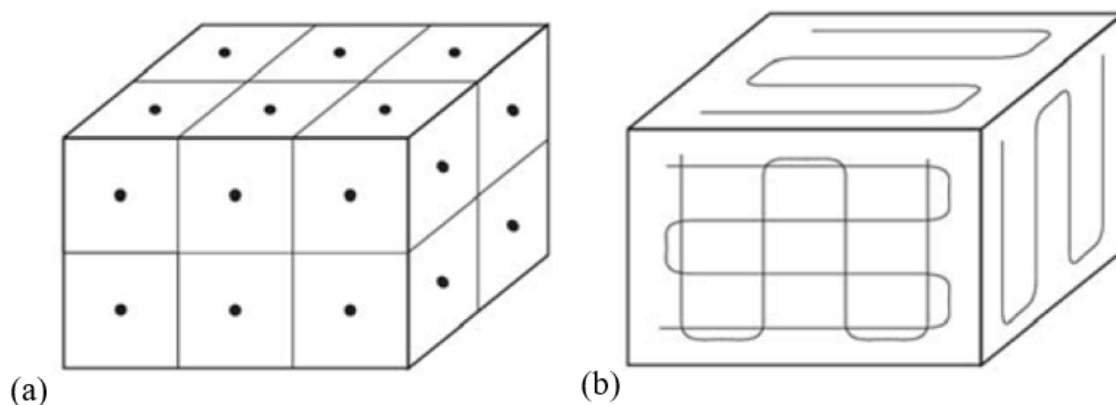
$$W = \iint_S \vec{I} \cdot \vec{n} dS \quad (W) \quad (3)$$

kde \vec{I} (Wm⁻²) - akustická intenzita,
 \vec{n} (1) - jednotkový vektor kolmý k ploche S,
 S (m²) - uzatvorená plocha [3].

2.2 Meranie akustického výkonu

Akustický výkon môžeme merať dvoma spôsobmi. Prvým z nich je meranie akustického výkonu pomocou akustického tlaku, ktorý meriame mikrofónmi. Pri tomto spôsobe merania meriame hodnoty akustického tlaku v presne stanovených bodoch priestoru. Voľba meracích bodov je predpísaná normou ISO 3744 a 3745.

Druhým spôsobom merania akustického výkonu je s využitím akustickej intenzity. V tomto prípade meriame hodnoty akustickej intenzity v plochách, ktoré uzatvárajú meraný zdroj hluku. V praxi sa používajú dve metódy rozdelenia meracej plochy. Prvá je metóda merania v bodoch a je znázornená na obr. 2-1(a), druhá je metóda merania pomocou skenovania a je zobrazená na obrázku 2-1(b). Postup merania je podrobne popísaný v normách ISO 9614-1 až 9614-3. Na meranie intenzity sa používajú sondy intenzít.



Obr. 2-1 Rozdelenie meracej plochy (a) meranie v bodoch, (b) meranie metódou skenovania [4]

Pri oboch spôsoboch merania akustického výkonu je kľúčovým faktorom správne umiestnenie meracej aparatúry v priestore vzhľadom k meranému zdroju hluku. Nepresnosť alebo vychýlenie z optimálnej polohy sa nepriaznivo podpíše na skreslení výsledkov [4].

2.2.1 Meracie prostredie

Pri akustických meraniach strojných zariadení musia byť zabezpečené vhodné podmienky merania, ktorých neoddeliteľnou súčasťou je samotné meracie prostredie. Za ideálne prostredie sa považuje bezdozvuková alebo tiež anechoická komora, ktorá dokáže vytvoriť prostredie bez odrazov zvukových vln. Celý povrch anechoickej komory je vybavený ihlanmi z vysoko pohltivých materiálov ako je napríklad minerálna vlna alebo sklenená vata (viď. Obr. 2-2). Kombinácia tvaru a materiálu vytvára vysoko pohltivé prostredie. V prípadoch, keď je podlaha meracej komory celistvá, neobsahuje hluk pohlcujúce ihlany, hovoríme o semi-anechoickej komore.

Anechoická komora vytvára podmienky voľného poľa, v ktorom sa akustická energia šíri rovnomerne do všetkých strán prostredia, akustický tlak klesá na polovicu pri zdvojnásobení vzdialenosti od zdroja a rýchlosť kmitania častíc je v smere šírenia pozdĺžnych vln [5].



Obr. 2-2 Anechoická komora [6]

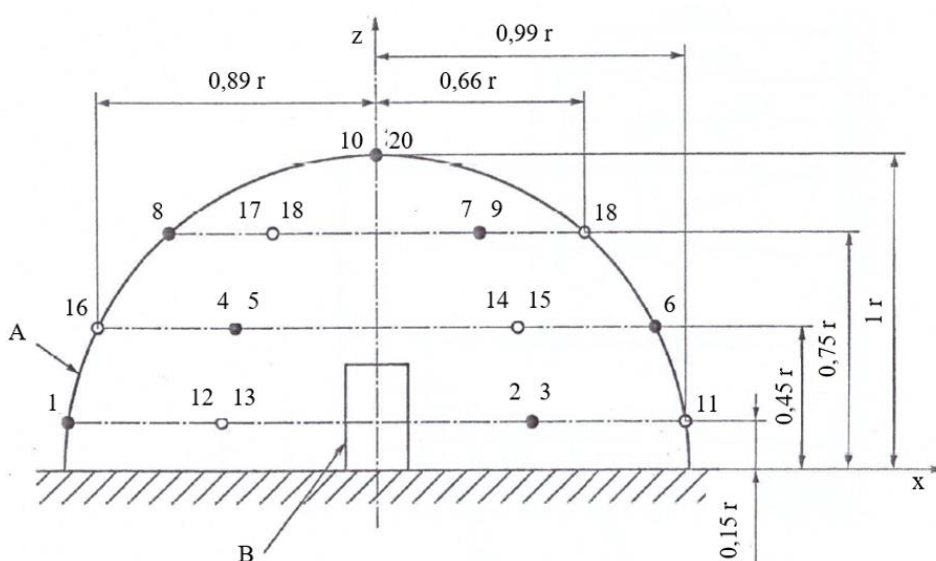
V prípade, že je merané zariadenie príliš veľké môžeme akustické meranie vykonať na rovnom vnútornom či vonkajšom priestore, primerane izolovanom od hluku pozadia. Pri vonkajšom meraní musia byť obmedzené podmienky prostredia, ktoré majú negatívny vplyv na mikrofóny, ako sú silné elektrické či magnetické polia, vietor, nízka, respektíve vysoká teplota prostredia a prípadne plyny unikajúce z testovaného zariadenia. Počas celého procesu merania treba dbať aj na minimalizáciu vplyvov nepriaznivých meteorologických podmienok (teplota, vietor, zrážky) na šírenie a generovanie zvuku. V prípadoch keď vykonávame akustické meranie v semi-anechoickej komore alebo vo vonkajšom prostredí je nutné vykonať korekciu na hluk z pozadia. Podrobnejšie kritéria akustickej vhodnosti skúšobného prostredia sú uvedené v normách ČSN EN ISO 3744 [7], ISO 3745 a ISO 9614.

2.2.2 Meracia plocha

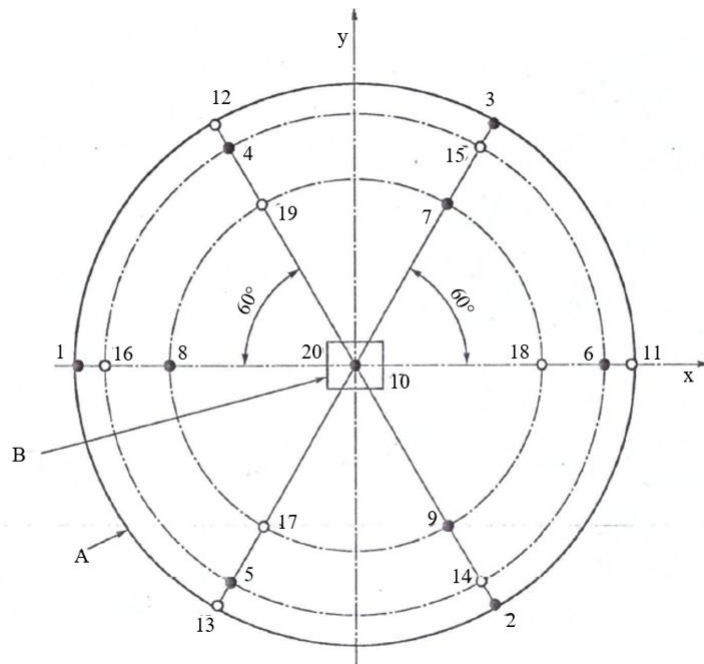
Najpresnejšie výsledky akustických meraní dostávame pri meraniach vo voľnom akustickom poli v anechoických komorách. Akustický výkon môže byť vo voľnom poli vyhodnotený súčtom súčinov parciálnych meracích plôch a akustických intenzít pre oblasti fiktívneho uzavretého povrchu okolo zdroja hluku. Na určenie tvaru a rozmerov meracej plochy je potrebné vymedziť referenčnú obalovú plochu. Tá je určená povrchom najmenšieho hypotetického kvádra, ktorý presne uzatvára meraný zdroj hluku. Pri určovaní rozmerov referenčnej obalovej plochy môžeme zanedbať časti vyčnievajúce zo zdroja, ktoré nevyžarujú významnú časť zvuku.

Jedným zo základných typov meracích plôch je tvar poglobule. Používa sa na meranie v anechoických komorách a jej tvar zabezpečuje minimálnu vzdialenosť medzi mikrofónom a zdrojom hluku. Pri meraní je stred poglobulej meracej plochy totožný so stredom zdroja hluku. Pri voľbe rozmerov poglobulej plochy musí platiť, že jej polomer musí byť rovnaký, prípadne väčší ako dvojnásobok charakteristického rozmeru obalovej plochy. Nesmie však byť menší ako 0,5 metra pri meraní veľmi malých zariadení [7].

Jedno z možných riešení poglobulej meracej plochy je zobrazené na Obr. 2-3 a 2-4, kde čierne značky s číslami 1 až 10 symbolizujú hlavné polohy mikrofónov. Vedľajšie polohy mikrofónov označené číslami 11 až 20 symbolizujú biele značky. Pozícia A predstavuje poglobulej meraciu plochu a pozícia B referenčnú obalovú plochu meraného zariadenia. Všetky polohy mikrofónov priamo vychádzajú z polomeru meracej plochy.



Obr. 2-3 Poglobulej meracia plocha, rovina x-z (upravené z [7])

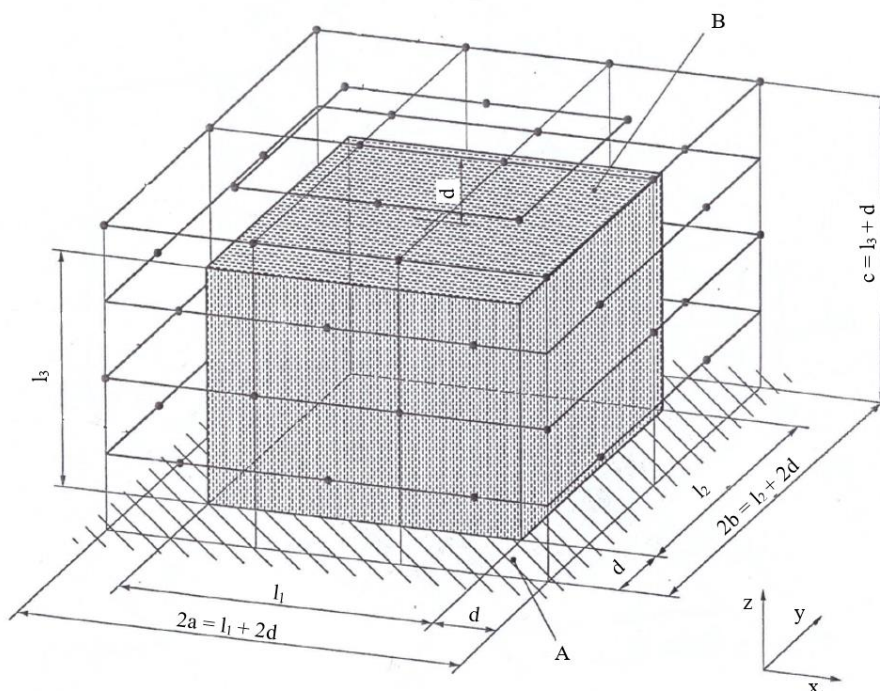


Obr. 2-4 Pologuľová meracia plocha, rovina x-y (upravené z [7])

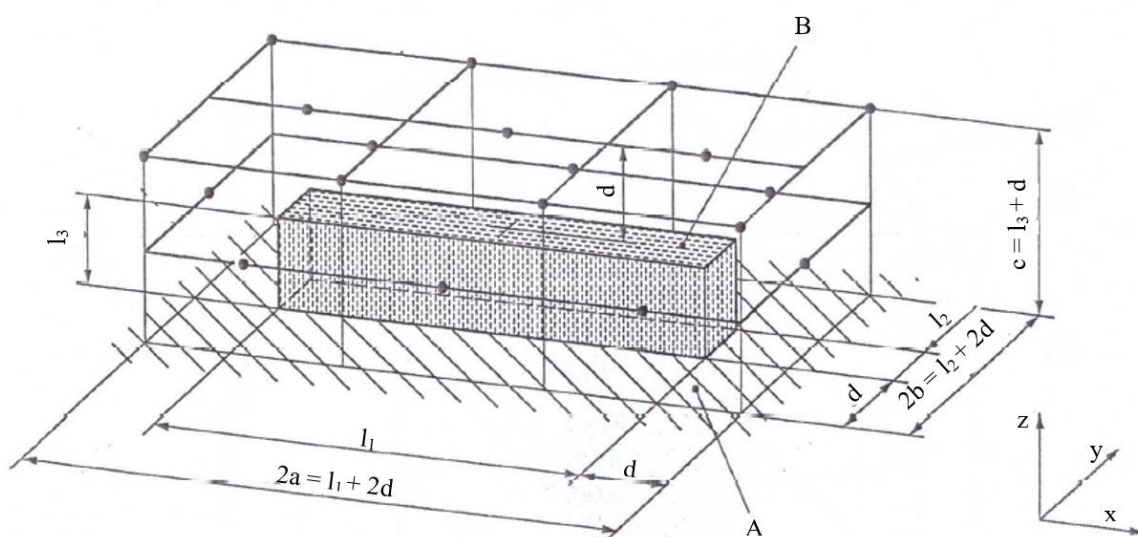
Okrem meracej plochy v tvare pologule môžeme použiť tzv. inžiniersku metódu a použiť meraciu plochu v tvare rovnobežnostenu, ktorého orientácia musí byť zhodná s orientáciou referenčnej obalovej plochy, a ktorého steny musia byť rovnobežné s týmito stenami. Tvar rovnobežnostenu môžeme použiť aj v prípadoch, ak by pologuľová meracia plocha bola príliš veľká a nebolo by možné zabezpečiť minimálnu vzdialenosť medzi zdrojom hluku a mikrofónom, rozmery pologuľovej meracej plochy by boli príliš veľké a znemožnili by meranie v anechoickej komore, pri meraní vo vonkajšom prostredí, alebo pri meraní rozmernejších strojných zariadení priamo v priestoroch, v ktorých sú inštalované. Vzhľadom k veľkému množstvu aplikácií meracej plochy v tvare rovnobežnostenu môžeme tento tvar nazvať všeobecným prípadom. Pri akustickom meraní musí byť minimálna vzdialenosť mikrofónu od povrchu referenčného kvádra aspoň 0,25 metra, normy však odporúčajú 1 meter alebo viac [7].

Použitie všeobecnej meracej plochy pri meraní je zobrazené na Obr. 2-5 a 2-6. Rozmery l_1 , l_2 a l_3 sú rozmery referenčnej obalovej plochy B a rozmery $2a$, $2b$ a c sú rozmery samotnej meracej plochy určené rozmermi referenčnej obalovej plochy a meracej vzdialenosti d . Pozícia A je odrazová rovina, teda podlaha. Čierne body zobrazujú hlavné polohy mikrofónov počas merania.

Pri akustických meraniach nie je nutné odmerať všetky požadované akustické veličiny pri jedinom meraní. Takéto meranie by vyžadovalo veľké množstvo meracích zariadení, mikrofónov, spolu s patričným množstvom držiakov a stojanov na ich uchytenie, a preto sa akustické merania môžu vykonávať po častiach. Pri meraní s jediným mikrofónom môžeme celý objem rozdeliť na dráhy a postupne merať požadované akustické veličiny. Efektívnejšie merania môže vykonať so sériou mikrofónov, keby meraný objem rozdelíme na plochy a meranie vykonávame postupne v jednotlivých meracích plochách.



Obr. 2-5 Kvádrová meracia plocha (upravené z [7])



Obr. 2-6 Kvádrová meracia plocha (upravené z [7])

2.3 Spôsob merania

V technickej praxi sa pri akustických meraniach používajú pologuľové, kvádrové, prípadne valcové tvary meracích plôch v závislosti od rozmerov a tvaru meraného zariadenia. Nezávisle na tvare meracej plochy, sa na jednoznačné vymedzovanie bodov merania v priestore používajú dva spôsoby. Jedným je vymedzenie pozícií pomocou jedného alebo viacerých nezávislých nastaviteľných členov, druhým spôsobom je pevná konštrukcia.

2.3.1 Nezávislé nastaviteľné členy

Jedná sa o technicky najjednoduchší spôsob vymedzenia bodov akustického merania. Ako základ sa môže použiť akýkoľvek tvar meracej plochy. Prakticky sa jedná o vymedzenie vzdialeností a výšok mikrofónov vzhľadom k obalovej ploche meraného zdroja hluku. Na nastavenie mikrofónov v správnej polohe sa používa meter, v prípade väčších vzdialeností od zdroja hluku sa použije meracieho pásma. Pri pologuľovej meracej ploche môže byť podlaha meracej komory, pre lepšie určovanie polohy, vybavená sústrednými kružnicami so stredom v bode, kde bude umiestnený zdroj hluku. Pri tomto prevedení môžu byť mikrofóny uchytené vo výškovo nastaviteľných stojanoch, statívoch alebo sa do požadovanej polohy spustia zo stropu takto vybavenej meracej komory, prípadne kombináciou týchto spôsobov zobrazených na Obr. 2-7.



Obr. 2-7 Vymedzenie pologuľovej meracej plochy [8]

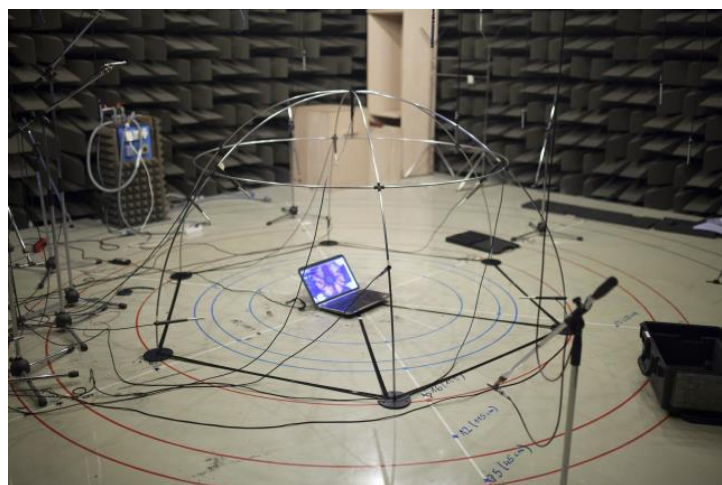
Akustické meranie s použitím jediného mikrofónu uchyteného napríklad v statíve je časovo veľmi náročné, nakoľko je potrebné mikrofón po každom meraní presunúť do ďalšieho bodu merania s určitou presnosťou.

Efektivitu merania môžeme zvýšiť použitím viacerých meracích zariadení, čo môže pri veľkom počte meracích zariadení pôsobiť neprakticky, hlavne v prípade, ak sa jedná o meranie vykonávané priamo na zariadení napríklad vo výrobnom procese a externých meraniach, kde sme značne limitovaný priestorom okolo meraného zariadenia. Pri nastavovaní viacerých stojanov alebo statívov môže dôjsť ku kontaktu alebo kolízii s už nastavenými zariadeniami a ich vychýlením z nastavenej pozície. V takom prípade je potrebné mikrofón opäť nastaviť na správne miesto.

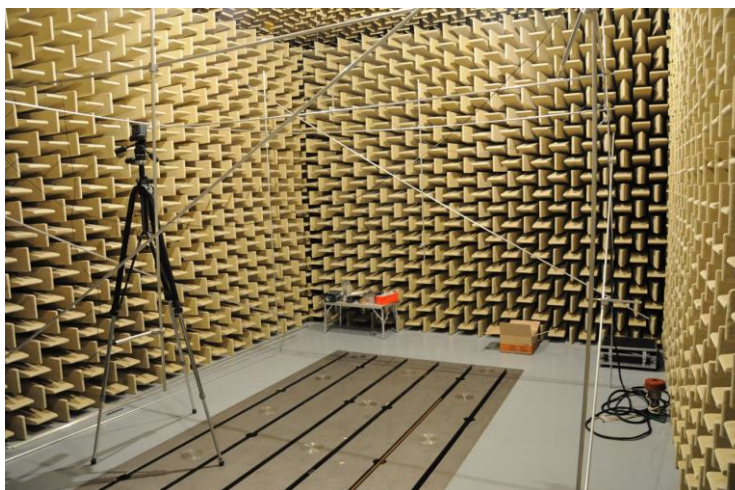
Ďalšou komplikáciou je meranie veľkých zdrojov hluku s výškou rádovo v jednotkách metrov. Pri týchto meraniach je pomerne náročné vymedziť presnú polohu meracieho zariadenia v požadovanej výške. Je potrebné použiť veľké a ťažké stojany alebo statívy aby pri meraní nedošlo k preklopeniu meracieho zariadenia.

2.3.2 Pevná konštrukcia

Použitie pevnej konštrukcie kombinuje možnosť vymedzenia bodov akustického merania v priestore a zároveň slúži ako nosný prvok pre upínanie meracej aparatúry. Podobne ako pri nastaviteľných členoch sa používajú najrôznejšie tvary meracej plochy od pologuľových, valcových, až po kvádrové (vid'. Obr. 2-8 a 2-9).



Obr. 2-8 Pevná pologuľová meracia plocha [9]



Obr. 2-9 Pevná kvádrová meracia plocha [10]

Základným stavebným prvkom pevnej konštrukcie sú prúty, najčastejšie tenké trubky s kruhovým priemerom. Pri pevnej pologuľovej konštrukcii sa používajú ohýbané prúty spájané pomocou najrôznejších spojovacích prvkov zo zliatin hliníka. Za účelom zníženia vlastnej hmotnosti pevnej konštrukcie sa môžu hliníkové spojovacie a upínacie elementy nahradiť plastovými. Nakoľko sa nepredpokladá, že konštrukcia bude namáhaná inak ako vlastnou tiažou a tiažou a momentami, ktoré vyvolajú upnuté mikrofóny, plastové diely ponúkajú dostatočné mechanické vlastnosti s nižšou hustotou ako diely z hliníkových zliatin. Pri malých pologuľových meracích konštrukciách sa môže použiť technológia používaná pri stavbe stanov. Kratšie valcové trubky zo sklolaminátu pospájané pomocou kovových spojnic sa ukotvia k základni. Použitím viacerých, uhlovo posunutých oblúkov dostaneme pologuľový tvar. Ako materiál prútov sa používajú zliatiny neželezných kovov, prevažne zliatiny hliníka, ktoré kombinujú primerané mechanické vlastnosti s nízkou hustotou. V špeciálnych aplikáciách sa môžu použiť prúty z kompozitných materiálov.

Na spájanie prútov konštrukcie sa používajú univerzálne spojovacie prvky, ktoré dokážu zabezpečiť požadovaný tvar a funkciu pevnej konštrukcie. Tieto spojky môžu byť zhotovené z jednoduchých hliníkových dielov pospájaných tak, aby slúžili ako rohové, priame či kolmé spojky. Spojky môžu ďalej slúžiť aj na upínanie mikrofónov priamo na hlavnú nosnú konštrukciu (vid' Obr. 2-10).



Obr. 2-10 Spojovacie a upínacie elementy na pevnej kvádrovej meracej ploche [10]

Najväčšou výhodou pevnej konštrukcie je, že zároveň slúži ako nosný prvok na upínanie meracej aparatury pri akustických meraniach. Mikrofóny na nej upnuté môžeme posúvať po jej obvode a v prípade potreby priblížiť resp. oddialiť od meraného zdroja hluku.

Nevýhodou pevných konštrukcií je, že sa zvyčajne jedná o konštrukčné celky zhotovované v určitých rozmerových variantoch s fixne stanovenými rozmermi. Najčastejšie sa používajú na meranie menších strojných zariadení a takmer výhradne v anechoických komorách. Nedajú sa použiť na meranie veľkých zdrojov hluku alebo pri meraniach v teréne.

2.3.3 Meranie na VUT

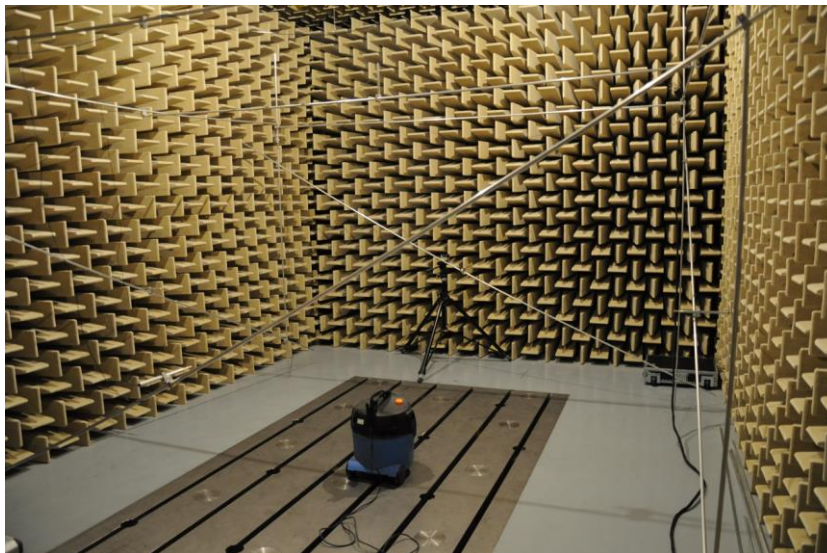
Najpoužívanejší spôsob vymedzovania bodov akustického merania na VUT je pomocou nezávislých nastaviteľných členov. Konkrétne sa používajú statívy na fotoaparáty prispôbené na upínanie mikrofónov. Aby bolo meranie časovo efektívnejšie, všetky body merania sa vymedzujú pred začatím merania. Na ich vymedzenie sa ako základný element používajú hliníkové trubky upnuté v statívoch, ktoré budú plniť nosnú funkciu. Ďalej sa medzi týmito stojkami natiahne tenký špagát v požadovaných výškach v pozdĺžnom aj v priečnom smere. Uchytenie špagátu k stojke sa realizuje pomocou lepiacej pásky. Na vymedzenie kolmých smerov sa opäť použije špagát pripevnený na už natiahnuté smery špagátu lepiacou páskou.

Jedná sa o rýchle vymedzenie všetkých bodov meracej plochy v priestore. Aj keď je použitie lepiacej pásky dostatočné pri meraní menších a stredných zariadení, pri väčších zdrojoch hluku dochádza k nežiadúcemu previsu špagátu medzi stojkami, čo spôsobuje nepresnosti pri vymedzovaní polohy a tým aj pri meraní akustických veličín. Tento spôsob je taktiež neefektívny pri meraní vo väčších výškach, tak povediac nad hlavou, kde je sťažená manipulácia pri napínaní špagátu.

Ďalší spôsob, ktorý sa používa na VUT, je semestrálny projekt študentov z Ústavu konštruovani. Jedná sa o pevnú kvádrovú konštrukciu z hliníkových trubiek navrhnutú tak, aby pokryla maximálny merací rozsah školskej, semi-anechoickej komory. Konštrukcia pozostávala z celkom trinástich hliníkových trubiek ktoré boli pospájané pomocou univerzálnych spojovacích elementov, schopná vytvoriť meraciu plochu z deviatich mikrofónov.

Pri montáži tejto konštrukcie je potrebné najskôr zostaviť vrchnú časť konštrukcie v tvare obdĺžnika z piatich trubiek. Tá sa následne umiestni na štyri stojky, zdvihne sa do požadovanej výšky a zaaretuje poist'ovacími skrutkami. Takto postavená konštrukcia sa ďalej zavetrí zostávajúcimi trubkami. Mikrofóny sa pripevnia ku konštrukcii univerzálnymi spojovacími elementami a ich presná poloha sa nastaví pomocou dvoch krížových laserov.

Táto konštrukcia má pri montáži veľa stupňov voľnosti, čo je pri montáži jediným človekom značný problém, preto je potrebné, aby bolo pri zostavovaní viacero pracovníkov. Nakoľko trubky použité pri tejto konštrukcii sú pomerne rozmerné, znemožňuje to praktický prevoz a použitie tejto konštrukcie pri meraní napríklad priamo vo výrobnom procese.



Obr. 2-11 Pevná kvádrová konštrukcia pri meraní na VUT [10]

2.3.4 Zhrnutie rešerše

Pri akustických meraniach sa na vymedzovanie meracích bodov v priestore používajú rôzne spôsoby v závislosti od rozmerov zdroja hluku. Pre niektoré aplikácie a menšie zdroje hluku sa môže použiť pevná konštrukcia určená na meranie v anechoickej komore, ktorá bude zároveň slúžiť na upínanie meracej aparatúry. Jedná sa o časovo nenáročné meranie, nakoľko všetky body merania odmeriame pri jedinom meraní. Jej nevýhodou je, že konštrukcia má fixné rozmery a jej použitie nie je možné pri meraniach mimo laboratórne podmienky.

Pre iné prípady, napríklad pri meraní zariadení priamo vo výrobnom procese alebo pre veľké zdroje hluku sa použije metóda s nezávislými nastaviteľnými prvkami kvôli vysokej všestrannosti použitia. Nakoľko nie sme limitovaný geometriou pevnej konštrukcie, môžeme pomocou týchto prvkov vytvoriť meraciu plochu akéhokoľvek normalizovaného tvaru. Pri meraniach vo výškach je potrebné zabezpečiť dostatočnú stabilitu aparatury pri meraní. Avšak oproti meraniam s pevnou konštrukciou sa jedná o časovo náročnejší spôsob merania, nakoľko polohu jednotlivých bodov treba stanoviť individuálne s patričnou presnosťou.

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE

3.1 Analýza problému

Na vymedzovanie bodov akustického merania v priestore sa používajú najrôznejšie spôsoby v závislosti od rozmerov zdroja hluku, prostredia v ktorom sa daný zdroj nachádza, ale aj od požadovanej presnosti výsledkov. Či už sa jedná o pevné konštrukcie alebo o vymedzovanie pomocou stojanov či statívov, neexistuje žiadne univerzálne riešenie ktoré by pokrylo akustické merania pre zdroj hluku akejkoľvek veľkosti, rádovo od centimetrov až po metre, a pre meranie rovnako v anechoických komorách ako aj v teréne alebo priamo vo výrobnom procese.

Univerzálne riešenie by malo ťažiť z výhod oboch spomínaných spôsobov vymedzovania polohy bodov akustického merania. Jednoduchý, rýchly, technicky nenáročný spôsob vymedzenia bodov s požadovanou presnosťou ich polohy, ktorý by našiel uplatnenie ako v laboratórnych podmienkach anechoickej komory, tak aj pri rôznych interných či externých meraniach u zákazníka.

3.2 Cieľ práce

Cieľom bakalárskej práce je navrhnuť univerzálne modulárne prvky ktoré slúžia na vymedzenie bodov akustického merania. Pri návrhu treba zohľadniť, aby boli prvky výškovo nastaviteľné do výšky 2500 mm s možnosťou upnutia meracích mikrofónov s rozmermi 1/8'' až 1'' v miestach, kde to umožní tuhosť konštrukcie. Celá konštrukcia má byť ľahká, prenosná, skladná a pri meraní musí byť zabezpečená jej klopná stabilita.

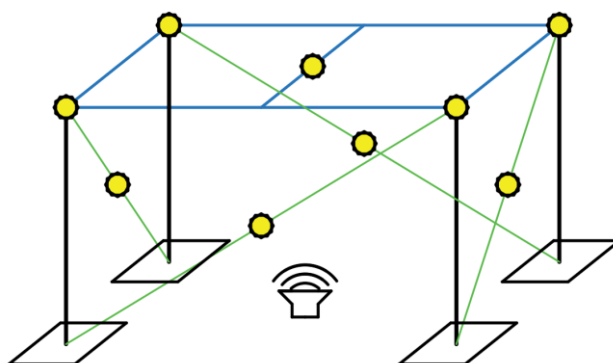
Čiastkovými cieľmi práce je navrhnuť a skonštruovať základné nosné prvky konštrukcie, prvky pre vymedzovanie meracích polôh a na upnutie meracej aparatúry. Stanoviť cenovú rozvahu realizácie práce a samotná realizácia navrhutej konštrukcie.

4 KONCEPČNÉ RIEŠENIA

V tejto kapitole budú predstavené možné koncepty riešenia vymedzovania bodov akustického merania. Keďže tvar meracej plochy a jej parametrizované rozmery sú stanovené v normách ISO 3744, 3745 a 9614 kľúčovým faktorom pre riešenie tejto práce je správne stanovenie spôsobu vymedzovania bodov akustického merania.

4.1 Variant A

Tento variant riešenia priamo vychádza z práce študentov VUT [10]. Jedná sa o kvádrovú meraciu plochu ktorej konštrukcia bude tvorená kruhovými trúbkami, ktoré budú pospájané pomocou plastových spojovacích elementov. Ako materiál trubiek môže byť namiesto hliníku použitý napríklad sklolaminát, alebo vhodne zvolený kompozitný materiál. Na výrobu upínacích elementov sa použije aditívna technológia 3D tlače. Návrh tejto pevnej konštrukcie je na Obr. 4-1, kde sú čiernou farbou vyznačené stojky zo širšími podstavami na zabezpečenie dostatočnej stability pri meraní, modrou je výškovo nastaviteľná vrchná časť konštrukcie a zelenou sú zavrtovacie tyče na zvýšenie celkovej stability konštrukcie. Žlté elementy predstavujú umiestnenie mikrofónov, ktoré sú pripnuté priamo na konštrukcii.



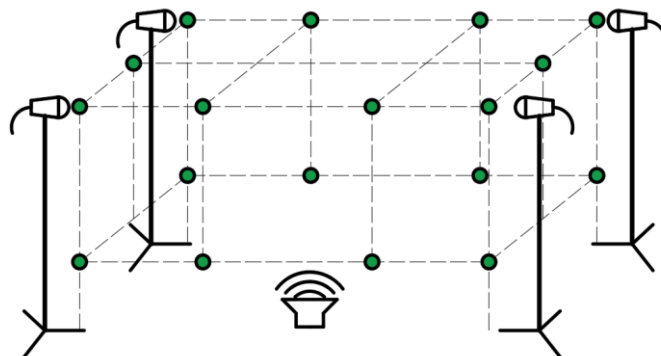
Obr. 4-1 Variant pevnej konštrukcie

Výhodou tejto konštrukcie je jej robustnosť a stabilita aj v prípade montáže z tenkých profilových prvkov. Výsledky akustického merania dosiahneme počas jediného merania. Ďalšou výhodou je, že meracia aparátúra môže byť upnutá priamo na konštrukcii, čo odbúra nutnosť použitia stojanov pri samotnom meraní.

Nevýhodou však zostáva pomerne vysoká hmotnosť celej konštrukcie a vyššia náročnosť montáže a nastavenie mikrofónov do požadovanej jedinou osobou. Pri meraní väčších zdrojov hluku je potrebné použiť vyššie stojky a dlhšie zavetrovacie elementy ktoré nie sú práve kompaktné. Taktiež nosenie väčšieho počtu dielov je dosť nepraktické. Jedná sa o pomerne nákladné riešenie.

4.2 Variant B

Pri tejto variante sa body akustického merania vymedzujú v priestore len jednoduchým ustavením v požadovanej polohe. Meracia aparátúra môže byť upnutá v statívoch alebo na to prispôsobených stojanoch. Konkrétne polohy mikrofónov sa budú vymeriavať pomocou metra, prípadne laserového odmeriavacieho zariadenia. Návrh tohto usporiadania je zobrazený na Obr. 4-2, kde je čiarkovanou čiarou vyznačená normou stanovená meracia plocha, zelenou konkrétne body merania a ku nim pristavené mikrofóny.



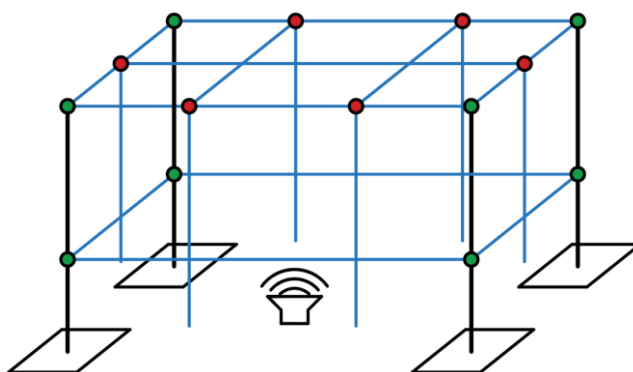
Obr. 4-2 Voľné umiestnenie mikrofónov

Pri tomto spôsobe merania nepotrebujeme žiadnu konštrukciu, ale len samotnú meraciu aparátúru a stojany, do ktorých ju pri meraní upneme. Prenos celej meracej techniky je pomerne jednoduchý, nakoľko zložené stojany sú kompaktné a ľahké

Nevýhodou však je vysoká časová náročnosť merania aj v prípade, ak meriame s viacerými mikrofónmi alebo sondami. Pri použití viacerých stojanov mikrofónov sa zhoršuje manipulácia s nimi a môže dôjsť ku kolízii mikrofónov počas nastavovania ich polohy.

4.3 Variant C

Táto varianta modifikuje používanie jednoduchých stojok, ku ktorým sa pripevňujú špagátky pomocou lepiacej pásky a následné nadpájanie vertikálnych smerov na už natiahnuté horizontálne smery. Lepiaca páska by sa nahradila držiacimi a vodiacimi elementami. Problémom s prevísaním špagátov sa dá odstrániť pridaním vhodného napínacieho mechanizmu. Návrh tejto konštrukcie, ktorá bude slúžiť len na fyzické vymernie bodov akustického merania v priestore, je znázornený na Obr. 4-3. Čiernou farbou sú vyznačené stojky so širšími podstavami na zabezpečenie stability konštrukcie pri meraní. Modrou sú vyznačené horizontálne a vertikálne smery napnutých špagátov. Zelené prvky sú pripnuté na stojkách a slúžia na vedenie špagátu v horizontálnom smere. Červené prvky sa pripájajú na už napnuté horizontálne laná a slúžia na vymedzenie vertikálneho smeru vedenia špagátu a zároveň na vrchnej ploche vytvárajú pozície pre ďalšie body merania.



Obr. 4-3 Variant konštrukcie na vymedzenie bodov akustického merania

Mikrofóny budú pri meraní upnuté v statívoch, prípadne v stojanoch na to určených a ustavia sa v bodoch ktoré vymedzia priesečníky špagátov. V prípade merania akustických veličín v blízkosti zelených bodov, teda v mieste, kde je ku stojke upnutý prvok zabezpečujúci horizontálne vedenie špagátu, môžeme mikrofón uchytiť do špeciálne navrhnutého držiaku a pripevniť ho priamo na stojku.

Pri tejto variante si nameriame všetky pozície bodov akustického merania naraz, čo značne zvýši produktivitu a zníži celkový čas merania. Štyri výškovo nastaviteľné stojky poskytnú dostatočnú podporu pre natiahnuté špagáty pri zachovaní kompaktnosti konštrukcie.

Nevýhodou tohto riešenia je, že pri meraniach dlhších zdrojov zvuku je potrebné zabezpečiť napínanie špagátov aby nedochádzalo k ich prevísaniu.

4.4 Výber varianty

Tab. 4-1 Porovnanie vlastností koncepčných riešení

Vlastnosti	Variant A	Variant B	Variant C
Technická náročnosť konštrukcie	Zložitá	Jednoduchá	Stredne náročná
Náročnosť montáže jedným človekom	Zložitá	Jednoduchá	Jednoduchá
Hmotnosť	Vyššia	Zanedbateľná	Nižšia
Kompaktnosť a schopnosť prevozu	Nepraktická	Kompaktná	Kompaktná, dobre prenosná
Časová náročnosť merania	Nenáročná	Náročná	Prijateľne náročná
Cena	Nákladná	Prijateľná	Prijateľná

Pri porovnávaní ceny jednotlivých variantov riešenia uvažujem vo variante A náklady na realizáciu konštrukcie, teda trubky so sklolaminátu a spojovacie a upínacie elementy zhotovené z materiálu PLA s použitím 3D tlačiarne a náklady na podstavu. Vo variante B predpokladám použitie jediného, ale kvalitného statívu, ktorý bude slúžiť na polohovanie mikrofónu v požadovanej polohe. Pri variante C sú v cene zahrnuté náklady na realizáciu konštrukcie. Trubky z hliníku, spojovacie a upínacie elementy z materiálu PLA a náklady na podstavu.

Po porovnaní vybraných vlastností jednotlivých variantov riešenia som pre ďalšie riešenie vybral variantu C, nakoľko sa jedná o kompaktnú a dobre prenosnú konštrukciu, ktorá sa dá postaviť jednou osobou a poskytuje časovo prijateľnú dĺžku merania.

5 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE

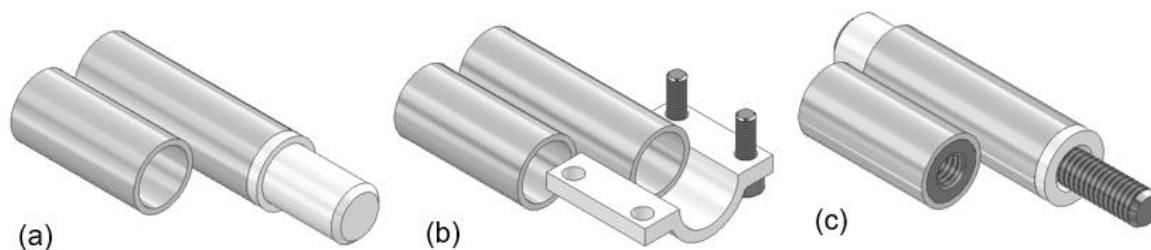
Cieľom je navrhnuť univerzálne modulárne prvky, ktoré vytvoria konštrukciu na vymedzenie bodov akustického merania v priestore.

5.1 Návrh stojky

Stojka bude slúžiť ako základný nosný prvok na upínanie elementov vedúcich špagát a v prípade potreby, aj na upnutie samotného mikrofónu v špeciálne navrhnutom držiaku. Pri návrhu stojky je potrebné sa zamerať na jej výškovú nastaviteľnosť do výšky 2500 mm a schopnosť udržať stabilitu pri meraní. Pre zjednodušenie tieto dve úlohy riešim nezávisle na sebe.

5.1.1 Výšková nastaviteľnosť

Pri návrhu riešenia výškovej nastaviteľnosti stojky som sa zamerlal na jej primárne nastavenie do výšky 2500 mm. Pre riešenie tohto problému sa vyskytlo hneď niekoľko možných riešení. Patrilo medzi ne nastavenie výšky merania pomocou teleskopickej tyče alebo zostavením požadovanej výšky z viacerých prvkov, trubiek s priemerom 12 mm a hrúbkou steny 1 mm s dĺžkami 500, 1000 a 2000 mm. Riešenie s teleskopickou tyčou, pri ktorom by sa tyč vysunula do požadovanej výšky, v ktorej by sa poistila pootočením (podobný princíp ako je pri nastaviteľných turistických paliciach) som však zamietol kvôli postupne sa zužujúcemu priemeru tyče. Táto konštrukčná vlastnosť by nepriaznivo ovplyvnila návrh prvkov ktoré by sa neskôr upínali na stojku. Pri zostavovaní požadovaného rozmeru z viacerých prvkov sa dá uvažovať viacero možností ich spájania. Použitie čapu, ktorého jeden koniec bude napevno nalisovaný v trubke a druhý, oddelený osadením, sa bude vkladať do ďalšej trubky s vôľou (Obr. 5-1 (a)). Spájanie pomocou mechanickej spojky s deleným nábojom (Obr. 5-1 (b)), alebo spájanie pomocou kombinovanej skrutky a matice priamo v trubke (Obr. 5-1 (c)). Kvôli elementom, ktoré sa budú upínať na stojku a ich ďalšiemu návrhu, je dôležité, aby mala stojka po celej dĺžke konštantný priemer, čo eliminuje možnosť použitia spojky, nakoľko v mieste spoja dvoch trubiek by bolo nemožné umiestniť tento element. Pri skladaní požadovanej výšky stojky je dôležité aby nedošlo k nehode a predišlo sa prípadnému poraneniu pracovníka. Toto sa môže zdať ako triviálny problém pri výške stojky do troch metrov, ale pri montáži stojky na väčšie výšky, napríklad šesť metrov, by pri neopatrnnej manipulácii a naklonení stojky mohlo dôjsť k vysunutiu čapu. Preto som sa rozhodol na spájanie použiť kombinované skrutky a matice.



Obr. 5-1 Spôsoby napájania trubiek; (a) pomocou čapu; (b) pomocou spojky s deleným nábojom; (c) pomocou kombinovanej skrutky a matice.

Do trubky bude zalisované plastové puzdro s osadením na eliminovanie nepresností pri delení trubiek. Doň sa následne zavrta závrtaná časť kombinovanej skrutky M6 tak, aby z puzdra trčalo približne 15 mm. Pre poistenie puzdra so skrutkou v trubke, môžeme trubku v mieste uloženia mierne stlačiť pomocou kombinačných klieští.

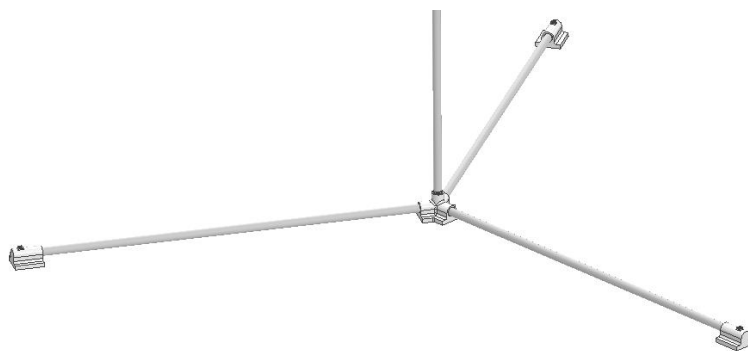
Ako maticu som použil nitovaciu maticu M6. Jej vonkajšie rozmery umožňovali jednoduché nalisovanie priamo do trubky bez nutnosti akejkoľvek úpravy.

Tento typ spojenia dvoch trubiek neovplyvňuje celkový vonkajší priemer stojky a umožňuje prichytávanie ďalších komponentov aj priamo do miesta spoja. Skrutkový spoj zároveň zabraňuje samovoľnému vysunutiu prvkov stojky pri neopatrnnej manipulácii.

5.1.2 Podstava

Jednou zo základných požiadaviek na konštrukciu je zabezpečenie klopnej stability pri meraní. To sa dá docieľiť dvoma spôsobmi. Čo najviac znížiť ťažisko telesa v stabilnej polohe alebo zväčšiť vzdialenosť zvislej ťažnice od hrany podstavy (klopného bodu) [11].

Pri návrhu podstavy som uvažoval tri rôzne varianty. Prvou z nich bola trojnožka, teda sústava 3 dlhších prútov uložených v rovine, spojených v spoločnom bode a navzájom pootočených o 120° (Obr. 5-2). Táto konfigurácia by bola extrémne ľahká a rozmery tejto podstavy by sa dali vyskladať z rôzne dlhých prútov podobným spôsobom, ktorý som zvolil v kapitole 5.1.1, čo by umožňovalo jednoduchosť prepravy, montáže aj skladovania. Najväčšou nevýhodou tejto podstavy je, že na zvýšenie odolnosti proti preklopeniu využíva zväčšenie svojich rozmerov, čo má nepriaznivý vplyv na zástavbové rozmery stojky. V prípade meraní na malé vzdialenosti, napríklad v anechoickej komore by to nemusel byť problém, ale v prípade meraní väčších zdrojov hluku, alebo pri meraniach priamo vo výrobe by takáto podstava bola nepraktická a skôr by prekážala.



Obr. 5-2 Trojnohá podstava

Ďalšou variantou je použitie 11 litrového barelu na vodu, ktorý by sa namiesto vody mohol naplniť pieskom na zvýšenie vlastnej hmotnosti (Obr. 5-3). Jedná sa o pomerne kompaktné riešenie podstavy s prijateľnými zástavbovými rozmermi. Pripevnenie stojky k podstave by sa riešilo pomocou insertu z plastu zasunutého do hrdla barelu do ktorého by sa stojka, vyskladaná na príslušnú výšku zaskrutkovala. Ďalšou výhodou tohto riešenia je, že súčasťou barelu je aj ucho ktoré by zvyšovalo komfort pri prenose podstavy.



Obr. 5-3 Podstava z barelu na vodu

Poslednou možnosťou riešenia podstavy je oceľová doska upravená tak, aby sa na ňu dala napojiť stojka. Jednalo by sa o štyri platne vypaľované z oceľového plechu uložené na štyroch nožičkách utiahnuté skrutkami. Upevnenie stojky by sa riešilo plastovým insertom so zapustenými maticami, do ktorého by sa zaskrutkovala nastavovacia časť stojky. Pre zlepšenie manipulácie pri prenose by bolo v podstave vypálené ucho na uchopenie. Aby sa predišlo korózii podstavy, je potrebné ju opieskovať a opatriť ochranným náterom. Podstava z vypaľovaného plechu je zobrazená na Obr. 5-4. Hlavnou nevýhodou tejto podstavy sú vysoké obstarávacie náklady.



Obr. 5-4 Plochá podstava

Rozhodujúcim faktorom pre výber podstavy sú jej rozmery, hmotnosť, komfort prepravy a obstarávacie náklady. Stručný prehľad porovnávaných vlastností je znázornený Tab. 5-1.

Tab. 5-1 Porovnanie vlastností rôznych podstav

Porovnávaná vlastnosť	Trojnohá podstava	Podstava z barelu	Plochá podstava
Rozmery podstavy	Možnosť vyskladať z modulárnych prvkov	Priemer d = 280 mm, Výška h = 180 mm	Podstava 250 x 250 mm Výška 20 mm
Praktickosť a kompaktnosť pri meraní	Nepraktická, kompaktná	Praktická, kompaktná	Praktická, kompaktná
Komfort prepravy	Rozoberateľná, prenosná	Barel s uchom na uchopenie	Podstava s uchom na uchopenie
Odhadovaná hmotnosť podstavy	Max 1 kg	Naplnená vodou : 11 kg Naplnená pieskom: 19 kg	Max 10 kg
Odhadované náklady na výrobu (4ks)	15€ / 375 Kč	50€ / 1 250 Kč	320€ / 8 000 Kč

V nákladoch na výrobu plochej podstavy je zahrnutá cena materiálu S235, vypálenie plechu, následná povrchová úprava proti korózii a cena práce. Táto suma bola vyčíslená pre zhotovenie v spoločnosti KRÁLOVOPOLSKÁ STEEL s.r.o.

Na základe porovnania vlastností podstav som sa rozhodol použiť podstavu z barelu na vodu. Tento variant ponúka prijateľné rozmery podstavy, prítomnosť ucha zvyšuje komfort prenosu, umožňuje zvýšiť stabilitu v prípade, že barel naplníme pieskom. Táto varianta je zároveň cenovo prijateľná.

5.2 Vedenie špagátu

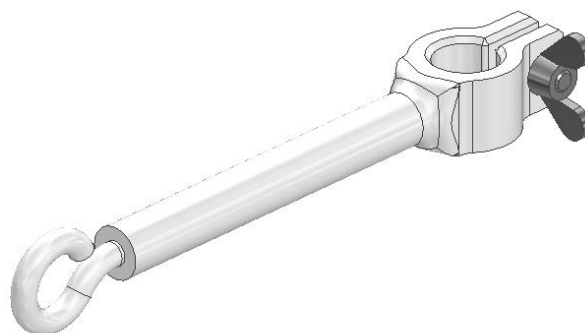
Pri tejto konštrukcii špagát slúži na fyzické vymedzenie bodov akustického merania. Ako kľúčový faktor pri návrhu prvkov na jeho vedenie považujem jednoduchosť a praktickosť montáže, a to konkrétne, že špagát je jednoduchšie viesť okolo tvarových prvkov, alebo ich na ne nasunúť, ako ho cez ne prevliekať. Ďalším dôležitým faktorom bola možnosť montáže jednotlivých elementov bez nutnosti použitia ručných nástrojov.

5.2.1 Upínacie elementy

Tieto elementy budú uložené na stojkách, po ktorých sa môžu voľne posúvať nahor a nadol v závislosti od konkrétnej výšky, pre ktorú budeme dané meranie vykonávať a budú slúžiť na vymedzenie vodorovných smerov a hrán meracej plochy. Pripevnenie a zaaretovanie elementu v nastavenej polohe sa dá riešiť viacerými spôsobmi. Jedným je napríklad pripojenie pomocou spojky s deleným nábojom (podobný princíp ktorým som uvažoval spájanie trubiek v kapitole 5.1.1, zobrazený na Obr. 5-1 (b)), alebo pomocou zverného spoja. V oboch prípadoch by sa jednalo o uťahovanie skrutkového spoja krídlovou maticou. Pre jednoduchosť a rýchlosť nastavenia elementu na stojke, ale aj kvôli redukcii hmotnosti elementu som sa rozhodol použiť zverný spoj s jedinou skrutkou.

Nakoľko sa jedná o pomerne malý diel, použijem skrutku M4-16 so šesťhrannou hlavou ktorá bude zapustená v jednej strane zverného spoja. Závitová časť skrutky pôjde cez obe polovice zverného spoja kde sa utiahne krídlovou maticou M4.

Keďže elementy upevnené na stojkách budú tvoriť rohové pozície meracej plochy, je dôležité, aby samotná prítomnosť stojky v blízkosti mikrofónu nepriaznivo neovplyvnila výsledok akustického merania. Preto je potrebné, aby bol špagát, a teda aj myslená hrana meracej plochy vedená v dostatočnej vzdialenosti od stojky. To docielim vysunutím tvarového prvku okolo ktorého budem špagát viesť smerom od stojky. Pre zníženie celkovej hmotnosti elementu budem jeho výrobu uvažovať s použitím aditívnej technológie pomocou 3D tlače z plastového materiálu. Výsledný tvar upínacieho elementu je zobrazený na Obr. 5-5.

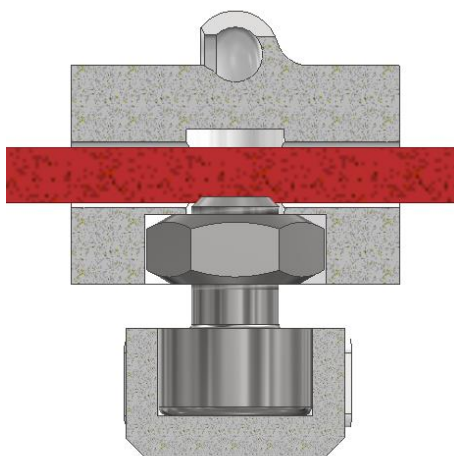


Obr. 5-5 Upínací element

5.2.2 Vymedzovacie elementy

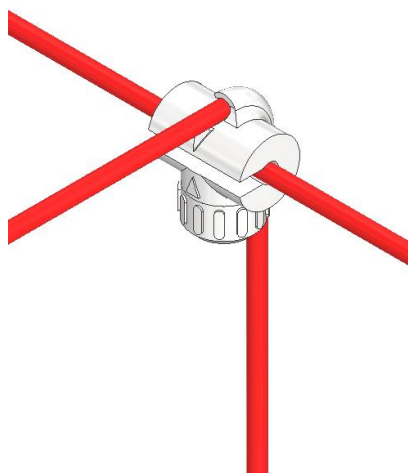
Vymedzovacie elementy budú slúžiť vedenie špagátu a na vymedzenie a vyznačenie vertikálnych smerov a hrán meracej plochy. Zároveň budú určovať body merania na hornej podstave tejto plochy.

Základnou myšlienkou pri návrhu vymedzovacích elementov bolo, že sa budú nasadzovať na už natiiahnuté horizontálne smery bez nutnosti do nich akokoľvek zasahovať. Ako základný tvar som použil medzikružie s vyrezanou drážkou od vonkajšieho, až po vnútorný priemer. Poistenie vymedzovacieho elementu proti posunutiu riešim pomocou skrutky s valcovou hlavou s vnútorným šesťhranom M4 - 8 a matice M4, ktorá je súčasťou elementu. Pri utáňovaní, skrutka prechádza maticou a pritláča špagát k vnútornému medzikružiu vodiacej časti elementu vid'. Obr. 5-6. Pre lepšiu manipuláciu pri ručnom utáňovaní skrutky som ju vybavil krytkou s výstupkami na zlepšenie úchopu.



Obr. 5-6 Aretovanie vymedzovacieho elementu v reze

Na vymedzenie vertikálneho smeru boku meracej plochy a zároveň horizontálneho smeru hornej podstavy meracej plochy použijem tvarovú drážku, cez ktorú bude prechádzať špagát určujúci tieto dva smery. Ďalším zaujímavým detailom na vymedzovacom elemente sú dva tvarové prvky, ktoré určujú stred elementu a tak spresňujú možnosť nastavenia v presne stanovenej polohe. Na výrobu vymedzovacieho elementu použijem metódu 3D tlače kvôli jeho zložitému tvaru a za účelom čo najmenšej hmotnosti. Výsledný návrh vymedzovacieho elementu aj so smermi špagátov ktoré vymedzuje je zobrazený na Obr. 5-7.



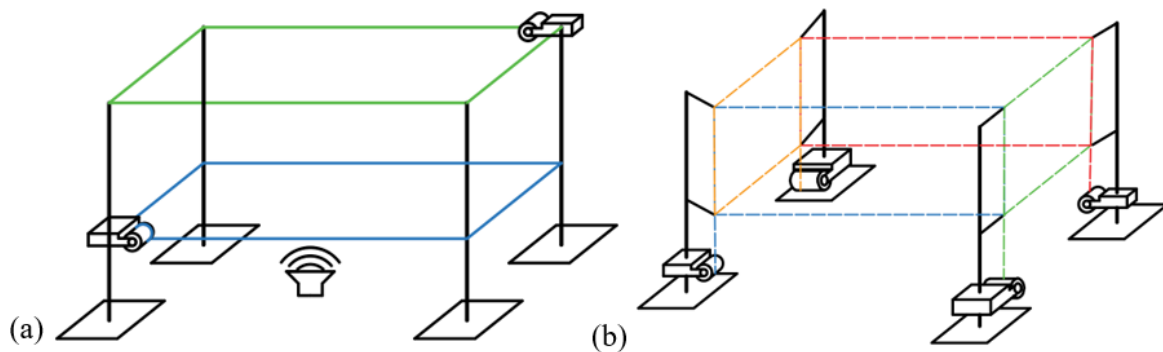
Obr. 5-7 Vymedzovací element

5.3 Napínanie špagátu

Aby bola zabezpečená požadovaná presnosť merania, je dôležité, aby boli meracie body v normou stanovených polohách. Nakoľko sa špagát vlastnou tiažou prehýba, je potrebné ho napínať tak, aby bola zaručená jeho priamosť, ale nie je potrebné, aby bol napnutý ako struna.

Na napínanie špagátu sa môže použiť jednoduchý navíjací mechanizmus, ktorý by pracoval na princípe rohatky so západkou, ktorý by mohol byť upnutý na samotnej stojke a napínal by tak špagát ktorý, by vymedzoval obvod hornej alebo dolnej podstavy. Pri tomto prevedení by som potreboval dve napínacie zariadenia (Obr. 5-8(a)). Táto konfigurácia by však nepriaznivo ovplyvňovala stabilitu celej konštrukcie.

Ďalší spôsob umiestnenia rohatky je v mieste v blízkosti podstavy, kde by napínala zakaždým bočnú stenu meracej plochy. Toto prevedenie by však vyžadovalo použitie až štyroch napínacích zariadení (Obr. 5-8(b)). Nevýhodou rohatiek je, že s nimi fyzicky napíname špagát len po určitú medzu a neumožňujú „automatické“ dopínanie špagátu v prípade, že by sme stojky posunuli bližšie k sebe. Tento problém ale vieme odstrániť tak, že špagát budeme napínať len s použitím tiaže závažia, ktoré zavesíme na jeho koniec. Kvôli nenáročnosti riešenia napínania špagátu pomocou tiaže závažia, ktorý zároveň umožňuje samovoľné dopínanie špagátu, som sa rozhodol zvoliť práve tento prístup.



Obr. 5-8 Napínanie pomocou rohatiek so západkami (a) hornej a dolnej podstavy meracej plochy; (b) bočných stien meracej plochy

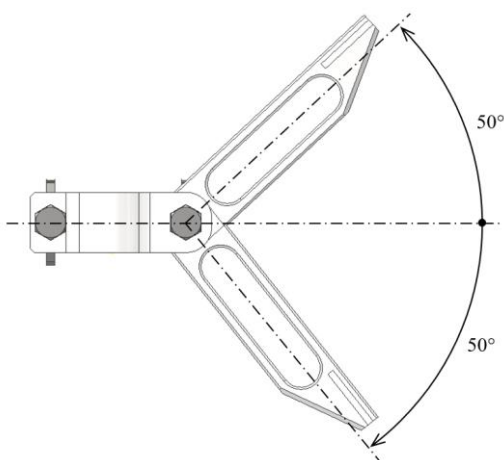
Pomocou experimentu som zistil, že na dostatočné napnutie špagátu v dĺžke 1 meter aj s tromi vymedzovacími prvkami umiestnenými v rovnomerných rozstupoch od seba, aj od krajov špagátu, potrebujem závažie s hmotnosťou 0,3kg. Táto závislosť rastie lineárne v rastúcu dĺžkou špagátu. Podrobnejší popis experimentu aj s nameranými dátami je v prílohe A tejto práce.

5.4 Držiak mikrofónu

Keďže využívame pevné stojky ako nosné elementy pre vedenie špagátu na vymedzenie bodov merania, môžeme ich zároveň využiť aj na uchytenie meracej aparatury, a tak zredukovať počet potrebných stojanov na držanie mikrofónov v rohových bodoch meracej plochy.

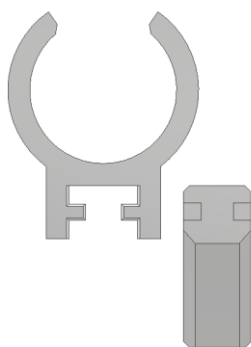
Držiaky mikrofónov budú na stojkách umiestnené pod upínacími elementmi. Na pripevnenie držiaku mikrofónu k stojke použijem rovnaký spôsob upínania, ako pri upínacích elementoch, a to pomocou zverného spoja, kde bude zapustená skrutka M4-16 so šesťhrannou hlavou, ktorú môžeme ručne utiahnuť krídlovou maticou M4.

Pre polohovanie upnutého mikrofónu som k upínacej časti držiaku pridal otočné rameno, ktoré je možné natočiť v rozmedzí $\pm 50^\circ$ od vodorovnej polohy. Natočenie ramena je vidieť na Obr. 5-9. Poistenie ramena v natočenej polohe opäť riešim použitím zapustenej skrutky M4-16 so šesťhrannou hlavou a krídlou maticou M4.



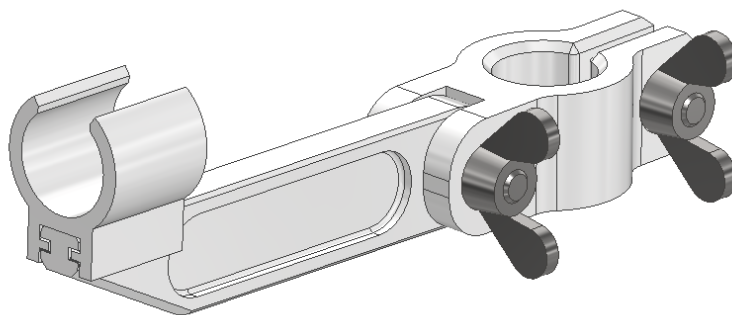
Obr. 5-9 Natočenie ramena držiaku mikrofónu

Akustické merania sa vykonávajú s najrôznejšími mikrofónmi, ktorých priemery sa pohybujú od 1/8'' do 1''. Kvôli unifikácii použitia držiaku som v ramene navrhol tvarovú drážku, do ktorej sa bude zasúvať element s vytvoreným negatívom drážky (viď. Obr. 5-10.). Tento element bude rôzny pre rôzne veľkosti mikrofónu, ale tvar aj rozmery drážky budú rovnaké.



Obr. 5-10 Tvar drážky v ramene

Nakoľko sa jedná o pomerne malé a tvarovo zložité súčiastky, a kvôli redukcii ich hmotnosti budem výrobu realizovať použitím 3D tlače. Výsledný návrh držiaku mikrofónu je na Obr. 5-11.



Obr. 5-11 Držiak mikrofónu

5.5 Voľba materiálu elementov

Elementy navrhnuté v predchádzajúcich kapitolách sú malé a tvarovo veľmi zložité. Ako ideálna možnosť na ich výrobu je použitie aditívnej technológie 3D tlače, ktorá v súčasnosti používa najrôznejšie materiály. Medzi najpoužívanejšie patria ABS, PLA a PETG, ktoré budem uvažovať na výrobu jednotlivých elementov. Pre jednoduchší výber sú vlastnosti všetkých troch materiálov zobrazené v Tab. 5-1.

Tab. 5-2 Vlastnosti vybraných materiálov pre 3D tlač (upravené a doplnené z [12] a [13])

Vlastnosť	ABS	PLA	PETG
Maximálne napätie v ťahu [MPa]	40	65	53
Odolnosť proti nárazu	Áno	Nie	Nie
Vode odolnosť	Nie	Nie	Áno
Tepelná odolnosť	Áno	Nie	Nie
Chemická odolnosť	Nie	Nie	Áno
Odolnosť proti únave	Nie	Nie	Áno
Odolnosť proti UV žiareniu	Áno	Nie	Áno
Teplota extrúderu [°C]	220 - 250	190 - 220	230 - 250
Teplota podložky [°C]	95 - 110	45 - 60	75 - 90
Kvalita detailov tlače	Priemerná	Výborná	Výborná
Cena za 1kg materiálu [€]	15 - 30	15 - 30	20 - 30

Nakoľko sa drvivá väčšina akustických meraní vykonáva v interiéri, a v prípade meranie v exteriéry sú potrebné priaznivé poveternostné podmienky, nie je potrebné, aby zvolený materiál nutne splňal odolnosti proti poveternostným vplyvom.

Na druhú stranu je dôležité, aby mal materiál dostatočné mechanické vlastnosti a nedošlo k jeho porušeniu vplyvom napínania špagátu. Nakoľko je väčšina dielov pomerne malá a detailne spracovaná, je dôležité, aby bol vybraný materiál schopný dosiahnuť požadovanú kvalitu tlače.

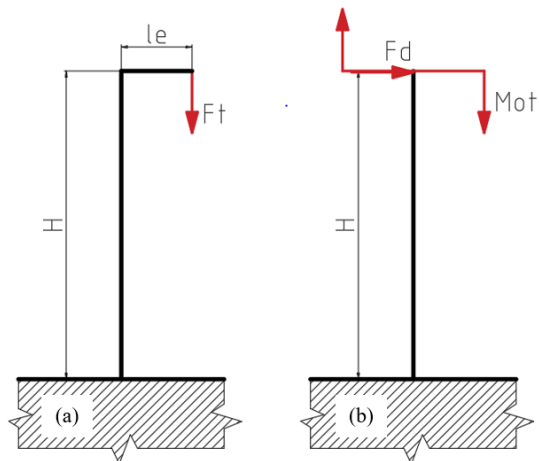
Na základe vlastností materiálov, parametrov tlače a nižšej ceny materiálu som sa rozhodol použiť materiál PLA.

5.6 Stabilita konštrukcie

Jedným z hlavných faktorov vhodnosti navrhutej konštrukcie na akustické meranie je jej stabilita. Pri meraní nesmie dôjsť k samovoľnému preklopeniu konštrukcie vplyvom nesených vymedzovacích elementov a pôsobením tiaže napínacieho telesa. Keďže od začiatku uvažujeme použitie v anechoickej komore ako modelový prípad, tak aj výpočet vykonáme na rozmeroch meracej plochy 3 x 3 x 2,5 metra.

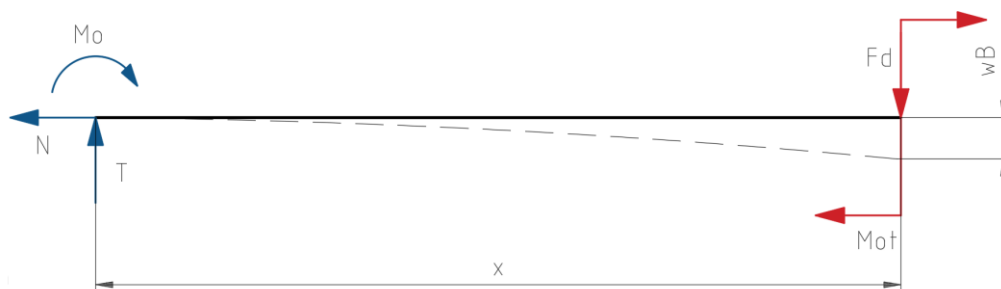
5.6.1 Posunutie vrchu stojky

Aj keď je tiaž závažia na napínanie špagátu malá ($m_z = 0,9$ kg), kvôli malému priemeru stojky a veľkej výške musíme vypočítať jej priehyb, ktorý bude mať neskôr významný vplyv na celkovú stabilitu konštrukcie. Stojka síce bude spojovaná z viacerých z viacerých prvkov, ale pre zjednodušenie výpočtu budem uvažovať, že bude homogénna. Schematické zaťaženie stojky je znázornené na Obr. 5-12 (a), kde H je výška stojky, l_e je dĺžka upínacieho elementu a F_t je sila vyvolaná tiažou napínacieho závažia, pôsobiaca na konci upínacieho elementu. Následné silové pôsobenie je zobrazené na Obr. 5-12 (b), kde M_{ot} je moment vyvolaný tiažou napínacieho závažia a F_d je doplnková sila ktorú potrebujeme k výpočtu ($F_d = 0$ N).



Obr. 5-12 Namáhanie stojky

Vykonám uvoľnenie stojky (Obr. 5-13) a vypíšem výsledné vnútorné účinky (VVÚ), ktoré v nej pôsobia.



Obr. 5-13 Uvoľnenie stojky

$$N = 0$$

$$T = -F_d$$

$$M_o = -F_d x - M_{ot}$$

Na výpočet posunutia vrchného bodu stojky w_B použijem integrálny prístup, kde posunutie dostanem ako parciálnu deriváciu energie napätosti podľa pôsobiacej sily:

$$w_B = \frac{\delta W}{\delta F} \quad (\text{m}) \quad (4)$$

kde: w_B (m) posunutie vrchu stojky,
 W (J) energia napätosti,
 F (N) sila pôsobiaca na koniec stojky.

Dosadením energie napätosti dostaneme Maxwell-Mohrovu variantu Castiglianovej vety:

$$w_B = \int_0^H \frac{M_o}{E_{Al} J_y} \frac{\delta M_o}{\delta F_d} dx \quad (\text{m}) \quad (5)$$

kde: H (m) výška stojky,
 M_o (N·m) ohybový moment vyjadrený z VVÚ ako funkcia dĺžky x ,
 E_{Al} (MPa) modul pružnosti v ťahu hliníka,
 J_y (m⁴) kvadratický moment prierezu,
 F_d (N) doplnková sila pôsobiaca na koniec stojky.

Dosadením vyjadreného ohybového momentu M_o do rovnice (5) dostávame:

$$w_B = \int_0^H \frac{-F_d x - M_{ot}}{E_{Al} J_y} \frac{\delta(-F_d x - M_{ot})}{\delta F_d} dx \quad (\text{m}) \quad (6)$$

Vyriešením parciálnej derivácie a následným integrovaním v intervale od H od 0 dostávame vzťah:

$$w_B = \frac{M_{ot} H^2}{2E_{Al} J_y} \quad (\text{m}) \quad (7)$$

kde: M_{ot} (N·m) ohybový moment vyvolaný tiažou napínacieho závažia

Kvadratický moment prierezu vypočítame :

$$J_y = \pi \frac{D^4 - d^4}{64} \quad (\text{m}^4) \quad (8)$$

kde: D (m) vonkajší priemer trubky,
 d (m) vnútorný priemer trubky.

Ohybový moment vyvolaný tiažou napínacieho závažia vypočítame vzťahom:

$$M_{ot} = m_t g l_e \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (9)$$

kde: m_t (kg) hmotnosť napínacieho závažia,
 g (m·s⁻²) tiažové zrýchlenie
 l_e (m) dĺžka upínacieho elementu.

Dosadením rovníc (8) a (9) do rovnice (7), dostaneme vzťah na výpočet posunutie vrchného bodu stojky:

$$w_B = \frac{32m_t g l_e H^2}{\pi E_{Al} (D^4 - d^4)} \quad (\text{m}) \quad (10)$$

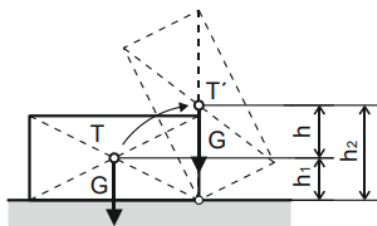
Na výpočet posunutia vrchu stojky do rovnice (10) dosadíme:

- Hmotnosť napínacieho závažia: $m_t = 0,9$ kg
- Tiažové zrýchlenie: $g = 9,81$ m·s⁻²
- Dĺžka upínacieho elementu: $l_e = 0,1$ m
- Výška stojky: $H = 2,5$ m
- Modul pružnosti v ťahu hliníka: $E_{Al} = 70$ GPa [14]
- Vonkajší priemer trubky: $D = 0,012$ m
- Vnútorňý priemer trubky: $d = 0,01$ m

Pre zvolenú konfiguráciu bude posunutie vrchu stojky $w_B = 0,075$ m. Výpočet posunutia vrchu stojky s pre iné rozmerové varianty je k dispozícii v prílohe B.

5.6.2 Klopná stabilita

Stabilita telesa závisí od polohy jeho ťažiska a od polohy klopného bodu. Aby sa teleso dostalo zo stabilnej polohy do polohy labilnej, musí vynaložiť prácu na presunutie svojho ťažiska zo stabilnej polohy do polohy kolmo nad klopným bodom (Obr. 5-14)



Obr. 5-14 Vychýlenie telesa zo stabilnej do labilnej polohy [11]

Veľkosť tejto práce vypočítame vzt'ahom:

$$A = mg(h_2 - h_1) \quad (J) \quad (11)$$

kde: m (kg) celková hmotnosť telesa,
 g (m·s⁻²) tiažové zrýchlenie,
 h_1 (m) poloha ťažiska v stabilnej polohe,
 h_2 (m) poloha ťažiska v labilnej polohe.

Polohu ťažiska stojky v stabilnej polohe počítame len k ose Z. Pre zjednodušenie môžeme stojku považovať za symetrickú a súradnice ťažiska x_t a y_t budú ležať v osi symetrie. Na určenie súradnice ťažiska v ose Z použijeme vzt'ah:

$$h_1 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (m) \quad (12)$$

kde: m_i (kg) hmotnosti jednotlivých častí stojky,
 z_i (m) polohy ťažiska jednotlivých častí stojky.

Polohu ťažiska v labilnej polohe určím pomocou Pytagorovej vety.

$$h_2 = \sqrt{\left(\frac{D_p}{2}\right)^2 + h_1^2} \quad (\text{m}) \quad (13)$$

kde: D_p (m) charakteristický rozmer podstavy,
 h_1 (m) poloha ťažiska v stabilnej polohe.

Klopny moment, ktorý bude pôsobiť tiaž napínacieho závažia a spôsobovať tak nestabilitu pri meraní vypočítame vzťahom:

$$M_{klop} = m_t g (l_e + w_B) \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad (14)$$

kde: m_t (kg) hmotnosť napínacieho závažia,
 g ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) tiažové zrýchlenie,
 l_e (m) dĺžka upínacieho elementu,
 w_B (m) posunutie vrchu stojky.

Bezpečnosť proti preklopeniu dostaneme tak, že porovnáme prácu potrebnú na preklopenie stojky s momentom ktorý vytvára pôsobiace zaťaženie:

$$k = \frac{A}{M_{klop}} \quad (1) \quad (15)$$

Vypočítaním polohy ťažiska v ose Z, h_1 a postupným dosadením rovníc (11), (12), (13) a (14) do rovnice (15) dostaneme vzťah na výpočet bezpečnosti:

$$k = \frac{m \left(\sqrt{\left(\frac{D_p}{2}\right)^2 + h_1^2} - h_1 \right)}{m_t (l_e + w_B)} \quad (1) \quad (16)$$

Na výpočet bezpečnosti proti preklopeniu dosadzujeme do rovnice (16):

- Celkovú hmotnosť stojky (uvažujem naplnenie barelu vodou): $m = 11,63$ kg
- Charakteristický rozmer podstavy: $D_p = 0,28$ m
- Polohu ťažiska v stabilnej polohe: $h_1 = 0,181$ m
- Hmotnosť napínacieho závažia: $m_t = 0,9$ kg
- Dĺžka upínacieho elementu: $l_e = 0,1$ m
- Posunutie vrchu stojky: $w_B = 0,075$ m
-

Pre zvolenú konfiguráciu bude bezpečnosť proti preklopeniu stojky $k = 3,53$. Ak bude súčiniteľ $k \geq 1$, konštrukcia sa vplyvom pôsobenia napínacieho závažia neprevráti. Výpočet bezpečnosti proti preklopeniu pre iné rozmerové varianty a celé pole použiteľnosti zvolenej konštrukcie je k dispozícii v prílohe C v Tab. C 1. Pre variantu, že sa ako plniace médium použije piesok namiesto vody, je pole použitia konštrukcie vyjadrené bezpečnosťou proti preklopeniu v prílohe C v Tab. C 2.

5.7 Cenová rozvaha

Súčasťou práce je aj vytvorenie cenového zhodnotenia projektu. Pre zvolenú variantu riešenia, kde bude stojka zhotovená do výšky 2,5 metra z dvoch elementov dĺžky 1 000 mm a jedného elementu dĺžky 500 mm, s ôsmymi upínacími a dvanástimi vymedzovacími elementami je nacenenie projektu znázornené v Tab. 5-3. Do ostatného materiálu som zahrnul sekundové lepidlo na lepenie niektorých komponentov a 40 metrov špagátu.

Tab. 5-3 Nacenenie projektu

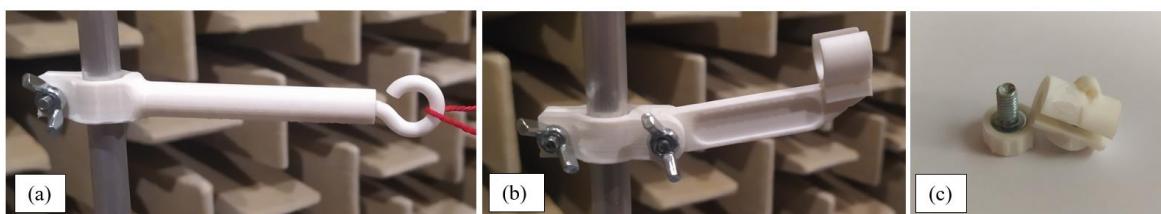
Komponent	Cena komponentov [€]	Cena komponentov [Kč]
Podstava	48,40	1 210,00
Trubky na stojky	9,45	236,25
Tlačené komponenty	5,27	131,75
Spojovací materiál	5,63	140,75
Ostatný materiál	3,45	86,25
Cena spolu	72,20	1 805,00

Podrobnejší prehľad ceny jednotlivých dielov je k dispozícii v prílohe D.

5.8 Výroba

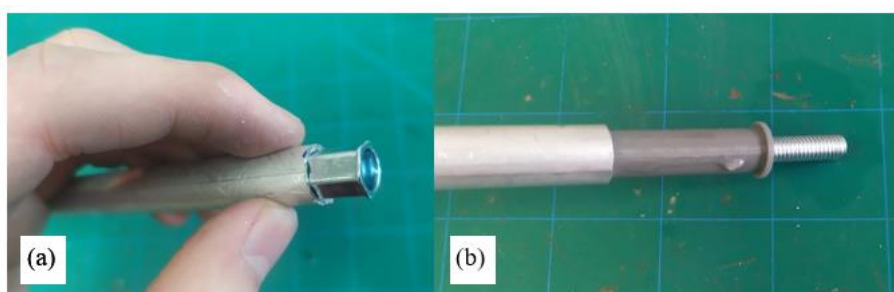
Pri navrhovaní jednotlivých dielov som od začiatku uvažoval ich výrobu s použitím 3D tlače. Na realizáciu tlače som použil vlastnú 3D tlačiareň Ender 3 a ako materiál filament PLA. Na slicovanie dielov a tvorbu G-kódov som použil Creality Slicer. Vhodnou orientáciou dielov pri tlači som sa snažil eliminovať použitie podpier a tým znížiť spotrebu materiálu pri tlači. Základné nastavenie parametrov tlačiarne pri tlači spolu so spotrebovaným materiálom a dĺžkou tlače pre jeden komponent je uvedené v prílohe D.

Tlač jednotlivých komponentov a predpríprava jednotlivých funkčných celkov bola vykonaná v domácom prostredí. To zahŕňalo montáž zostáv upínacích a vymedzovacích elementov, zostavu držiaku mikrofónu a zostavu zátky barelu. V rámci prípravy na zostavovanie tyčiek stojky som zavrtal kombinované skrutky do insertu, ktorý sa bude následne vkladať do narezaných hliníkových trubiek. Na Obr. 5-15 sú zobrazené vytlačené a zmontované jednotlivé zostavy.



Obr. 5-15 Poskladané zostavy (a) upínací element; (b) držiak mikrofónu; (c) vymedzovací element

Ďalšia časť výroby dielov sa odohrávala v študentskej dielni v priestoroch VUT. V dielni som za pomoci strojovej píly narezal hliníkové trubky na požadované rozmery a ohranil ostré hrany po delení. Do takto pripravených trubiek som následne z jednej strany zalisoval nitovaciú maticu M6 (viď Obr. 5-16 (a)) a z druhej strany som vložil pripravený insert. Na poistenie insertu v trubke som použil sekundové lepidlo (viď. Obr. 5-16 (b)) a následne stlačil koniec trubky kombinačnými kliešťami.



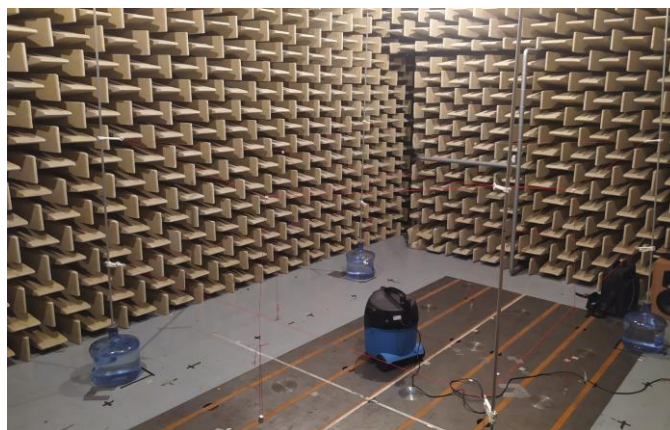
Obr. 5-16 Montáž tyče stojky (a) lisovanie matice; (b) vkladanie insertu so skrutkou

Modely jednotlivých dielov a zostáv sú spoločne s výrobnými a zostavnými výkresmi v prílohovej časti tejto práce.

5.9 Montáž konštrukcie a meranie

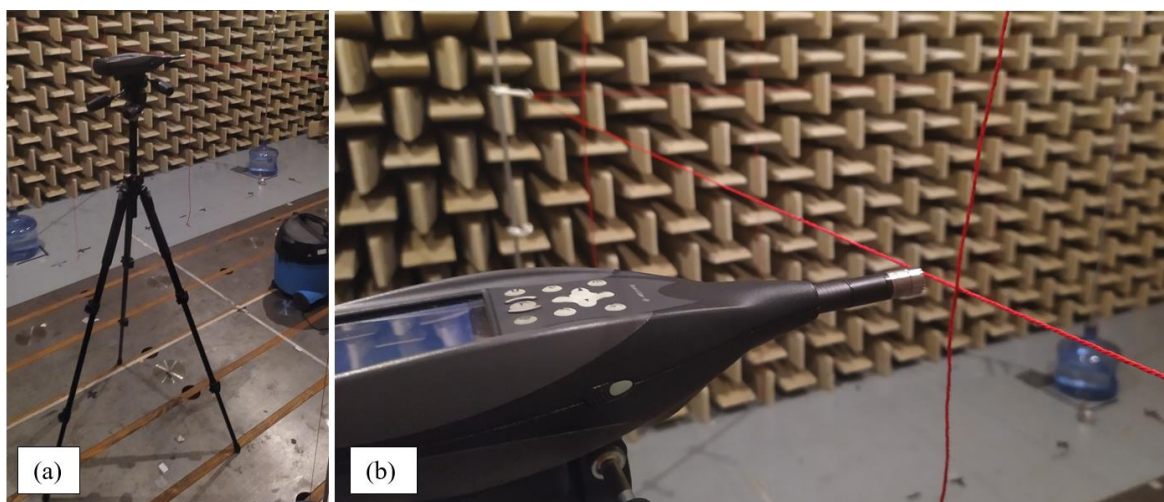
Montáž konštrukcie začína hrubým rozmiestnením zazátkovaných barelov naplnených vodou. Nasleduje zaskrutkovanie prvých tyčiek stojky, na ktoré sa následne nasunie držiak mikrofónu a upínací element. Na ďalšie tyče stojky sa nasunú upínacie elementy a naskrutkujú sa ako nadstavba prvých tyčiek. Upínacie elementy sa na všetkých stojkách výškovo nastavujú na približne požadovanú výšku. Tá závisí od rozmerov meraného zdroja hluku.

V ďalšej fáze je potrebné natiahnuť špagát v hornej vetve a patrične ho našponovať tiažou závažia. Nasleduje rozmiestnenie vymedzovacích elementov po obvode hornej vetvy a natiahnutie špagátu medzi nimi v horizontálnom smere. Ako posledný sa natiahne špagát v spodnej vetve. Takto zostavenú konštrukciu je ďalej potrebné správne nastaviť v závislosti od veľkosti meraného zdroja hluku [15]. Obrázok postavenej konštrukcie je zobrazený na Obr. 5-17.



Obr. 5-17 Meracia konštrukcia

Po nastavení rozmerov môžeme pristúpiť k samotnému meraniu. Pre účely tejto práce som vykonal meranie vysávača NAREX VIS 20-01, ktorý bol umiestnený v strede meracej konštrukcie. Na meranie som použil zvukomer Brüel&Kjær Type 2270. Meranie prebiehalo v horných rohoch a v stredoch plôch meracej plochy. Stredy plôch sú určené priesečníkom horizontálne a vertikálne natiahnutého špagátu. Aby špagát neovplyvnil výsledky merania, meracie zariadenie sa neprikladá priamo do priesečníku, ale približne centimeter od neho. Pri meraní je meracie zariadenie uchytené v statíve aby sa eliminovala chyba merania. Umiestnenie meracieho zariadenia je vidieť na Obr. 5-18. Výsledky merania sú uvedené v meracom protokole v prílohe E.



Obr. 5-18 Umiestnenie meracieho zariadenia (a) poloha statívu v rámci konštrukcie; (b) poloha maracieho zariadenia vzhľadom k priesečníku špagátov

6 DISKUSIA

Úlohou tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť modulárne prvky pomocou ktorých bude možné rýchlo a efektívne fyzicky vymedziť body akustického merania do výšky 2 500 mm. Ďalšími dôležitými parametrami konštrukcie z modulárnych prvkov je, aby bola ľahká, dobre prenosná a skladná a dala sa jednoducho zostaviť a obsluhovať aj jediným pracovníkom.

Konštrukcia bola primárne dimenzovaná na použitie v anechoickej komore na VUT s maximálnou možnou meracou plochou 3 x 3 x 2,5 metra, ale taktiež je možné ju použiť aj pri meraniach mimo priestorov tejto komory a to pre meraciu plochu s rozmermi napríklad 5 x 5 x 3 metre. Celá oblasť použitia konštrukcie je vyjadrená súčiniteľom bezpečnosti proti preklopeniu v prílohe C.

Použitie barelu na vodu ako podstavu stojky má hneď niekoľko výhod. Okrem vody sa môže barel naplniť napríklad pieskom, čo ešte zvýši stabilitu stojky. Ucho na bareli uľahčuje uchopenie a manipuláciu s podstavou. Možnosť vyskladať stojku z kratších elementov značne zjednodušuje prepravu a skladovanie konštrukcie. Upínacie elementy zhotovené na 3D tlačiarňi sú navrhnuté tak, aby sa dali voľne posúvať na stojke. Zaaretovanie upínacieho elementu v požadovanej polohe je realizované zverným spojom a dotýha sa krídlovou maticou. Vymedzovacie elementy zabezpečujú vedenie špagátu vo vertikálnom smere a ich nastavenie v požadovanej pozícii sa zabezpečuje skrutkou. Nízka hmotnosť vymedzovacích elementov výrazne znižuje hmotnosť napínacieho závažia. Celá konštrukcia je navrhovaná tak, aby celkový rozpočet na jej realizáciu neprekročil 5 000 Kč.

Najväčšou výhodou navrhovanej konštrukcie je, možnosť jej univerzálneho použitia na vymedzenie bodov akustického merania ako aj pri meraniach v anechoickej komore, tak aj pri meraní vo vonkajšom prostredí alebo vo výrobnom závode, kde budeme skúmať akustické vlastnosti zabudovaného zariadenia. Použitím 4 stojok dokážeme vytvoriť meraciu plochu v tvare rovnobežnostenu. V prípade potreby môžeme zvýšiť počet stojok, napríklad na 8 a pomocou tejto konfigurácie dokážeme vytvoriť pologuľovú meraciu plochu.

Pri porovnaní časovej náročnosti merania, najkratší čas merania dosiahneme pri pevnej pologuľovej konštrukcii, nakoľko všetky body odmeriame pri jedinom meraní. Jej použitie je však limitované na použitie v anechoických komorách. Pri meraní akustického výkonu pomocou akustického tlaku, na meranie môžeme použiť viacero mikrofónov upnutých v statívoch alebo v stojanoch. Pri použití rovnakého počtu mikrofónov ako je počet bodov merania je časový fond na vymeranie pozícii a umiestnenie všetkých mikrofónov približne rovnaký, ako čas potrebný na zostavenie konštrukcie, presné vymedzenie všetkých bodov akustického merania a následné umiestnenie mikrofónov do týchto bodov.

V prípade, že máme menší počet mikrofónov, ako je počet meraných bodov, alebo na meranie akustického výkonu použijeme sondu intenzity zvuku, je časovo oveľa výhodnejšie použiť konštrukciu na vymedzenie bodov. V opačnom prípade by sme museli po každom meraní premiestniť stojan s meracou aparaturou na nové miesto a odmerať pozíciu vzhľadom k zdroju hluku. Konštrukcia je výhodná v prípadoch, ak by sa meranie vykonávalo s menším počtom meracích zariadení a pri rôznych intenzitách zdroja hluku.

7 ZÁVER

Cieľom práce je navrhnuť modulárne prvky na vymedzenie bodov akustického merania v priestore. Na základe rešerše som zistil, že sa používajú dva rôzne spôsoby. Prvým je použitie pevnej konštrukcie, ktorá je určená na použitie v anechoických komorách, druhým je vymedzenie bodov pomocou nezávislých nastaviteľných členov, napríklad statívov či stojanov na mikrofóny, kde sa poloha jednotlivých bodov vymeriava separátne pre každý stojan zvlášť. Konceptné riešenia práce vychádzajú z požívaných metód v technickej praxi, ale aj zo spôsobov vymedzovania bodov používaných na VUT. Vzájomným porovnaním konceptných návrhov som sa rozhodol vypracovať konštrukčné riešenie pre variantu so štyrmi pevnými stojkami, kde sa body merania budú vymedzovať v priesečníku vertikálne a horizontálne vedeného špagátu.

Použitie barelu na vodu s uchom a možnosť vyskladať stojku z viacerých častí zvyšuje komfort prepravy a skladovania. Pomerne malá zástavbová plocha podstavy umožňuje použitie konštrukcie ako v prostredí anechoickej komory, tak aj vo vonkajšom prostredí či priamo vo výrobnej prevádzke. Možnosť naplniť barel iným médiom ako je voda, napríklad pieskom, zvýši stabilitu konštrukcie vysoko nad rámec zadania tejto práce.

Použitie upínacích a vymedzovacích prvkov na fyzické vymedzenie bodov akustického merania v priestore a nastavovanie ich polohy aretačnými skrutkami a maticami je pomerne rýchla a efektívna metóda, ktorú je schopný vykonať aj jediný obsluhujúci pracovník.

Táto konštrukcia sa môže použiť na zníženie časovej náročnosti vymedzovania bodov akustického merania v prípade, ak máme menší počet mikrofónov ako je požadovaný počet bodov merania, alebo v prípadoch, keď meriame akustické výkony zdroja pre rôzne akustické intenzity. Pre zvýšenie efektivity merania je možné meraciu aparatúru upnúť aj do navrhnutých držiakov ktoré sa dajú upnúť priamo na stojky konštrukcie.

Nakoľko sa akustické merania na VUT vykonávajú len príležitostne, bol cenový limit na realizáciu konštrukcie 5 000 Kč čo bol pri návrhu niektorých konštrukčných častí jeden z kľúčových parametrov. Po vyčíslení všetkých nákladov je cena konštrukcie približne 1 800 Kč.

8 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] MIŠUN, Vojtěch. *Vibrace a hluk*. Vyd. 2. / v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 177strán. ISBN 80-214-3060-5.
- [2] LONG, Marshall. *Fundamentals of Acoustics*. Architectural Acoustics. 2014, č. January 1951, s. 39–79.
- [3] ŠKVOR, Zdeněk. *Akustika a elektroakustika*. Praha: Academia, 2001 527 s. ISBN 80-200-0464-0.
- [4] BROTHÁNEK, M., O. JIŘÍČEK a V. JANDÁK. *Měření akustického výkonu pomocí akustické intenzity: Sborník – Otevřená věda*, Nové hrady, 2005.
- [5] Did You Know Video: IAC Anechoic Chambers. In: *Youtube*. [online].29.3.2019 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=RhzlutGr6rY&ab_channel=IACAoustics. Kanál uživatele IAC Acoustics.
- [6] IACACOUSTIC. Anechoic chambers. *iac-acoustics-thailand.com* [online]. ©2022 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://www.iac-acoustics-thailand.com/anechoic-chambers/>.
- [7] ČSN EN ISO 3744 *Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Technická metoda pro přibližně volné pole nad odrazivou rovinou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.76 s. Třídící znak: 01 1604.
- [8] DEWESOFT. Sound power measurement solution. *dewesoft.com* [online]. © 2000-2022 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://dewesoft.com/applications/acoustics/sound-power>.
- [9] DEWESOFT. Sound power measurement. *dewesoft.com* [online]. © 2000-2022 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://training.dewesoft.com/storage/pro/courses/sound-power-measurement.pdf>.
- [10] MIHÁLIK, B., A. POLÁK, J. KŘEMEN a D. LOPUŠEK. *Realizace měření akustického výkonu dle normy ČSN EN ISO 3744 s využitím obdélníkové konstrukce mikrofónového pole*. Brno, 2013. Semestrální projekt. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Garant práce Petr Gajdoš a Milan Klapka.
- [11] ŠEBEK, Radek. *Mechanika – statika*. [online]. 2012 [cit. 2022-04-10] Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old_web/_files/projekty/enazp/17/IUT/177_Mechanika_statika_IUT_P1.pdf.

- [12] SIMPLIFY3D. Filament properties table. *Simplify3d.com* [online] ©2022 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/?filas=abs,pla,petg>.
- [13] 3DPRINTERLY. Is PLA UV Resistant? Including ABS, PETG & More. *3dprinterly.com* [online] ©2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://3dprinterly.com/is-pla-uv-resistant-including-abs-petg-more/>
- [14] PRVKY. Tvrđost kovu. *Prvky.com* [online]. ©2009-2017 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/tvrđost-kovu.html>.
- [15] Skaldanie koňstrukcie na vymedzenie bodov akustického merania. In: *Youtube*. [online]. 17.05.2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=lyBtPlfEQZo&ab_channel=AdamFabry. Kanál použivatela Adam Fábry.
- [16] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [17] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Základy konstruování*. 7. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKALDATELSTVÍ CERM, 2019. ISBN 978-80-7623-009-5.
- [18] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. 6. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKALDATELSTVÍ CERM, 2019. ISBN 978-80-7623-010-1.

9 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN

9.1 Použité skratky

<i>ABS</i>	Akrylonitril butadien styrén
<i>PETG</i>	Polyetylén tereftalát glykol
<i>PLA</i>	Polylactic acid – kyseliny polymliečna
<i>VUT</i>	Vysoké učení technické v Brně
<i>VVÚ</i>	Výsledné vnútorné účinky

9.2 Použité symboly

<i>A</i>	práca potrebná na preklopenie stojky
<i>d</i>	vnútorný priemer trubky stojky
<i>D</i>	vonkajší priemer trubky stojky
<i>D_p</i>	charakteristický rozmer podstavy
<i>E_{Al}</i>	modul pružnosti v ťahu hliníka
<i>F_d</i>	doplnková sila
<i>F_t</i>	sila vyvolaný tiažou napínacieho závažia
<i>g</i>	tiažové zrýchlenie
<i>h₁</i>	poloha ťažiska stojky v stabilnej polohe
<i>h₂</i>	poloha ťažiska stojky v labilnej polohe
<i>H</i>	výška stojky
<i>I</i>	akustická intenzita
<i>J_y</i>	kvadratický moment prierezu
<i>k</i>	bezpečnosť proti preklopeniu
<i>le</i>	dĺžka upínacieho elementu
<i>L_w</i>	hladina akustického výkonu
<i>m</i>	celková hmotnosť stojky

m_i	hmotnosti jednotlivých elementov na stojke
m_t	hmotnosť napínacieho závažia
M_{klop}	moment vyvolaný tiažou napínacieho závažia so zahrnutým posunutím vrchu stojky
M_o	ohybová moment z VVÚ
M_{ot}	moment vyvolaný tiažou napínacieho závažia
\vec{n}	jednotkový vektor
N	normálová sila z VVÚ
π	Ludolfovo číslo
p	akustický tlak
P	akustický výkon
P_{ref}	referenčný akustický výkon
S	plocha
T	posúvajúca sila z VVÚ
v	rýchlosť postupujúcej vlny
w_B	posunutie vrchu stojky
W	energia napätosti
z_i	polohy ťažisiek jednotlivých elementov na stojke

10 ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV

Obr. 2-1 Rozdelenie meracej plochy (a) meranie v bodoch, (b) meranie metódou skenovania [4]	15
Obr. 2-2 Anechoická komora [6].....	16
Obr. 2-3 Pologuľová meracia plocha, rovina x-z (upravené z [7]).....	17
Obr. 2-4 Pologuľová meracia plocha, rovina x-y (upravené z [7]).....	18
Obr. 2-5 Kvádrová meracia plocha (upravené z [7]).....	19
Obr. 2-6 Kvádrová meracia plocha (upravené z [7]).....	19
Obr. 2-7 Vymedzenie pologuľovej meracej plochy [8]	20
Obr. 2-8 Pevná pologuľová meracia plocha [9].....	21
Obr. 2-9 Pevná kvádrová meracia plocha [10]	22
Obr. 2-10 Spojovacie a upínacie elementy na pevnej kvádrovej meracej ploche [10]	23
Obr. 2-11 Pevná kvádrová konštrukcia pri meraní na VUT [10]	24
Obr. 4-1 Variant pevnej konštrukcie	27
Obr. 4-2 Voľné umiestnenie mikrofónov	28
Obr. 4-3 Variant konštrukcie na vymedzenie bodov akustického merania.....	29
Obr. 5-1 Spôsoby nadpájania trubiiek; (a) pomocou čapu; (b) pomocou spojky s deleným nábojom;	32
Obr. 5-2 Trojnohá podstava.....	33
Obr. 5-3 Podstava z barelu na vodu	33
Obr. 5-4 Plochá podstava	34
Obr. 5-5 Upínací element	36
Obr. 5-6 Aretovanie vymedzovacieho elementu v reze	36
Obr. 5-7 Vymedzovací element	37
Obr. 5-8 Napínanie pomocou rohoviek so západkami (a) hornej a dolnej podstavy meracej plochy; (b) bočných stien meracej plochy	38
Obr. 5-9 Natočenie ramena držiaku mikrofónu	39
Obr. 5-10 Tvar drážky v ramene	39
Obr. 5-11 Držiak mikrofónu	40
Obr. 5-12 Namáhanie stojky	42

Obr. 5-13 Uvoľnenie stojky	42
Obr. 5-14 Vychýlenie telesa zo stabilnej do labilnej polohy [11]	44
Obr. 5-15 Poskladané zostavy (a) upínací element; (b) držiak mikrofónu; (c) vymedzovací element	47
Obr. 5-16 Montáž tyče stojky (a) lisovanie matice; (b) vkladanie insertu so skrutkou	47
Obr. 5-17 Meracia konštrukcia	48
Obr. 5-18 Umiestnenie meracieho zariadenia (a) poloha statívu v rámci konštrukcie; (b) poloha meracieho zariadenia vzhľadom k priesečníku špagátov	48

11 ZOZNAM TABULIEK

Tab. 4-1 Porovnanie vlastností koncepčných riešení	30
Tab. 5-1 Porovnanie vlastností rôznych podstáv	34
Tab. 5-2 Vlastnosti vybraných materiálov pre 3D tlač (upravené a doplnené z [12] a [13])	40
Tab. 5-3 Nacenenie projektu.....	46

12 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha A – Meranie napínacej sily

Príloha B – Výpočty posunutie vrchu stojky pre rôzne variácie

Príloha C – Výpočty bezpečnosti proti preklopeniu pre rôzne varianty

Príloha D – Podrobná cenová rozvaha

Príloha E – Merací protokol

Príloha A

Experiment na zistenie hmotnosti napínacieho závažia

Použité pomôcky:

3 vymedzovacie elementy, špagát, kladka, vrečko na ukladanie záťaže, kamienky, kuchynská váha, meter.

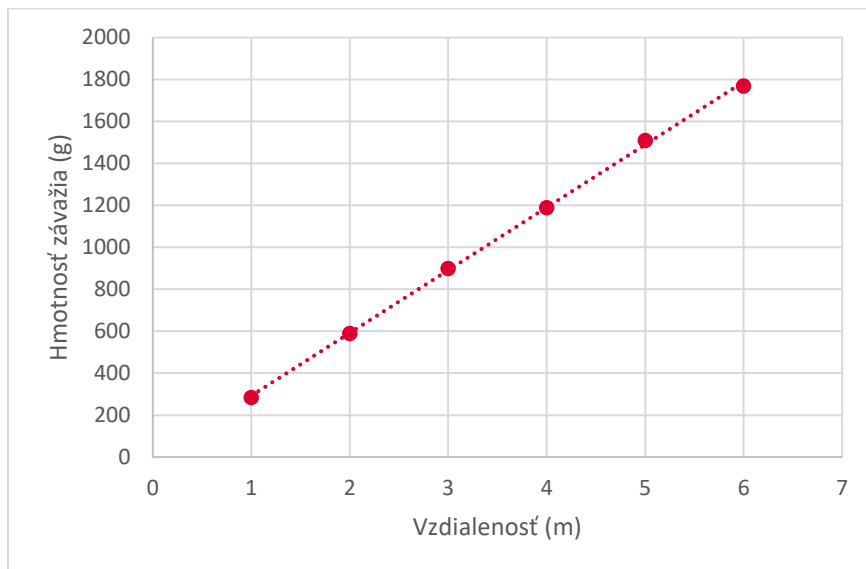
Popis experimentu:

Pri experimente bol jeden koniec špagátu pripevnený k pevnému bodu, druhý koniec bol prevlečený cez kladku. Vrečko na ukladanie záťaže bolo pripevnené na voľný koniec špagátu. Pomocou metra som odmeral vzdialenosť 1m medzi pevným bodom a kladkou. Na túto vzdialenosť som v rovnomerných rozostupoch rozmiestnil vymedzovacie elementy. Ich správnu polohu som opäť overil metrom. Do vrečka na voľnom konci špagátu som postupne pridával záťaž v podobe malých kamienkov, až pokiaľ nebol špagát patrične natiahnutý. Cieľom experimentu nebolo špagát napnúť ako strunu, ale zistiť, aká tiaž závažia poskytne dostatočnú silu na napnutie špagátu tak, aby nedochádzalo k jeho priehybu.

Po pridaní dostatočnej záťaže na napnutie špagátu som celé vrečko aj s obsahom umiestnil na kuchynskú váhu a odmeral jeho hmotnosť. Po odvážení som zväčšil vzdialenosť medzi pevným bodom a kladkou o jeden meter a celý experiment opakovane až po vzdialenosť bodov 6 metrov. Výsledky z experimentu sú znázornené v Tab. A 1. Grafická závislosť hmotnosti závažia na dĺžke špagátu je zobrazená v Grafe A 1.

Tab. A 1 Namerané hmotnosti závažia

Vzdialenosť	Hmotnosť	Sila v lane
[m]	závažia [g]	[N]
1	285	2,80
2	590	5,79
3	900	8,83
4	1 190	11,67
5	1 510	14,81
6	1 770	17,36



Graf A 1 Závislosť hmotnosti na dĺžke napínaného špagátu

Záver:

Cieľom experimentu bolo zistiť hmotnosť napínacieho závažia potrebnú na napnutie špagátu s tromi vymedzovacími elementami. Na dĺžkach v rozmedzí od 1 do 6 metrov je závislosť hmotnosti napínacieho závažia lineárna a na dostatočné napnutie jedného metra špagátu potrebujeme približne 300 gramové závažie.

Príloha B

V nasledujúcej tabuľke, (Tab. B 1) sú uvedené výsledné posunutia vrchu stojky v metroch pre rôzne výšky stojky a pre rôzne uvažované dĺžky merania. Postup výpočtu je totožný s výpočtom ktorý uvádzam v kapitole 5.6.1 v tejto práci.

Tab. B 1 Posunutie vrchu stojky pre výšky stojky a meranú vzdialenosť do 8 metrov

výška stojky (m)/ meraná dĺžka (m)	Posunutie vrchu stojky (m)															
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
0,5	0,0005	0,0020	0,0045	0,0080	0,0125	0,0179	0,0244	0,0319	0,0404	0,0499	0,0603	0,0718	0,0843	0,0977	0,1122	0,1276
1,0	0,0010	0,0040	0,0090	0,0160	0,0249	0,0359	0,0489	0,0638	0,0808	0,0997	0,1207	0,1436	0,1685	0,1955	0,2244	0,2553
1,5	0,0015	0,0060	0,0135	0,0239	0,0374	0,0538	0,0733	0,0957	0,1212	0,1496	0,1810	0,2154	0,2528	0,2932	0,3366	0,3829
2,0	0,0020	0,0080	0,0179	0,0319	0,0499	0,0718	0,0977	0,1276	0,1615	0,1994	0,2413	0,2872	0,3371	0,3909	0,4487	0,5106
2,5	0,0025	0,0100	0,0224	0,0399	0,0623	0,0897	0,1222	0,1596	0,2019	0,2493	0,3017	0,3590	0,4213	0,4886	0,5609	0,6382
3,0	0,0030	0,0120	0,0269	0,0479	0,0748	0,1077	0,1466	0,1915	0,2423	0,2992	0,3620	0,4308	0,5056	0,5864	0,6731	0,7659
3,5	0,0035	0,0140	0,0314	0,0558	0,0873	0,1256	0,1710	0,2234	0,2827	0,3490	0,4223	0,5026	0,5899	0,6841	0,7853	0,8935
4,0	0,0040	0,0160	0,0359	0,0638	0,0997	0,1436	0,1955	0,2553	0,3231	0,3989	0,4827	0,5744	0,6741	0,7818	0,8975	1,0212
4,5	0,0045	0,0179	0,0404	0,0718	0,1122	0,1615	0,2199	0,2872	0,3635	0,4487	0,5430	0,6462	0,7584	0,8795	1,0097	1,1488
5,0	0,0050	0,0199	0,0449	0,0798	0,1247	0,1795	0,2443	0,3191	0,4039	0,4986	0,6033	0,7180	0,8426	0,9773	1,1219	1,2764
5,5	0,0055	0,0219	0,0494	0,0878	0,1371	0,1974	0,2688	0,3510	0,4443	0,5485	0,6636	0,7898	0,9269	1,0750	1,2341	1,4041
6,0	0,0060	0,0239	0,0538	0,0957	0,1496	0,2154	0,2932	0,3829	0,4846	0,5983	0,7240	0,8616	1,0112	1,1727	1,3462	1,5317
6,5	0,0065	0,0259	0,0583	0,1037	0,1620	0,2333	0,3176	0,4148	0,5250	0,6482	0,7843	0,9334	1,0954	1,2705	1,4584	1,6594
7,0	0,0070	0,0279	0,0628	0,1117	0,1745	0,2513	0,3420	0,4468	0,5654	0,6981	0,8446	1,0052	1,1797	1,3682	1,5706	1,7870
7,5	0,0075	0,0299	0,0673	0,1197	0,1870	0,2692	0,3665	0,4787	0,6058	0,7479	0,9050	1,0770	1,2640	1,4659	1,6828	1,9147
8,0	0,0080	0,0319	0,0718	0,1276	0,1994	0,2872	0,3909	0,5106	0,6462	0,7978	0,9653	1,1488	1,3482	1,5636	1,7950	2,0423

Príloha C

V nasledujúcej tabuľke, (Tab. C 1) sú uvedené bezpečnosti proti preklopeniu stojky pre rôzne výšky stojky a pre rôzne uvažované dĺžky merania. Postup výpočtu je totožný s výpočtom ktorý uvádzam v kapitole 5.6.2 v tejto práci. V tejto variante výpočtu uvažujem, že barel bude do plna naplnený vodou.

Tab. C 1 Bezpečnosť varianty s vodou

		Bezpečnosť použitia varianty																
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	
výška (m)/	meraná vzdialenosť (m)																	
0,5		55,18	53,06	49,97	46,18	41,96	37,56	33,21	29,08	25,27	21,84	18,81	16,16	13,88	11,93	10,26	8,84	
1,0		27,45	26,02	23,96	21,50	18,88	16,30	13,88	11,71	9,81	8,19	6,83	5,70	4,76	3,99	3,36	2,83	
1,5		18,21	17,02	15,34	13,41	11,45	9,60	7,95	6,53	5,35	4,37	3,58	2,93	2,42	2,00	1,66	1,39	
2,0		13,59	12,53	11,07	9,45	7,87	6,45	5,23	4,21	3,39	2,73	2,21	1,79	1,46	1,20	0,99	0,82	
2,5		10,82	9,84	8,53	7,13	5,81	4,67	3,72	2,96	2,35	1,87	1,50	1,21	0,98	0,80	0,66	0,55	
3,0		8,97	8,06	6,86	5,62	4,50	3,55	2,79	2,19	1,73	1,37	1,09	0,87	0,70	0,57	0,47	0,39	
3,5		7,65	6,78	5,68	4,57	3,60	2,80	2,18	1,69	1,32	1,04	0,82	0,66	0,53	0,43	0,35	0,29	
4,0		6,67	5,83	4,80	3,80	2,95	2,27	1,75	1,35	1,05	0,82	0,65	0,51	0,41	0,33	0,27	0,22	
4,5		5,90	5,10	4,13	3,22	2,47	1,88	1,44	1,10	0,85	0,66	0,52	0,41	0,33	0,27	0,22	0,18	
5,0		5,28	4,51	3,60	2,77	2,10	1,59	1,20	0,92	0,70	0,55	0,43	0,34	0,27	0,22	0,18	0,15	
5,5		4,78	4,03	3,18	2,41	1,81	1,35	1,02	0,77	0,59	0,46	0,36	0,28	0,23	0,18	0,15	0,12	
6,0		4,36	3,64	2,83	2,12	1,58	1,17	0,88	0,66	0,51	0,39	0,30	0,24	0,19	0,15	0,13	0,10	
6,5		4,01	3,31	2,54	1,88	1,39	1,02	0,76	0,57	0,44	0,34	0,26	0,21	0,16	0,13	0,11	0,09	
7,0		3,70	3,02	2,29	1,68	1,23	0,90	0,67	0,50	0,38	0,29	0,23	0,18	0,14	0,11	0,09	0,08	
7,5		3,44	2,78	2,08	1,51	1,10	0,80	0,59	0,44	0,34	0,26	0,20	0,16	0,13	0,10	0,08	0,07	
8,0		3,21	2,56	1,90	1,37	0,98	0,72	0,53	0,39	0,30	0,23	0,18	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	

V nasledujúcej tabuľke, (Tab. C 2) sú uvedené bezpečnosti proti preklopeniu stojky pre rôzne výšky stojky a pre rôzne uvažované dĺžky merania. Postup výpočtu je totožný s výpočtom ktorý uvádzam v kapitole 5.6.2 v tejto práci. V tejto variante výpočtu uvažujem, že barel bude do plna naplnený pieskom.

		Bezpečnosť použitia varianty															
meraná vzdialenosť (m)	výška (m)/ 0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	
		0,5	95,73	92,98	88,86	83,63	77,61	71,13	64,48	57,90	51,59	45,69	40,26	35,35	30,96	27,08	23,67
1,0	47,63	45,60	42,60	38,94	34,93	30,87	26,95	23,31	20,03	17,14	14,63	12,46	10,62	9,06	7,74	6,63	
1,5	31,60	29,83	27,28	24,29	21,18	18,18	15,43	13,01	10,92	9,14	7,66	6,42	5,39	4,54	3,83	3,25	
2,0	23,58	21,96	19,68	17,11	14,56	12,21	10,14	8,39	6,92	5,72	4,73	3,92	3,26	2,73	2,29	1,93	
2,5	18,77	17,25	15,17	12,91	10,75	8,84	7,22	5,89	4,80	3,92	3,21	2,65	2,19	1,82	1,52	1,28	
3,0	15,57	14,12	12,19	10,18	8,32	6,73	5,42	4,37	3,53	2,86	2,33	1,91	1,57	1,30	1,08	0,91	
3,5	13,28	11,89	10,09	8,28	6,66	5,31	4,23	3,37	2,70	2,18	1,77	1,44	1,18	0,98	0,81	0,68	
4,0	11,57	10,22	8,54	6,89	5,46	4,31	3,39	2,69	2,14	1,72	1,38	1,13	0,92	0,76	0,63	0,53	
4,5	10,23	8,93	7,35	5,84	4,57	3,56	2,79	2,19	1,74	1,39	1,12	0,90	0,74	0,61	0,50	0,42	
5,0	9,16	7,91	6,41	5,02	3,89	3,00	2,33	1,82	1,44	1,14	0,92	0,74	0,61	0,50	0,41	0,34	
5,5	8,29	7,07	5,65	4,37	3,35	2,56	1,98	1,54	1,21	0,96	0,77	0,62	0,51	0,41	0,34	0,28	
6,0	7,56	6,38	5,03	3,84	2,91	2,22	1,70	1,32	1,03	0,82	0,65	0,53	0,43	0,35	0,29	0,24	
6,5	6,95	5,79	4,51	3,41	2,56	1,94	1,48	1,14	0,89	0,70	0,56	0,45	0,37	0,30	0,25	0,21	
7,0	6,42	5,30	4,07	3,05	2,27	1,71	1,30	1,00	0,78	0,61	0,49	0,39	0,32	0,26	0,21	0,18	
7,5	5,97	4,87	3,70	2,74	2,03	1,51	1,15	0,88	0,68	0,54	0,43	0,34	0,28	0,23	0,19	0,16	
8,0	5,57	4,49	3,38	2,48	1,82	1,35	1,02	0,78	0,61	0,48	0,38	0,30	0,25	0,20	0,17	0,14	

Tab. C 2 Bezpečnosť varianty s pieskom

Príloha D

Cena 1 kg materiálu PLA : 20 €
 Cena 1 g materiálu PLA: 0,02 €
 Cena 1 m materiálu PLA: 0,06 €*
 Cena za 1 hodinu tlače 0,024 €**
 *predpokladám 330 metrov na 1 kg materiálu
 **Cena za kWh je 4,70Kč, príkon tlačiarne je 120W, prepočítané na eurá.

Tlačené komponenty a základné nastavenie tlačiarne

Tlačený komponent	Hmotnosť (kg)	Dĺžka spotrebovanej struny (m)	Infili (%)	Výška vrstvy (mm)	Čas tlače (h)	Support
Fixing element	0,007	2,29	20	0,2	0,67	None
Háčik	0,001	0,30	20	0,1	0,17	None
T part	0,001	0,30	20	0,1	0,22	None
T part bottom	0,001	0,12	20	0,1	0,07	None
Mic Fixing Element	0,002	1,30	20	0,2	0,65	None
Mic Arm Element	0,003	1,08	20	0,2	0,50	None
Mic Holder 1/2"	0,004	0,54	20	0,1	0,52	None
Insert	0,002	0,78	20	0,2	0,25	None
Podstava insert	0,025	8,33	20	0,2	2,55	None
Podstava plug in	0,001	0,47	20	0,2	0,18	None

Hliníkové trubky 12x1

Cena za 1m dĺžky (€) 0,95
 Cena za 1m dĺžky (Kč) 23,63


Cena trúbek na stojky


Dĺžka (m)	Počet kusov (l)	Cena za kus (€)	Cena za kus (Kč)	Celková celková cena (€)	Celková celková cena (Kč)
0,5	4	0,47	11,82	1,89	47,26
1	8	0,95	23,63	7,56	189,04
2	0	1,89	47,26	0,00	0,00
Cena jednotlivých zostáv				9,45	236,3


Číslo zostavy	Počet kusov (l)	Celková cena (€)	Celková cena (Kč)
1	8	2,22	55,39
2	10	1,02	25,56
3	4	1,55	39,70
4	12	1,96	48,98
5	4	4,16	103,89
		10,90	272,53


Cena ostatného materiálu

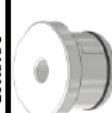
Ostatný materiál	Počet kusov (l)	Cena za kus (€)	Cena za kus (Kč)	Celková celková cena (€)	Celková celková cena (Kč)
Sekudové lepidlo	2	0,70	17,50	1,40	35
Spagát d=2,5mm; L=40m	1	2,05	51,25	2,05	51,25
Barrel na vodu 1l	4	12,1	302,5	48,4	1210
				51,85	1296,25

Zostava 1	Komponent	Hmotnosť (kg)	Počet kusov	Cena 1ks (€)	Cena 1ks (Kč)
	6HR skrutka M4x12	0,002	1	0,05	1,25
	Krídlová matica M4	0,003	1	0,05	1,25
	Háčik	0,001	1	0,02	0,55
Fixing element		0,007	1	0,15	3,87
		0,013		0,28	6,92

Zostava 2	Komponent	Hmotnosť (kg)	Počet kusov	Cena 1ks (€)	Cena 1ks (Kč)
	Imbus skrutka M4x8	0,002	1	0,05	1,25
	Matica M4	0,001	1	0,02	0,50
	T part	0,001	1	0,02	0,58
T part bottom		0,001	1	0,01	0,22
		0,005		0,10	2,56

Zostava 3	Komponent	Hmotnosť (kg)	Počet kusov	Cena 1ks (€)	Cena 1ks (Kč)
	6HR skrutka M4x12	0,002	1	0,05	1,25
	6HR skrutka M4x16	0,002	1	0,02	0,50
	Krídlová matica M4	0,003	2	0,05	1,25
	Mic Fixing Element	0,002	1	0,09	2,36
	Mic Arm Element	0,003	1	0,08	1,94
Mic Holder 1/2"		0,004	1	0,05	1,13
		0,019		0,39	8,43

Zostava 4	Komponent	Hmotnosť (kg)	Počet kusov	Cena 1ks (€)	Cena 1ks (Kč)
	"Nitrovia" Matica M6	0,003	1	0,19	4,75
	Kombinovaná skrutka M6	0,008	1	0,11	2,75
	Insert	0,002	1	0,05	1,33
		0,013		0,16	4,08

Zostava 5	Komponent	Hmotnosť (kg)	Počet kusov	Cena 1ks (€)	Cena 1ks (Kč)
	Matica M6	0,002	2	0,02	0,50
	O krúžok 40x2	0,001	1	0,40	10,00
	Podstava insert	0,025	1	0,57	14,15
	Podstava insert plug in	0,001	1	0,03	0,82
		0,031		1,04	25,97

Výsledná cena projektu

Položka	Cena položky (€)	Cena položky (Kč)
Trubky	9,45	236,30
Tlačené zostavy	10,90	272,53
Ostatný materiál	51,85	1296,25
		72,20
		1805,08

Príloha E

PROTOKOL O MERANÍ HLUKU podľa ČSN EN ISO 3744

Zákazník:

Skúšaný zdroj hluku:

Vysávač NAREX VIS 20-01

Prevádzkové podmienky

Vzhľadom k zástavbovému priestoru meracej komory bol vysávač pri meraní umiestnený mimo geometrického stredu miestnosti. Stred konštrukcie na vymedzenie bodov merania sa prispôbil akustickému stredu zdroja, teda v strede vysávača.

Akustické prostredie:

Polobezodrazová komora s rozmermi 5,3 x 4,2 x 3,2 m.

Meracie prístroje:

Zvukomer Brüel&Kjær Type 2270

Merací postup:

Skúška vykonaná podľa ČSN EN ISO 3744, meracia plocha tvaru rovnobežnostenu, 9 základných polôh mikrofónu (horné rohy a stredy plôch, vid' obrázok v prílohe). Frekvenčné pásmo 14 Hz až 20 kHz.

Podmienky prostredia

teplota vzduchu: 23 °C
barometrický tlak vzduchu: 99500 Pa
relatívni vlhkosť vzduchu: nezjišťovaná

Výsledná hladina akustického výkonu zdroja hluku L_{wA} :

84,133 dBA

Hladina akustického výkonu bola získaná v plnom súlade s postupmi tejto medzinárodnej normy. Hladiny akustického výkonu sú vyjadrené v decibeloch s referenčnou hodnotou 1 pW. Aplikovaná korekcia -0,3 dB na barometrický tlak, korekcia na prostredie 1,6 dB (určené metódou 2 plôch) a korekcia na odstup signálu od akustického pozadia -3,0 dB. Celková rozšírená neistota merania je zjednodušená stanovená na 3 dB (stabilné meranie v triede presnosti 1).

Dátum merania:

17.5.2022

Meranie vykonal:

.....
Adam Fábry

Tabulka naměřených hodnot				
Pozice mikrofonu (číslo mikrofonu)	Hluk pozadí [dBA]	Hladiny akustického tlaku L_p [dBA]		
		1. měření	2. měření	3. měření
1	16,560	74,820	75,100	74,760
2	16,530	76,110	76,040	75,810
3	16,610	72,140	71,890	72,120
4	16,500	70,550	70,690	70,470
5	16,580	76,140	76,350	76,250
6	16,520	80,660	80,430	80,730
7	16,650	79,850	80,090	79,670
8	16,590	76,110	76,170	76,170
9	16,540	77,610	77,510	77,410

Tabulka použitých zařízení		
Zařízení	Typ	Sériové číslo
Zvukoměr	2270	3003747
Mikrofon zvukoměru	4189	2887839
Kalibrátor	4231	2691665

