Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb

Bakalářská práce

Návrh a zhodnocení systémů rozvodu tlakového vzduchu v halách

Miloslava Nebeská

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Miloslava Nebeská

Procesní inženýrství
Technologická zařízení staveb

Název práce

Návrh a zhodnocení systémů rozvodu tlakového vzduchu v halách

Název anglicky

Design and evaluation of compressed air distribution systems in halls

---

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je posoudit zdroje tlakového vzduchu a navrhnout rozvody v halách. V bakalářské práci uvést základní principy potřebných výpočtů. Na základě poznatků z literatury i vlastních úvah a měření zhodnotit vliv činnosti zdrojů a rozvodu tlakového vzduchu na vnitřní prostředí v halách z hlediska akustické pohody pro pracovníky.

Metodika

Úvod

Cíl práce

Současný stav sledované problematiky

Metodika práce

Výsledky a diskuse

Závěr a doporučení

Seznam použitých zdrojů

Přílohy

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu

Klíčová slova

Dimenzování; hlučnost; kompresory; potrubí

Doporučené zdroje informací

Brown, R. N.: Compressors: Selection and sizing. Houston, Elsevier, 2005, 640 s.
Hanlon, P.C. a kol.: Compressor handbook. New York, McGRAW-HILL, 2001, 754 s.
Chlumský, V.: Kompresorové stanice. Praha, SNTL, 1978, 92 s.
Chlumský, V.: Kompresory. Praha, SNTL, 1982, 195 s.
Chlumský, V.: Rotační kompresory a vývěvy. SNTL, Praha, 1966, 130 s.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 25. 1. 2023

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 18. 12. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Návrh a zhodnocení systémů rozvodu tlakového vzduchu v halách " jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25.3.2024 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. Ing. Pavlu Kicovi, DrSc. za pomoc s výběrem zadaní bakalářské práce, za odborné konzultace a za zapůjčení měřícího přístroje. Dále bych ráda poděkovala své rodině za podporu při psaní práce a firmě INAIRCOM za konzultace a poskytnuté materiály. Velké poděkování patří také firmě OKULA Nýrsko za umožnění měření při plném pracovním vytížení.

Návrh a zhodnocení systémů rozvodu tlakového vzduchu v halách

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je posouzení zdrojů tlakového vzduchu a navržení rozvodu stlačeného vzduchu ve výrobních halách. Návrh je zhotoven pro pracovní halu, která procházela celkovou rekonstrukcí a změnou výrobního procesu plastových součástí. Rozmístění pracovních prvků bylo předem určeno majitelem objektu. V teoretické části práce je popsán princip výroby tlakového vzduchu, rozdělení zdrojů stlačeného vzduchu a rozdělení přídavných zařízení zajišťujících jeho potřebnou třídu kvality. V praktické části práce je vypracován návrh rozvodu a složení kompresorové stanice pro vybranou pracovní halu. Současně je provedeno měření zvukové zátěže v provozní hale a její posouzení z hlediska akustické pohody na pracovišti. V přílohové části je přiložen náčrt haly, kde probíhalo měření hlučnosti.

Klíčová slova: stlačený vzduch, čistota stlačeného vzduchu, kompresor, návrh rozvodu, akustický tlak

Design and evaluation of compressed air distribution systems in halls

Abstract

The aim of the bachelor's thesis is the assessment of sources of compressed air and the design of the distribution of compressed media in work halls. The proposal is made for a work hall that underwent a total reconstruction and change in the production process of plastic parts. The location of the work elements was determined in advance by the owner of the building. The theoretical part of the thesis describes the principle of compressed air, the distribution of media sources and the distribution of additional equipment ensuring its necessary quality class production. In the practical part of the work, the design of the distribution and composition of the compressor station for the selected work hall is developed. The goal is to measure the sound load in the operating hall and assess it in terms of acoustic well-being in the workplace. Attached are images of the principle of compressed air production for various types of compressor units.

Keywords: compressed air, purity of the compressed medium, compressor, distribution design, acoustic pressure

Obsah

1 Úvod 11

2 Cíl práce a metodika 12

2.1 Cíl práce 12

2.2 Metodika 12

3 Teoretická východiska 13

3.1 Stlačený vzduch 13

3.1.1 Princip výroby stlačeného vzduchu 13

3.2 Zdroje stlačeného vzduchu- rozdělení podle tlaku 13

3.2.1 Vývěva 13

3.2.2 Dmychadlo 14

3.2.3 Kompresor 14

3.2.4 Booster (dotlačovací kompresor) 14

3.2.5 Cirkulační kompresor (cirkulátor) 14

3.3 Rozdělení kompresorů podle způsobu stlačování - ČSN ISO 10 5010 15

3.3.1 Kompresory pístové 15

3.3.2 Kompresory membránové 16

3.3.3 Kompresory s volnými písty 16

3.3.4 Křídlové kompresory 16

3.3.5 Kapalinokružné kompresory 17

3.3.6 Kompresory s valivým pístem 17

3.3.7 Šroubové kompresory 17

3.3.8 Zubové kompresory 17

3.3.9 Turbokompresory 18

3.3.9.1 Axiální turbokompresor 18

3.3.9.2 Radiální turbokompresor 18

3.3.10 Proudové kompresory (ejektory) 18

3.4 Rozdělení kompresorů podle konečného tlaku (tlakového poměru) 18

3.5 Úprava stlačeného vzduchu 19

3.5.1 Třídy kvality stlačeného vzduchu podle normy ČSN ISO 8573-1 19

3.6 Filtry- úprava stlačeného vzduchu 20

3.6.1 Sací filtr 20

3.6.2 Cyklónový filtr 20

3.6.3 Předfiltr 20

3.6.4 Mikrofiltr 20

3.6.5 Filtr s aktivním uhlím 21

3.7 Sušičky vzduchu- úprava stlačeného vzduchu 21

3.7.1 Kondenzační sušička ... 21
3.7.2 Absorpční sušička ... 21
3.7.3 Adsorpční sušička ... 21
3.7.4 Membránová sušička ... 22
3.8 Odvaděče kondenzátu- úprava stlačeného vzduchu ... 23
3.9 Nejběžnější řazení soustavy na úpravu stlačeného vzduchu ... 23
3.10 Rozvody stlačeného vzduchu- části potrubních rozvodů ... 23
3.10.1 Plastové trubky ... 24
3.10.2 Kovové trubky ... 24
3.10.3 Hadice ... 25
3.10.4 Tvarovky ... 25
3.10.5 Armatury ... 26
3.11 Tlaková ztráta ... 26
3.11.1 Tlaková ztráta třecí ... 26
3.11.2 Tlaková ztráta v místních odporech ... 27
3.11.3 Celková tlaková ztráta ... 27
3.12 Objemová ztráta ... 27
3.13 Reynoldsovo číslo- typ proudění média v rozvodech ... 28
3.14 Přímé a okruhové vedení rozvodu ... 28
3.14.1 Přímé vedení rozvodu ... 28
3.14.2 Okruhové vedení rozvodu ... 29
3.15 Průměr rozvodných trubek a spojovacích prvků ... 29
3.16 Obecný postup při návrhu rozvodu stlačeného vzduchu v pracovních halách 31

4 Vlastní práce ... 33
4.1 Návrh rozvodu v pracovní hale ... 33
4.1.1 Výpočet spotřeby stlačeného vzduchu ... 33
4.1.2 Návrh kompresorové stanice ... 35
4.1.3 Návrh rozvodů stlačeného vzduchu ... 37
4.1.3.1 Volba materiálu potrubí ... 37
4.1.3.2 Délka potrubí pro výpočet dimenze ... 37
4.1.3.3 Dimenzování rozvodu bez náhradní délky ... 37
4.1.3.4 Náhradní délka ... 38
4.1.3.5 Délka páteřního rozvodu s náhradní délkou- volba dimenze ... 39
4.1.3.6 Tlaková ztráta v páteřním rozvodu ... 39
4.1.4 Svody ... 40
4.1.5 Cenový návrh pro danou halu ... 41
4.2 Akustická pohoda v pracovní hale ... 44
4.2.1 Měření akustického tlaku hlukoměrem Voltcraft SL 400 ... 46

5 Výsledky a diskuze 50
5.1 Návrh rozvodu 50
5.2 Měření zvukové zátěže 50
6 Závěr 52
7 Seznam použitých zdrojů 53
8 Přílohy 56

Seznam obrázků

Obrázek 1- Rozdělení kompresorů 15
Obrázek 2-Třídy kvality stlačeného vzduchu podle normy ČSN ISO 8573-1 19
Obrázek 3- Schéma adsorpční sušičky 22
Obrázek 4- Nomogram pro výpočet průměru potrubí 30
Obrázek 5- Nomogram pro výpočet průměru potrubí 31
Obrázek 6- Náčrt pracovní haly s rozvody stlačeného vzduchu 35
Obrázek 7- Výběr kompresoru z katalogu firmy Inaircom 36
Obrázek 8- Volba dimenze pro okruhový rozvod 38
Obrázek 9- Korekce rozvodu 38
Obrázek 10- Výpočet tlakové ztráty v potrubí 40
Obrázek 11- Volba dimenze pro přímý rozvod- svod 41

Seznam tabulek

Tabulka 1- Výpočet spotřeby-volba součinitelů 34
Tabulka 2- Rozpis cen za kompresorovou stanici 42
Tabulka 3- Rozpis cen za rozvody a armatury 43
Tabulka 4- Měření hluku u šroubového kompresoru INAIRCOM 55kW 46
Tabulka 5- Měření hluku u kondenzační sučišky KS11000- INAIRCOM 46
Tabulka 6- Měření hluku u šroubového kompresoru ATLAS GA-75-10 47
Tabulka 7- Měření hluku u Adsorpční sušičky AS 16660 INAIRCOM 47
Tabulka 8- Měření hluku u východu z kompresorové stanice 48
Tabulka 9- 1. a 2. měřící místo 48
Tabulka 10- 3. a 4. měření 49
Tabulka 11- 5. a 6. měření 49

1 Úvod

Stlačený vzduch je jeden z nejpoužívanějších a zároveň nejdražších médií. Využívá se téměř ve všech aspektech lidské činnosti. Používáme ho v podstatě ve veškeré průmyslové a ruční výrobě, při výrobě telefonních a počítačových součástek, při ovládání pneumatických nástrojů, při huštění pneumatik, můžeme ho využít ve zdravotnictví, potravinářském průmyslu, v zemědělství a v mnoha dalších oborech. Jeho výroba je energeticky velmi náročná.

Ve své práci se budu věnovat zdrojům tlakového vzduchu, vhodné volbě materiálu pro rozvodnou síť tlakového vzduchu, návrhu rozvodné sítě po pracovní hale a zhodnocení vlivu činnosti zdrojů stlačeného vzduchu na vnitřní prostředí. Při návrhu kompresorové stanice a rozvodů je důležité zhodnotit nejen počet odběrných míst, délku rozvodů a svodů, velikost ztrát, ale i potřebnou třídu kvality stlačeného vzduchu pro daný provoz. Vhodnou volbou zdroje tlakového vzduchu a materiálu potrubí můžeme snížit tlakovou ztrátu a tím vstupní investici při koupi zdroje. Zejména tím můžeme uspořit značnou část za provozní energie.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem práce je posouzení zdrojů stlačeného neboli tlakového vzduchu a navržení vhodného typu rozvodů v pracovní hale. Další částí je posouzení vhodného materiálu potrubí pro daný rozvod nejen z hlediska požadované kvality vzduchu, ale i z hlediska tlakové ztráty. Na základě měření a vlastních úvah zhodnotit vliv zdrojů na vnitřní prostředí a akustickou pohodu pracovníků.

2.2 Metodika

Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a část praktickou. V teoretické části se zabýváme druhy zdrojů stlačeného vzduchu, materiály potrubí, dimenzí potrubí, úpravou stlačeného vzduchu do požadované kvality a rozdílem mezi okruhovým a přímým vedením rozvodu. V praktické části je popsán návrh kompresorové sanice a rozvodu pro danou halu i s potřebnými výpočty. V hale došlo v roce 2020 ke kompletní výměně rozvodné sítě. Na základě měření hluku je posouzen vliv činnosti zdrojů na akustickou pohodu pracovníků v pracovní hale.

Texty a tabulky byly vytvořeny pomocí programů MS Word a MS Excell, návrh rozvodné sítě byl zpracován v programu Autodesk Inventor 2020.

3 Teoretická východiska

3.1 Stlačený vzduch

Jedná se o nejvyužívanější a zároveň nejdražší médium. Jeho výroba je energeticky náročná. Podle výsledků celosvětových odhadů připadá na výrobu stlačeného vzduchu až 30% celkové spotřeby elektrické energie.[1]

Molekuly vzduchu se pohybují různými rychlostmi. Při kompresi dochází ke zvýšení teploty, změně kinetické energie jednotlivých molekul, zmenšení objemu vzduchu (komprimaci). Chemické složení vzduchu a hmotnost vodních par zůstávají i po kompresi stejné. Vzduch je složen z 78% dusíku N_2, 21% kyslíku O_2 a stopových plynů, mezi které patří například oxid uhličitý, helium, metan, ozon. [2]

Stlačený vzduch obsahuje mimo chemické prvky a sloučeniny také nečistoty. Mezi hlavní nečistoty řadíme vodní páru, olej, mikroorganismy a pevné částice. Podle normy ISO 85731 rozdělujeme stlačený vzduch do 7 tříd kvality vzduchu. [3]

3.1.1 Princip výroby stlačeného vzduchu

Při výrobě stlačeného vzduchu dochází ke kompresi pracovní látky ve zdroji. Při stlačení dochází ke zvýšení tlakové energie a tepla. Při výstupu stlačeného vzduchu ze zdroje je potřeba zajistit jeho čistotu, která odpovídá potřebné třídě kvality. Jako pracovní látku volíme látku stlačitelnou - plyn. Volba typu zdroje stlačeného vzduchu závisí na požadavcích provozu. Mezi zdroje patří vývěva, dmychadlo, kompresor, booster a cirkulátor. Nejčastěji jsou pro výrobu tlakového vzduchu využívány kompresory. Kompresory dělíme podle normy ČSN 10 5010 – podle způsobu stlačování a podle konečného tlaku.

3.2 Zdroje stlačeného vzduchu- rozdělení podle tlaku

3.2.1 Vývěva

Odebírá pracovní látku a vytváří vakuum v daném systému. Při snižování tlaku dochází k nasátí vzduchu z uzavřeného prostoru a následně dojde ke stlačení látky na hodnotu atmosférického tlaku. Stejně jako u kompresorů existuje několik druhů vývěv. Typ vývěvy volíme podle požadovaných parametrů. [3]

3.2.2 **Dmychadlo**

Dmychadla zvyšují tlak nasávaného vzduchu sérií pohybů, které vznikají vlivem pohybu odstředivého kola. Vzduch se stlačuje na přetlak do 2 barů ($2 \cdot 10^5$ Pa). [3]

3.2.3 **Kompresor**

Zvyšuje tlak pracovní látky změnou objemu nebo rychlosti proudění na přetlak vyšší než 2 bary.[3] Kompresory dělíme podle ČSN ISO 10 5010 a podle konečného tlaku.

3.2.4 **Booster (dotlačovací kompresor)**

Vzduch je stlačen v kompresoru a následně vstupuje do boosteru, kde se zvýší kompresní poměr. Používají se pro zvyšování tlaku, při kterém by mohlo dojít k poruše kompresoru bez boosteru. [3] Pro dosažení vyšších průtoků plynu může pracovat 2 a více boosterů paralelně. [7]

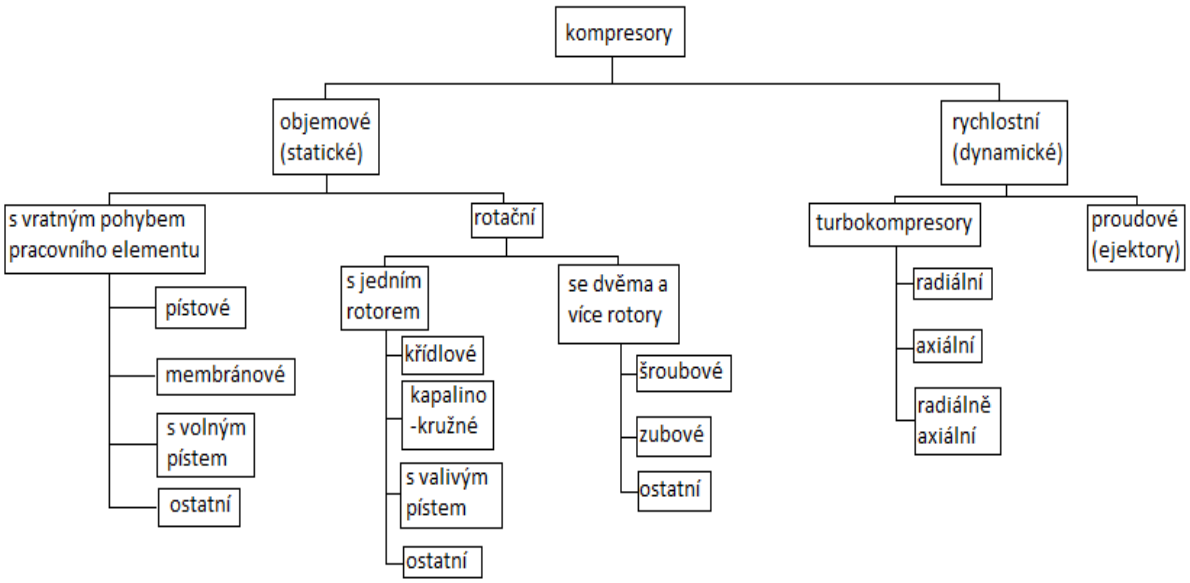
3.2.5 **Cirkulační kompresor (cirkulátor)**

Pracuje se stlačeným vzduchem, který má vysoký tlak. Vzduch je nasáván a stlačován při malém tlakovém poměru. [3]

3.3 Rozdělení kompresorů podle způsobu stlačování - ČSN ISO 10 5010

Kompresory dělíme na objemové (statické) a rychlostní (dynamické).

Obrázek 1- Rozdělení kompresorů



Zdroj: [6]

Objemové kompresory neboli kompresory statické mají přerušovaný režim komprese. Kompresor nasaje potřebné množství pracovní látky do pracovního prostoru, který je následně uzavřen. Vlivem pohybu válce dochází ke zmenšení pracovního prostoru a stlačení vzduchu. Při kompresi dochází k nárůstu tlakové energie a tepla. Po dosažení hodnoty tlaku se otevře ventil a stlačený vzduch opustí pracovní prostor před dalším cyklem. Kompresory pracují periodicky s konstantním průtokem.[4, 5]

Rychlostní neboli dynamické kompresory mají kontinuální režim komprese. Pracovní látka je nasávána do pracovního prostoru, který se nemění. V pracovním prostoru dochází k urychlení látky a přeměnou kinetické energie na tlakovou dochází ke stlačení vzduchu. Dynamický kompresor pracuje kontinuálně při konstantním tlaku. [4, 5]

3.3.1 Kompresory pístové

Kompresory statické s vratným pohybem pístu. Jsou to nejrozšířenější druhy kompresorů využívané pro širokou škálu výrob, průmyslových odvětví a zařízení. Stroj je vybaven sacím a výtlačným ventilem. V pracovním prostoru se nachází píst, který svým pohybem nasává nebo stlačuje vzduch. Při nasávání se píst pohybuje z horní do dolní úvratě.

Při zaplnění pracovního prostoru se uzavřou sací ventily a píst začne zmenšovat pracovní prostor. Dochází ke stlačení vzduchu a následnému otevření výtlačného ventilu. Stlačený vzduch se dostává do vzdušníku a píst koná vratný pohyb. Při vratném pohybu se opět otevírají sací ventily a zaplňuje se pracovní prostor kompresoru. [4, 11]

Při kompresi dochází k nárůstu tepla, které může mít za následek opotřebení dílů a snížení účinnosti. U menších strojů se používá k chlazení vzduch u velkých kapalina. [7]

Stroje mohou být mazané, kde dochází k přímému styku média a mazací látky v pracovním prostoru, nebo bezmazné, kde dochází k mazání klikového mechanismu bez pracovního prostoru. [3]

Kompresory dělíme na jednočinné (jednostupňové) nebo dvoučinné (dvoustupňové) podle počtu činných prostorů. Provedení konstrukce pístových kompresorů může být ležaté, stojaté, boxerové, úhlové, s válci do V, W, V-V a hvězdicové. [8]

3.3.2 **Kompresory membránové**

Pracovní prostor membránových kompresorů je ve tvaru kulového vrchlíku. Je vybaven pružnou membránou, která se prohýbá vlivem změny objemu pracovního prostoru. Membrána může být vyrobena z pryže nebo kovu. Průhybu pryžové membrány se dosahuje mechanicky pomocí táhla. Průhybu kovové membrány se dosahuje hydraulicky- vháněním oleje pomocí pístového čerpadla. Využíváme je především v oblastech, kde je základním požadavkem vyloučení styku média s mazivem. Jedná se o poměrně těžké stroje, které mají omezenou životnost membrány. [8, 5]

3.3.3 **Kompresory s volnými písty**

Kompresory, které jsou vybaveny motorem zážehovým nebo vznětovým. Při spalování paliva v motoru dochází k nárůstu tlaku, který působí na píst. Píst se nachází v kompresoru i ve spalovacím prostoru. Vlivem pohybu pístu dochází ke stlačení vzduchu v polštářovém válci. Stlačený vzduch se využívá ke zpětnému chodu pístu. Používají se jako mobilní vzduchové kompresory. [8, 7]

3.3.4 **Křídlové kompresory**

Kompresory objemové rotační s jedním rotorem, který je excentricky uložen ve válci neboli statoru. Rotor je vybaven vysouvacími radiálními křídly, která jsou vlivem odstředivé síly přitlačována ke stěně a utěsňují komůrky s proměnlivým prostorem. V komůrkách dochází ke stlačení vzduchu. Míra stlačení je dána polohou výtlačné hrany [8].

Křídlový neboli lamelový kompresor je stroj s vestavěným tlakovým poměrem. Tlakový poměr, kterého chceme dosáhnout, je dán polohou hrany výtlačného hrdla. [1]

Kompresory mají jednoduchou konstrukci, dlouhou životnost, vyšší hlučnost. [3]

3.3.5 **Kapalinokružné kompresory**

Kapalinokružný kompresor je kompresor tvořený jedním rotorem s pevnými lopatkami. Do statoru se přivádí kapalina. Vhodnou kapalinou je voda, popřípadě kapalina s nízkým tlakem par. Kapalina vytváří při rotaci prstenec, který těsní pracovní prostor. Mezi prstencem a rotorem probíhá sání, komprese i výtlak. Kapalinokružný kompresor se hodí i pro stlačování znečištěných plynů. [8, 3]

3.3.6 **Kompresory s valivým pístem**

Kompresor je vybaven pístem, který je excentricky uložen ve statoru. Odvalováním pístu po stěně statoru dochází k vytvoření pracovního prostoru ve tvaru srpu. Prostor má proměnlivou velikost a využívá se k samotné kompresi. Používají se jako vývěvy a v chladící technice. Patří sem i kompresory s různým tvarem pístu. [3]

3.3.7 **Šroubové kompresory**

Patří do skupiny kompresorů objemových rotačních. Dnes nejpoužívanější druhy kompresorů. Jsou vybaveny 2 rotory, které mají tvar šroubových ozubených kol. Hnací rotor je vybaven 3 nebo 4 zuby, hnaný rotor má obvykle 4, 5, 6 dutých zářezů. Rotory mají stejné stoupání, ale opačný směr rotace. Hnací a hnané rotory jsou vůči sobě v různém poměru zubů podle toho, jaký výkon potřebujeme[8]. Při otáčení se mění velikost komůrek. Při sání na sací straně je velikost komůrky zvětšována. Při výtlaku na výtlačné straně je velikost komůrky zmenšována. Ke stlačení dochází ve zmenšujícím se prostoru komůrky a po dosažení výtlačné hrany je médium vytlačeno z pracovního prostoru. Sací i výtlačný prostor je trvale otevřený. Šroubový blok neobsahuje sací a výtlačné ventily. Šroubové kompresory mohou být mazané nebo bezmazné. [3, 7]

3.3.8 **Zubové kompresory**

Objemové rotační kompresory, které jsou vybaveny 2 rotory. Rotory mají tvar ozubeného kola se 2 zuby (Rootsův kompresor) nebo 3,4 zuby (zubové kompresory). Rotory mají stejný počet zubů a opačný smysl rotace. Komprese média neprobíhá uvnitř pracovního prostoru. Jedná se tedy o stroje s tzv. „vnější“ kompresí. Ke stlačení- kompresi dochází v okamžiku, kdy se pracovní prostor spojí s prostorem výtlaku. [3, 11]

3.3.9 **Turbokompresory**

Jedná se o stroje dynamické neboli rychlostní. Ke stlačování plynu nedochází vlivem změny objemu pracovního prostoru, ale vlivem změny rychlosti vzduchu a přeměnou kinetické energie v tlakovou energii. Turbokompresory dělíme na axiální, radiální a radiálně axiální podle způsobu průtoku vzduchu daným strojem.

3.3.9.1 Axiální turbokompresor

Axiální turbokompresor je vybaven rotorem a statorem s lopatkami. Vzduch vstupuje i vystupuje ze stroje v axiálním směru. Je nasáván do sací komory a následně urychlován řadou lopatek umístěných na rotoru. Na lopatkách statoru dochází k přeměně energií, zvýšení tlaku a přechodu na další stupeň. Kompresor se skládá z několika stupňů. Stupeň kompresoru je dán kombinací počtu statorů a rotorů. Na konci pracovního prostoru se nachází difuzor, který přenáší stlačený vzduch do výtlačného hrdla. [3, 10]

3.3.9.2 Radiální turbokompresor

Radiální kompresor je stejně jako axiální kompresor tvořen několika stupni. Do rotoru je přiváděn vzduch, který vlivem odstředivé síly proudí kanály oběžného kola. Oběžná kola urychlují vzduch a udělují mu kinetickou energii. Kinetická energie se v difuzoru přemění na tlakovou energii a tím naroste tlak vzduchu. Radiální kompresory mohou být chlazeny mezi stupni. [3, 11]

3.3.10 **Proudové kompresory (ejektory)**

Proudové kompresory neboli ejektory jsou dynamické stroje vybaveny dýzou. Dýzou je přiváděn vzduch, který prochází malým otvorem velkou rychlostí. V okolí průtoku vzniká podtlak, který způsobí nasávání vzduchu z okolního prostoru. Okolní vzduch je strháván, dochází k mísení a odvodu vzduchu. V difuzoru dochází ke změně energie kinetické na energii tlakovou. [11]

3.4 **Rozdělení kompresorů podle konečného tlaku (tlakového poměru)**

Nízkotlaké kompresory- výtlačný tlak do 2,5 MPa

Středotlaké- výtlačný tlak v rozmezí 2,5 – 10 MPa

Vysokotlaké- výtlačný tlak v rozmezí 10 – 250 MPa [3]

3.5 Úprava stlačeného vzduchu

Stlačený vzduch upravujeme podle požadavků na čistotu vzduchu. Čistota vzduchu se dělí podle normy ISO 8573-1 na třídy čistoty 0-6.

K úpravě využíváme přídavných zařízení. Pro odstranění pevných částic a oleje ze vzduchu se používají filtry, separátory. Pro odstranění vlhkosti přidáváme do kompresorové stanice sušičky vzduchu. V případě potřeby nejvyšší kvality stlačeného vzduchu (1-1-1) se používá na úpravu katalyzátor. Tento prvek je cenově náročný na pořízení i na provoz.

3.5.1 Třídy kvality stlačeného vzduchu podle normy ČSN ISO 8573-1

Obrázek 2-Třídy kvality stlačeného vzduchu podle normy ČSN ISO 8573-1

Třída kvality	Pevné částice			Vlhkost a kapalná voda	Celkový olej
	Maximální počet částic na m³			Rosný bod °C	Koncentrace celkového oleje (kapalné aerosoly a
	0,1 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 5 µm	°C	mg/ m³
0	Jak je určeno uživatelem nebo dodavatelem zařízení a přísnější než třída 1				
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10	≤ -70	≤ 0,001
2	≤ 400 000	≤ 6000	≤ 100	≤ -40	≤ 0,1
3	-	≤ 90 000	≤ 1000	≤ -20	≤ 1
4	-	-	≤ 10 000	≤ +3	≤ 5
5	-	-	≤ 100 000	≤ +7	>5
6	-	-	-	≤ +10	-

Zdroj: [9]

Pro různé odvětví průmyslu využíváme různých tříd kvality stlačeného vzduchu. Například v potravinářském průmyslu využíváme kvalitu stlačeného vzduchu 1-2-1 pro suché potraviny a 1-4-1 pro potraviny, kde nevadí vyšší vlhkost obsažena ve vzduchu. V hornickém průmyslu, ve svářecích strojích, u vrtacích kladiv, ve stavebnictví se používá stlačený vzduch o třídě 4-5-5. U jiných oborů mohou být hodnoty třídy kvality vyšší nebo nižší. Vždy záleží na konkrétních požadavcích na čistotu pro danou technologii. Mezi hlavní nečistoty stlačeného vzduchu patří vlhkost, olej a pevné částice. [12]

Zařízení pro úpravu stlačeného vzduchu dělíme podle druhu znečištění- filtry, sušičky, odvaděče kondenzátu.

3.6 Filtry- úprava stlačeného vzduchu

Pomocí filtrů odstraňujeme ze stlačeného vzduchu pevné částice, vodu a olej.

3.6.1 Sací filtr

Sací filtr se využívá k čištění nestlačeného vzduchu na vstupu. Bývá zpravidla umístěn v konstrukci kompresoru, kde odstraňuje pevné částice, prach a pyl při sání. Následně je vzduch stlačován kompresorem a odváděn z pracovního prostoru. Například šroubové kompresory mají kromě sacího filtru, který je umístěn na sacím regulátoru i předfiltr saní – ten je umístěn na krytech kompresoru. Sací filtry je potřeba pravidelně měnit, aby nedocházelo k průchodu nečistot z filtru do pracovního prostoru kompresoru.[3]

3.6.2 Cyklónový filtr

Cyklónový filtr se využívá k odstranění vlhkosti a pevných částic ze stlačeného vzduchu. Obvykle se umisťuje hned za kompresor. Ve filtru dochází k víření vzduchu a oddělení vlhkosti. Vzduch dále prochází přes filtr na výstup z cyklónového odlučovače. Cyklónový filtr je vybaven odvaděčem kondenzátu. Nespornou výhodou je nízká pořizovací cena, ušetření nákladů na energii při chodu sušičky. Tento prvek úpravy vzduchu má malou účinnost a vysokou hodnotu tlakového spádu. Ve většině provozů je nahrazen sušičkami vzduchu. [13]

3.6.3 Předfiltr

Předfiltry se používají pro odstranění pevných částic, které jsou obsaženy ve stlačeném vzduchu. Nejběžněji používané předfiltry jsou v rozmezí 1-15 μm. Vzduch vstupuje do pracovního prostoru filtru, kde dochází k víření a oddělení prachových částic a částečně vlhkosti od vzduchu. Umisťují se před další pracovní prvky úpravy média, nejčastěji před sušičky. Dále se umisťuje za adsorpční sušičku, kde zabraňuje vniku sorbentu do samotného rozvodu stlačeného vzduchu. Předfiltry jsou stejně jako ostatní filtry vybaveny odvaděčem kondenzátu a musí se měnit v určitých intervalech, aby nedocházelo k úniku nečistot za filtr.[12]

3.6.4 Mikrofiltr

Mikrofiltr upravuje vzduch, který je zbaven vlhkosti a má co nejnižší teplotu. Pokud by vzduch v sobě obsahoval vyšší procento vlhkosti, mohlo by dojít k znehodnocení vložky mikrofiltru. Umisťuje se za sušičky a zbavuje stlačený vzduch prachových nečistot a olejových částic. I tento pracovní prvek je vybaven odvaděčem kondenzátu. [12]

3.6.5 **Filtr s aktivním uhlím**

Používá se pro odstranění zbytkových aerosolů oleje. Umisťuje se za mikrofiltr a je vybaven odvaděčem kondenzátu. Olejové částice se zachytí na pórovité struktuře aktivního uhlí a vlivem síly molekul jsou přitahovány. Nedochází tak k zpětné kontaminaci média olejem. [14]

3.7 **Sušičky vzduchu- úprava stlačeného vzduchu**

3.7.1 **Kondenzační sušička**

Stlačený vzduch je ochlazován na hodnotu rosného bodu 0-8°C. Sušičky jsou vybaveny chladivem, které není škodlivé pro životní prostředí- výjimkou jsou freony, které jsou v ČR již zakázané. Účinnost se pohybuje kolem 90-95% podle prostředí, ve kterém dochází k vysoušení stlačeného vzduchu. Ochlazený stlačený vzduch má menší schopnost pohlcovat vodní páru a tím dochází k vysoušení. Sušička je vybavena odvaděčem kondenzátu. Kondenzační sušička je jedním z nejpoužívanějších typů sušiček. Je cenově dostupná a při jejím zařazení do úpravy média dosáhneme třídy kvality 4 podle normy ISO 8573-1. [15]

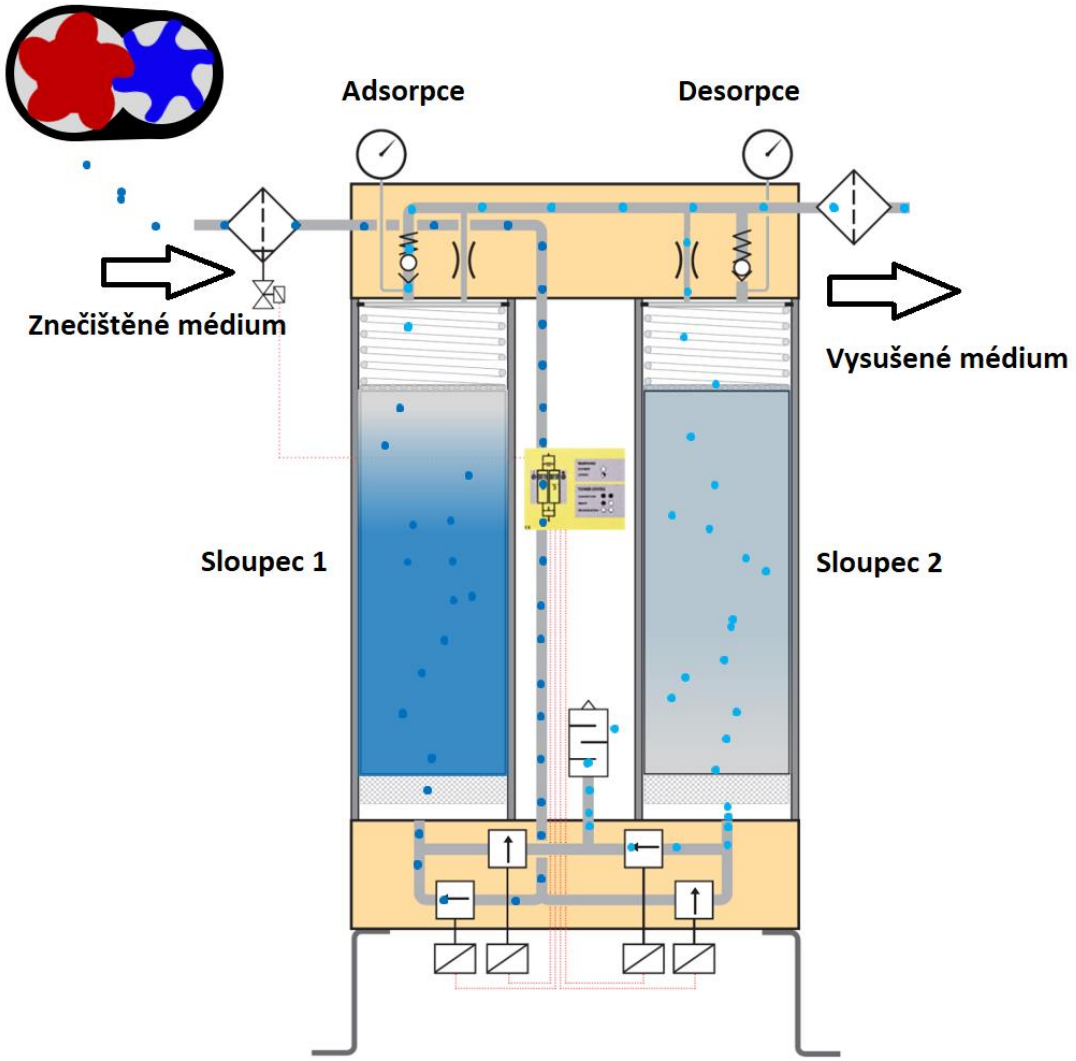
3.7.2 **Absorpční sušička**

Absorpční sušičky se v provozech téměř nepoužívají. Jsou nákladné na pořízení i na provoz. Vlhkost je zachycována sorbentem, který není dále vysoušen a musí docházet k jeho časté výměně.

3.7.3 **Adsorpční sušička**

Adsorpční sušička se používá pro odstranění vlhkosti při teplotách rosného bodu -20°C - -70°C. Účinnost sušení je 99%. Sušička je tvořena 2 válci vyplněnými desikantem. Při vysoušení stlačeného vzduchu (adsorpci) se postupně nasycuje hygroskopická látka. V druhém válci se část vysušeného stlačeného vzduchu vrací zpět a vysouší nasycený sorbent (desorpce) pro další použití. Při plném nasycení hygroskopické látky se vymění cykly vysoušení sorbentu a vzduchu. Adsorpční sušička je vybavena odvaděčem kondenzátu. [20] Před každou adsorpční sušičkou je umístěný mikrofiltr, který odstraňuje aerosoly oleje. Pokud by stlačený vzduch měl velkou koncentraci oleje, mohlo by dojít k poškození látky pohlcující vlhkost- sorbentu. Za sušičku se vždy umisťuje předfiltr. Předfiltr zabrání úniku sorbentu do rozvodu stlačeného vzduchu.

Obrázek 3- Schéma adsorpční sušičky



Zdroj: [20]

3.7.4 **Membránová sušička**

Membránová sušička odstraňuje vlhkost ze stlačeného vzduchu pomocí membrány z dutých vláken. Vysoušení je při hodnotě rosného bodu až -40 °C. Hodnota rosného bodu závisí na podmínkách, ve kterých sušička pracuje. Tato sušička je určena pro dodávky stlačeného vzduchu s nízkým průtokem – 100 l/min. Před sušičkou je umístěný předfiltr a mikrofiltr, aby nedocházelo k znehodnocování membrány. Část vysušeného vzduchu se vrací a je využita na čištění membrány. [13]

3.8 Odvaděče kondenzátu- úprava stlačeného vzduchu

Rozdělujeme do 2 základních kategorií- elektronické a mechanické odvaděče. Elektronické odvaděče kondenzátu rozdělujeme dále na plovákové a časové.

Mechanický odvaděč pracuje na principu naplnění nádoby do maximální hladiny plováku. Následně se plovák otevře a nádobu s kondenzátem vypustí.

Elektronický plovákový odvaděč kondenzátu pracuje na principu naplnění nádoby na určitou hladinu. Při dosažení určité hladiny se uvolní vypouštěcí ventil a kondenzát se odpustí.

Elektronický časový odvaděč pracuje na principu „ventilu"- silenoidu. V řídící jednotce je nastavená doba otevření vypouštěcího ventilu, která se periodicky opakuje. Vypouštěcí ventil se otevírá na určitý čas- odvádí se kondenzát s nečistotami. Velkou nevýhodou je únik stlačeného vzduchu při otevření ventilu, i když není odveden žádný kondenzát.

3.9 Nejběžnější řazení soustavy na úpravu stlačeného vzduchu

Nejběžnější využití filtrace pro průmysl má řazení: kompresor- cyklonový odvaděč (snižuje teplotu stlačeného vzduchu, kondenzační sušička má vyšší účinnost)- předfiltr- kondenzační sušička- mikrofiltr. Řazení pro vyšší třídu kvality stlačeného vzduchu je: kompresor- cyklonový odvaděč- předfiltr- kondenzační sušička- mikrofiltr- adsorpční sušička- předfiltr stlačeného vzduchu. Vhodným návrhem a výběrem kondenzační sušičky můžeme docílit úspory média. Ušetřené množství využijeme na vysoušení sorbentu.

3.10 Rozvody stlačeného vzduchu- části potrubních rozvodů

Pomocí rozvodů stlačeného vzduchu můžeme transportovat vzduch po pracovní hale až k místu jeho využití. Při navrhování rozvodu musíme správně rozvod dimenzovat, navrhnout materiál, ze kterého jsou vyrobeny potrubní rozvody, určit místo největšího odběru, vypočítat tlakovou ztrátu, zjistit hodnotu provozního tlaku spotřebičů, zjistit požadovanou třídu kvality stlačeného vzduchu a rozhodnout o přímém či okruhovém vedení. [16]

Potrubní rozvody mohou být vedeny hadicemi a trubkami. Součástí rozvodů jsou armatury, které uzavírají/ otevírají, škrtí průtok potrubím.

Trubky mohou být vyrobeny z plastu nebo kovu. Výběr materiálu záleží na tlaku v potrubí, tlakové ztrátě, odolnosti proti korozi a na požadované kvalitě vzduchu. Trubky většinou využíváme pro rozvody na delší vzdálenosti. Vytváří tak páteřní systém, kterým transportujeme médium k místu využití.

3.10.1 **Plastové trubky**

Plastové trubky mají vysokou odolnost vůči vzniku koroze. Nedochází tak k uvolnění části rzi do rozvodu. Vnitřní povrch trubky je hladký a mají proto nízké hodnoty tlakového spádu. Trubky jsou vhodné pro nižší a střední tlaky. Jsou spojeny svařováním, šroubením nebo rychlospojkami. Na výrobu používáme různé druhy plastů, které jsou schváleny systémem OSHA – Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci. Provedení může být ve formě tyčí nebo hadic. [17] Plastové trubky mohou být vyrobeny z PVC a CPVC, ze styrenu, polyamidu a různých odolných plastů.

Plastové trubky z PVC a CPVC jsou zakázané systémem OSHA. Trubky z PVC a CPVC nejsou dostatečně pevné na tlakové instalace a odolné vůči působení oleje a maziv. Při zhoršení vlastností dochází k prasklinám, úniku stlačeného vzduchu a prasknutí celého systému rozvodu. Z důvodu bezpečnosti byly PVC a CPVC trubky zakázány. [17]

Plastové trubky vyrobené ze styrenu, polyetylenu, polyamidu, polypropylenu a různých odolných plastů. Jsou lehké, snadno se s nimi manipuluje a nekorodují. Trubky se dají řezat na požadovaný rozměr, jsou rozebíratelné a odolávají působení oleje a maziv. Podle způsobu instalace a tlaku v rozvodu můžeme plastové trubky spojovat svařováním, lepením, šroubením či rychlospojkami. Nejekonomičtějším spojováním plastového potrubí je svařování. Při svařování dochází k nahřátí spojovaných trubek a vytvoření tzv. prstýnku na vnitřním povrchu, který snižuje průtok potrubím a způsobuje tím ztráty. [17, 18]

3.10.2 **Kovové trubky**

Trubky vyrobené z oceli, mědi, hliníku, mosazi. Nižší odolnost vůči korozi, vyšší hodnoty tlakového spádu. Montáž u rozvodů s vyšším tlakem. Trubky jsou pevnější a odolnější vůči vzniku prasklin. Používají se pro rozvody s vysokým tlakem.

Ocelové „černé“ trubky byly používané pro rozvody stlačeného vzduchu v dřívějších dobách. Jedná se o běžnou ocel třídy 11. Trubky jsou pevné a odolné vůči působení olejů a maziv z kompresoru, ale jsou velmi náchylné na vznik koroze ve vnitřním povrchu trubky. Části rzi pronikají potrubím, zanáší vedení a můžou způsobit ucpání rozvodu. Vznikem

koroze je povrch uvnitř trubky drsnější a narůstá tím hodnota tlakového spádu. Mezi spojovací techniky ocelových trubek patří svařování, šroubení a lisování. [18]

Pozinkované ocelové trubky jsou stejné jako ocelové běžné trubky. Výjimkou je úprava oceli, která snižuje náchylnost ke korozi. Uvnitř potrubí může docházet k odlupování zinkového povlaku, který znečišťuje stlačený vzduch. [17]

Nerezové trubky jsou pevné a korozi odolné. Náklady na rozvod z nerezu jsou poměrně vysoké. Potrubí nekoroduje a nedochází uvnitř k odlupování galvanizované vrstvy. Používají se nejčastěji pro výroby s požadavky na vysokou čistotu stlačeného vzduchu- potravinářský průmysl a zdravotnictví. Spojování trubek provádíme svařováním, šroubením nebo lisováním. [17]

Měděné trubky jsou vhodné pro vysokotlaké rozvody. Měď je odolná proti korozi, má obdobné vlastnosti jako nerez. Oproti nerezu je lehčí, lépe se s ní manipuluje. Velkou nevýhodou je cenová dostupnost. Měděné trubky se spojují pájením, šroubením nebo lisováním. [18]

Hliníkové trubky jsou v poslední době hojně využívané. Hliník nepodléhá korozi, má vůči jejímu vzniku nejvyšší ochranu. Je lehký, snadno se s ním manipuluje, je odolný a má hladký vnitřní povrch- nejnižší hodnotu tlakového spádu. Spojení hliníkových trubek je pomocí šroubení, spojek nebo lisováním. [17]

3.10.3 **Hadice**

Hadice dělíme na rovné a spirálové. Vyrábí se z pryže nebo PVC. Každá hadice je vybavena rychlospojkou pro snadné spojení nebo rozpojení rozvodu. Většinou používáme hadice pro přívod stlačeného vzduchu z páteřního rozvodu k pracovnímu stroji. Používáme je také pro transport z kompresoru do rozvodu a na krátké vzdálenosti.

3.10.4 **Tvarovky**

Mezi tvarovky patří kolena, T-spojky, redukované spojky, záslepky, odbočky, kulové kohouty, koncové krabice a mnoho dalšího. Tvarovky znamenají v rozvodu značné ztráty. Nejméně ztrátovým potrubím by bylo potrubí, které by vedlo od kompresoru k pracovnímu stroji přímo. To v praxi není možné a při návrhu rozvodu stlačeného vzduchu musíme se ztrátami počítat. Tvarovky mohou být vyrobeny z různého materiálu, záleží, jaké vlastnosti požadujeme od celého rozvodu a jaké médium bude v rozvodu transportováno. [19]

3.10.5 **Armatury**

Používají se pro regulaci, uzavírání a otevírání systému tlakového vzduchu. Patří sem kulový ventil, šoupátka a sedlový ventil. Armatury se vyrábějí z různých materiálů. Záleží, s jakým médiem budeme pracovat. [19]

3.11 **Tlaková ztráta**

Tlaková ztráta je pokles tlaku od výtlaku kompresoru k nejvzdálenějšímu spotřebiči. K poklesu tlaku dochází průchodem stlačeného vzduchu potrubím a stroji na jeho úpravu. Hodnota poklesu tlaku závisí na zanesení filtračního zařízení, průchodu stlačeného vzduchu různými úpravami, zmenšování průměru rozvodných trubek vlivem koroze nebo zanešení. Systém s příliš velkou tlakovou ztrátou má za následek vyšší spotřebu energie. Při návrhu rozvodů stlačeného vzduchu musíme s tlakovou ztrátou počítat dopředu. Systémy na úpravu vzduchu- odlučovače, filtry, sušičky, dochlazovače volíme do rozvodu s co možná nejmenší takovou ztrátou. U rozvodů se snažíme zvolit takový materiál trubek, u kterého dochází k nejmenší pravděpodobnosti vzniku koroze. U potrubí také záleží na typu proudění vzduchu. Každý typ proudění má různé vlastnosti a různé hodnoty tlakové ztráty. Tlakovou ztrátu můžeme snížit vhodnou volbou typu materiálu trubek, nejkratším vedením rozvodu ke spotřebiči a zvětšením vnitřního průměru trubek. Tlaková ztráta se dělí na tlakovou ztrátu způsobenou třením a tlakovou ztrátu způsobenou místními odpory. Celková tlaková ztráta je součet těchto dvou dílčích výpočtů. [16]

3.11.1 **Tlaková ztráta třecí**

Při průtoku stlačeného vzduchu trubkou dochází k tření o povrch a k vnitřnímu tření. Tření snižuje kinetickou energii stlačeného vzduchu a vlivem přeměny tlakové energie na kinetickou dochází k poklesu tlaku mezi 2 body. Při výpočtu se používá součinitel tření λ, který zohledňuje typ proudění vzduchu v potrubí. [10]

Výpočet tlakové ztráty třecí

$$p_{zt} = l \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \qquad [Pa] \qquad (3.11.1. – 1.); [19]$$

p_{zt} → tlaková ztráta třecí [Pa]

l → délka potrubí [m]

λ → součinitel tření

d → vnitřní průměr potrubí [m]

ρ → hustota média [kg/m^3]

w → rychlost proudění [m/s]

3.11.2 **Tlaková ztráta v místních odporech**

Odpor armatur, kolen, T- spojek a jiných tvarovek. Jedná se o tzv. vřazené odpory. Pro výpočty používáme součinitel místního odporu ξ, který je určen experimentálně. Součinitel místního odporu je součet ztrát jednotlivých armatur a tvarovek. Ztráty zjistíme například z tabulky, experimentem nebo měřením.

Výpočet tlakové ztráty v místních odporech

$$p_{zm} = \sum_{i=1}^{n} \xi \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \quad [Pa] \qquad (3.11.2. – 1.); [19]$$

p_{zm} → tlaková ztráta v místních odporech [Pa]

ξ → součinitel místního odporu

ρ → hustota proudící kapaliny [kg/m^3]

w → rychlost proudění [m/s]

3.11.3 **Celková tlaková ztráta**

Celková tlaková ztráta je součtem ztrát místních a třecích.

$$p_{cz} = p_{zt} + p_{zm} \quad [Pa] \qquad (3.11.3. – 1.); [19]$$

3.12 **Objemová ztráta**

Objemová ztráta je ztráta způsobená únikem stlačeného vzduchu z rozvodů, armatur, filtračních armatur a různých zařízení, které jsou na rozvod připojeny. Objemovou ztrátu můžeme zjistit i poslechem, kdy stlačený vzduch, který uniká z rozvodu, způsobuje „hlasité syčení“. Dále ji můžeme zjistit detekční kapalinou a speciálním měřícím zařízením. Jedna z hlavních příčin nežádoucích objemových ztrát je degradace rozvodů a těsnění stlačeného vzduchu (těsnící kroužky, připojené hadice). Z bezpečnostních i ekonomických důvodů je důležité potrubí na tyto ztráty kontrolovat. Při poruše může dojít k roztržení části rozvodu, které může ohrozit bezpečnost pracovníků v hale a sníží se tlak v rozvodu. Tyto ztráty

mohou ve velkých pracovních halách způsobovat značnou ztrátu energie a tím vyšší pokles tlaku mezi kompresorem a spotřebičem. [3]

3.13 **Reynoldsovo číslo- typ proudění média v rozvodech**

Proudění vzduchu potrubím je definováno Reynoldsovým číslem. Definujeme si 3 hodnoty, kdy dochází k jednotlivým typům proudění média. Kritickou hodnotou Reynoldsova čísla je hodnota Re= 2320. Pokud nám hodnota Re vyjde z výpočtu pod kritickou hodnotou, jedná se o proudění laminární. Pokud se hodnota Re nachází v rozmezí Re= 2320 – 4000, jedná se o proudění přechodné. Vyšší hodnoty Re znamenají proudění turbulentní. Výpočet Re pro kruhový průřez zohledňuje střední rychlost plynu, kinematickou viskozitu a vnitřní průměr trubky. Při laminárním proudění nedochází k vírům, má menší hodnotu tlakového spádu a téměř nedochází k přenosu tepla. U turbulentního proudění dochází k nárůstu hodnot tlakového spádu a skvělému přenosu tepla. [19, 3]

Vzorec pro výpočet Reynoldsova čísla

$$Re = \frac{w_s \cdot d_v}{\nu} \qquad [-] \qquad (3.13. – 1.); [3]$$

Re → Reynoldsovo číslo

w_s → střední rychlost plynu [m/s]

d_v → vnitřní průměr trubky [m]

ν → kinematická viskozita [m^2/s]

3.14 **Přímé a okruhové vedení rozvodu**

Rozvody mohou být po pracovní hale vedeny přímo nebo okruhově. Při návrhu rozvodu stlačeného vzduchu záleží na délce potrubí, odbočkách potrubí, velikosti pracovní haly a počtu odběrných míst.

3.14.1 **Přímé vedení rozvodu**

Používá se zpravidla u menších pracovních hal a objektů s nižším počtem pracovních nástrojů. Přímé vedení je obvykle tvořeno jednou hlavní páteřní větví s odbočkami

k pracovním strojům. Náklady na rozvod přímým vedením jsou poměrně nízké. Stlačený vzduch je přiváděn k pracovnímu prvku pouze jedním směrem.[16]

3.14.2 **Okruhové vedení rozvodu**

Využíváme tam, kde je možná dimenzovat okruhové vedení z hlediska architektury haly a kde je potřeba stálého tlaku v odběrných místech. Pro rozvody stlačeného vzduchu je výhodnější instalace okruhového vedení. Stlačený vzduch je přiváděn k pracovnímu prvku a odbočce z obou stran. Vedení má několik páteřních smyček, které můžeme propojovat podle potřeby mezi sebou. Můžeme ho tak použít pro složité pracovní haly. U okruhového vedení je možné pro opravy a údržbu jednotlivé okruhy uzavírat. Nemusíme tím zastavit celou výrobu jako u vedení přímého. Pořizovací náklady jsou vyšší, ale je možné vést stlačený vzduch potrubím o menším průměru. [16]

3.15 **Průměr rozvodných trubek a spojovacích prvků**

Při dimenzování rozvodů stlačeného vzduchu musíme vypočítat vnitřní průměr potrubí. Při špatném výpočtu průměru může docházet k vysoké tlakové ztrátě a tím vyšší spotřebě energie. Při vysoké tlakové ztrátě a malém průměru potrubí musíme zvýšit výkonnost kompresoru, aby byly pokryty veškeré ztráty v potrubní síti. K výpočtu průměru musíme znát délku celkového rozvodu, počet armatur, provozní tlak, průtok a požadovanou tlakovou ztrátu. Hodnota tlakové ztráty by v rozvodné síti měla mít co nejnižší hodnotu. Pokles tlaku by měl být v celé síti stejný. Tlaková ztráta by podle směrnic neměla překročit hodnotu 0,2 baru ($20 \cdot 10^3$ Pa). U různých pracovních činností se může rozsah tlakové ztráty měnit. U některých provozů není možné zvětšovat průměr potrubí a tím musím počítat s větším poklesem tlaku. [3, 21]

Hodnotu průměru můžeme zjišťovat několika způsoby. Dnes nejpoužívanější metodou jsou počítačové výpočetní metody. Pomocí online kalkulačky vypočítáme ze zadaných hodnot potřebný průměr. K dimenzování je také možné použít vzorce nebo tabulky. [3]

Vzorec pro výpočet průměru potrubí

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot c}} \qquad [m] \qquad (3.15. – 1.); [10]$$

$\dot{V}$ → objemový průtok stlačeného vzduchu [m^3/s]

c → rychlost proudění [m/s]

Vzorec pro výpočet průměru pro hladké trubky – odvození z Weisbachova vzorce pro tlakovou ztrátu

$$d = \sqrt[5]{\frac{1{,}6 \cdot 10^3 \cdot \dot{V}_0 \cdot L}{\Delta p \cdot p}} \qquad [m] \qquad (3.15. – 2.); [3]$$

p → pracovní tlak [Pa]

d → průměr [m]

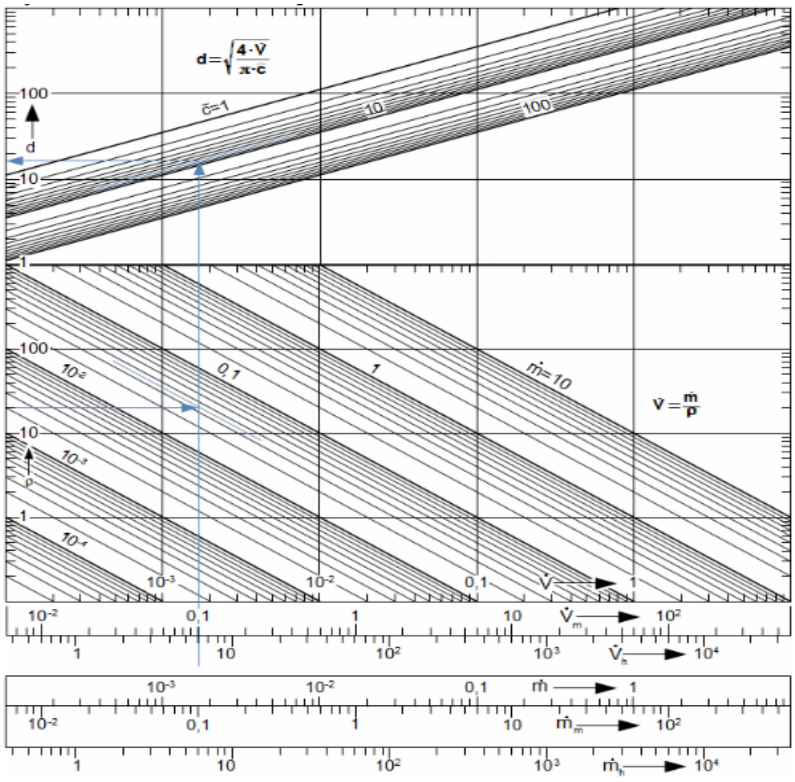
Δp → tlaková ztráta [Pa]

L → délka potrubí [m]

$\dot{V}_0$ → objemový průtok nestlačeného plynu [m^3/s]

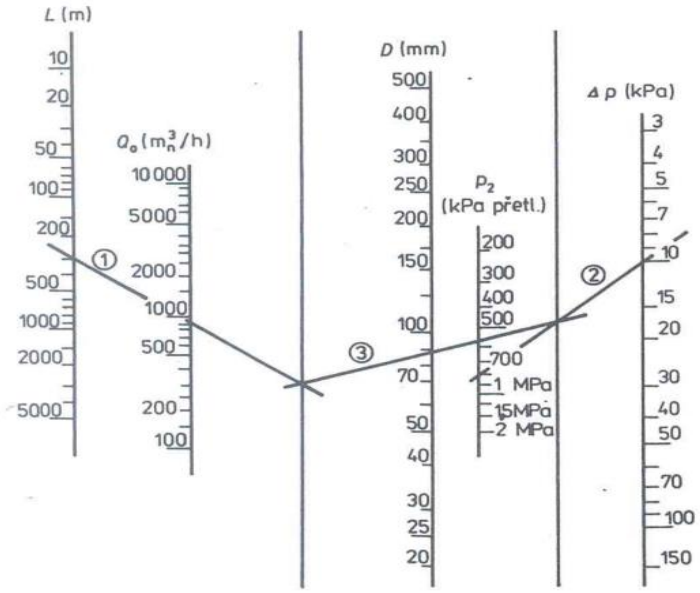
Další metodou dříve velmi využívanou je odečtení z nomogramu pro výpočet průměru potrubí.

Obrázek 4- Nomogram pro výpočet průměru potrubí



Zdroj: [10]

Obrázek 5- Nomogram pro výpočet průměru potrubí



Zdroj: [3]

Z nomogramu na obrázku 5 můžeme z hodnot délky potrubí, průtoku nestlačeného vzduchu, poklesu tlaku a přetlaku proudícího vzduchu odečíst hodnotu průměru potrubí. Nejdříve spojíme hodnotu délky L a průtoku nestlačeného vzduchu (čára 1), která nám v jednom bodě protne střednici 1. Dále spojením bodů přetlaku proudícího vzduchu a tlakového poklesu dostaneme bod na střednici 2. Spojením bodů na střednicích dostáváme přímku 3, která nám protne stupnici průměru. V tomto bodě odečteme hodnotu průměru pro požadované hodnoty. [3]

Důležité je při navrhování průměru rozvodu počítat i s armaturami. Tlakové ztráty u armatur můžeme pomocí tabulek s náhradní délkou vedení připočítat k celkové délce rozvodu. Pro odečtení ztrát můžeme využít i grafy. [16]

3.16 Obecný postup při návrhu rozvodu stlačeného vzduchu v pracovních halách

Pro výpočty a návrh rozvodu musíme nejdříve zjistit rozměry pracovní haly. Vytvoříme si architekturu celého provozu a rozhodneme, v jakém místě bude umístěna kompresorové stanice, pracovní prvky na stlačený vzduch a případné konstrukce, které by mohly ovlivnit vedení rozvodu stlačeného vzduchu. Podle celkové architektury, počtu odběrných míst a jejich spotřeby si zvolíme vedení rozvodu. Vedení může být přímé nebo okruhové. Vedení následně zakreslíme do plánku a rozhodneme, který pracovní prvek bude

mít největší spotřebu stlačeného vzduchu. V dalším kroku je potřeba rozhodnout, jakou třídu kvality stlačeného vzduchu budeme v provozu potřebovat. To určuje požadavek technologa. Třídy kvality posuzujeme podle normy ČSN ISO 8573-1. Následuje volba typu materiálu pro rozvody a tvarovky. Zde je vždy důležité posoudit vlastnosti daného materiálu. Pro vysoké třídy kvality stlačeného vzduchu použijeme rozvody hliníkové popřípadě plastové. U provozů, kde není třída kvality prioritou, můžeme zvolit rozvody kovové. Po zakreslení vedení do plánku můžeme spočítat celkovou délku rozvodu. Kromě délky potrubí je potřeba ještě zjistit místní ztráty tvarovek, průtok stlačeného vzduchu potrubím a tlak stlačeného vzduchu. V návrhu kompresorové stanice musíme zohlednit potřebnou kvalitu stlačeného vzduchu a dostatečný objemový průtok potrubím. Pomocí tabulek pro místní ztráty tvarovek a spojovacích armatur vypočítáme náhradní délku vedení, která se následně připočítá k celkové délce vedení rozvodu. Pro výpočet průměru potrubí můžeme využít online kalkulačky, speciální grafy a tabulky. Při návrhu rozvodu musíme počítat s tlakovým spádem. Snažíme se zajistit, aby hodnota tlakového poklesu bylo co nejnižší. [16]

4 Vlastní práce

4.1 Návrh rozvodu v pracovní hale

Pro návrh rozvodu jsem si vybrala halu, která bude procházet celkovou rekonstrukcí rozvodů stlačeného vzduchu. Jedná se o jednu pracovní halu z firmy Okula Nýrsko, která má rozměry 40x85x5 m. Nejdříve si načrtneme předběžný rozvod vzduchu i s odběrnými místy do plánku haly. Vedení rozvodů bude okruhové, jelikož bude na hale více odběrných míst, které je potřeba propojit větvemi stlačeného vzduchu. V hale se budou vyrábět plastové součástky pomocí pneumatických lisů. V první řadě musíme zjistit, který pracovní prvek bude mít největší odběr. Pracovními prvky budou pneumatické lisy, lakovací roboty a pneumatické nářadí. Lis má průměrnou spotřebu stlačeného vzduchu 450 l/min při požadovaném pracovním tlaku 6 bar ($6 \cdot 10^5$ Pa), lakovací robot 1200 l/min při požadovaném pracovním tlaku 6,3 bar ($6{,}3 \cdot 10^5$ Pa). Největším odběrným místem podle spotřeby stlačeného vzduchu budou lakovací roboty. Jelikož se jedná o provoz s lakovacími nástroji, musíme při návrhu počítat s nejvyšší třídou kvality stlačeného vzduchu - 1 pro pevné částice, 4 pro vlhkost a 1 pro olejové částice. V rozvodu musí být dostatečné množství stlačeného vzduchu pro všechny pracovní prvky. V pracovní hale budou 3 lakovací roboty s průměrnou spotřebou stlačeného vzduchu 3x 1200 l/min a 5 lisů s průměrnou spotřebou stlačeného vzduchu 5x 450 l/min. Při návrhu musíme připočítat k průměrné spotřebě i ztráty a odběr stlačeného vzduchu přídavným pneumatickým nářadím. Předpokládané pneumatické nářadí na pracovních pozicích je ofukovací pistole nebo stříkací pistole. Pro výpočet budeme počítat se zapojením stříkací pistole, jelikož má vyšší spotřebu stlačeného vzduchu. Před každým pracovištěm musí být umístěn regulátor tlaku, na kterém nastavujeme tlak určený výrobcem pro použití pneumatického nářadí. Například stříkací pistole AT s tryskou o průměru 1,5 mm od firmy Inaircom má pracovní tlak 3 bary ($3 \cdot 10^5$ Pa). Pracovní tlak nastavíme přímo na regulátoru tlaku. Ofukovací a stříkací nářadí má průměrnou spotřebu 300 l/min.

4.1.1 Výpočet spotřeby stlačeného vzduchu

Spotřebu stlačeného vzduchu můžeme stanovit pomocí metod přibližných nebo exaktních. Exaktní metoda je nejpřesnější, analyzuje využití pneumatických strojů v provozu při směnách. Vzhledem k rekonstrukci výrobní haly není možné zjistit vytíženost strojů, použijeme tedy pro výpočet metod přibližných- metoda provozních součinitelů. [3]

Tabulka 1- Výpočet spotřeby-volba součinitelů

Výpočet spotřeby- volba součinitelů			
pneumatický stroj	součinitel využití kv	součinitel současnosti ks	součinitel opotřebení kt
lakovací robot	0,9	0,75	1,5
lis	0,75	0,55	1,5
ofukovací pistole	0,2	0,45	1,1
stříkací pistole	0,7	0,8	1,1

Zdroj: [20]

Celková spotřeba stlačeného vzduchu

$$Q_0 = \Sigma(Q_{0i} \cdot k_{vi} \cdot k_{si} \cdot k_{ti}) \cdot k_z \qquad 4.\,1. – 1.;\ [3]$$

Q_0 → celková spotřeba stroje [m^3/hod]

Q_{0i}→ spotřeba stroje [m^3/hod]

k_{vi} → součinitel využití

k_{si} → součinitel současnosti

k_{ti} → součinitel opotřebení

k_z → součinitel ztrát netěsnostmi

spotřeba lakovacího robota: $Q_0 = 72 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}75 \cdot 1{,}5 = 72{,}9$ m^3/hod

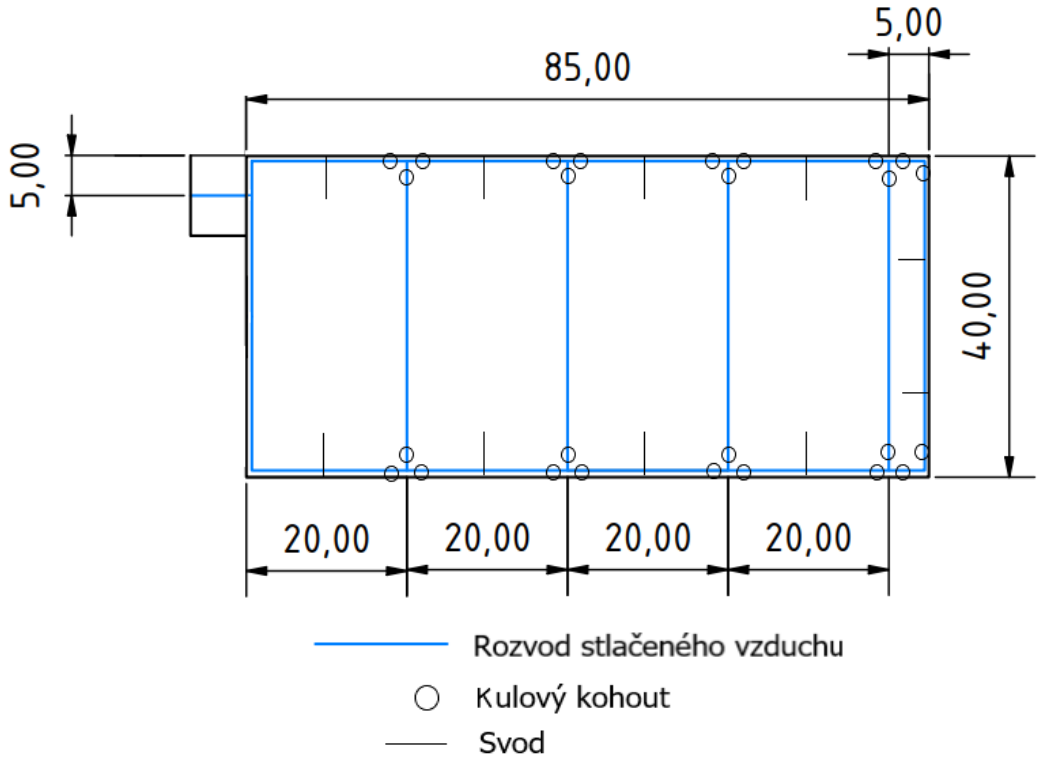
spotřeba pneumatického lisu: $Q_0 = 27 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}55 \cdot 1{,}5 = 16{,}7$ m^3/hod

spotřeba ofukovací/ stříkací pistole: $Q_0 = 18 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}1 = 11{,}1$ m^3/hod

Celková spotřeba: $(3 \cdot 72{,}9) + (5 \cdot 16{,}7) + (10 \cdot 11{,}1) = 413{,}2$ m^3/hod

Celková spotřeba se součinitelem ztrát k_z: $413{,}2 \cdot 1{,}2 = 496$ m^3/hod

Obrázek 6- Náčrt pracovní haly s rozvody stlačeného vzduchu



Zdroj: autor

4.1.2 **Návrh kompresorové stanice**

Do kompresorové stanice bude umístěn kompresor a vzdušník, které nám pokryjí celkovou spotřebu stlačeného vzduchu. Celková spotřeba pracovních prvků je 496 m^3/hod (8267 l/min). Je vhodné počítat s rezervou alespoň 20 %, pokud by došlo k připojení přídavného pneumatického nářadí. Pro pneumatické zařízení jsou vyčleněna v pracovní hale 2 pracoviště. Nářadí lze připojit v případě potřeby i k jinému pracovišti. Jelikož nemůžeme zjistit, kdy bude potřeba připojit nářadí k rozvodu, zajistíme si dostatečnou rezervu vzduchu. Na hale bude celkem 10 svodů, na které je možné připojit přídavné pneumatické nářadí. Podle minimálního pracovního tlaku a spotřeby stlačeného vzduchu zvolíme vhodný typ kompresoru pro daný provoz. Minimální pracovní tlak je 6 bar ($6 \cdot 10^5$ Pa) a celková spotřeba stlačeného vzduchu i s rezervou je 9920 l/min. Štítkové hodnoty kompresoru vždy volíme nejbližší vyšší hodnotě vypočítané. Vhodným typem bude stacionární šroubový kompresor PS-M 55-08 firmy Inaircom.

Obrázek 7- Výběr kompresoru z katalogu firmy Inaircom

Obj. číslo	Název / Typ	Příkon motoru (kW)	Napětí (V)	Max. tlak (bar)	Objemový proud (l/min.)	Připojení (G)	Hlučnost (dB(A))	Rozměry Š x H x V (mm)	Hmotnost (kg)
PS-M 45–90 kW základní kompresory klasicky řízené									
S71450822	PS-M 45-08	45	400	7,5	8200	2"	72	1730 x 1270 x 1700	1251
S71451022	PS-M 45-10	45	400	10	6700	2"	72	1730 x 1270 x 1700	1194
S71550822	PS-M 55-08	55	400	7,5	10100	2"	72	1730 x 1270 x 1700	1251
S71551022	PS-M 55-10	55	400	10	8300	2"	72	1730 x 1270 x 1700	1251
S71551322	PS-M 55-13	55	400	13	6500	2"	72	1730 x 1270 x 1700	1251
S71760822	PS-M 76-08	75	400	7,5	13500	2"	67	2330 x 1460 x 1980	2795
S71761022	PS-M 76-10	75	400	10	11700	2"	67	2330 x 1460 x 1980	2795
S71761322	PS-M 76-13	75	400	13	9700	2"	67	2330 x 1460 x 1980	2795

Zdroj: [23]

Do kompresorové stanice bude nutné umístit i zařízení na úpravu stlačeného vzduchu, jelikož se jedná o provoz s nárokem na vysokou třídu kvality podle ČSN ISO 8573-1. Sestava kompresorové stanice bude kompresor- vzdušník- předfiltr- kondenzační sušička- mikrofiltr. Všechny komponenty budou brány z katalogu firmy Inaircom. Typ kompresoru již máme daný, jedná se o stacionární šroubový kompresor PS-M 55-08. Typ vzdušníku volíme podle objemového proudu kompresoru. Vždy se volí vzdušník o velikosti objemu 1/3 velikosti objemového proudu. Pro dané podmínky vyhovuje vzdušník stojatý 3000 litrů s pracovním tlakem 11 bar ($11 \cdot 10^5$ Pa). U předfiltru a mikrofiltru musíme volit vhodný typ i s ohledem na připojení šroubení. U některých typů by mohlo docházet ke škrcení průtoku vzduchu. Vhodným typem na vnitřní průměr potrubí 63 mm je předfiltr 3 μm a mikrofiltr 0,01 μm o objemovém průtoku 14800 l/min. Filtry s nižším průtokem by odpovídaly vnitřnímu průměru potrubí 50 mm. Cenová dostupnost filtrů je stejná, ale vhodnou volbou snížíme riziko vysokého tlakového spádu. Pro odstranění vlhkosti ze systému je potřeba zvolit vhodný typ kondenzační sušičky s časovým odvaděčem kondenzátu. K zvolenému kompresoru s objemovým proudem 10100 l/min volíme jako vhodný typ kondenzační sušičku KS 11000 s objemovým proudem 11000 l/min. Tato sušička vyhovuje i velikostí připojení šroubení a nedochází tak ke škrcení průtoku a nárůstu talkových ztrát. Kondenzát je dále sveden do separátorů olej- voda. Velikost separátorů určujeme podle výkonu kompresoru. Pro zvolený šroubový kompresor volíme separátor SEPAIR 20 pro kompresory s průtokem do 20000 l/min. Každý filtrační prvek v systému znamená tlakovou ztrátu. Vzhledem k pořízení nových strojů jsou tlakové ztráty minimální. Hodnota tlakového poklesu v kompresorové stanici a potrubí by neměla přesáhnout 7% z celkového tlaku. [3]

4.1.3 **Návrh rozvodů stlačeného vzduchu**

4.1.3.1 Volba materiálu potrubí

Volba typu materiálu závisí nejen na požadované třídě kvality, ale také celkové ceně rozvodu a armatur. Pro zvolený provoz můžeme využít potrubí plastového, nerezového, hliníkového a měděného. Hliníkové potrubí je v současné době jedním z nejvyužívanějších potrubí v průmyslových provozech. Má vysokou odolnost proti vzniku koroze. Je lehký, dobře se s ním manipuluje, má hladký vnitřní povrch a nízkou hodnotu tlakového spádu. Jeho pořizovací cena se pohybuje okolo 200 Kč za 1 m při vnějším průměru 25 mm.[22] Pro zvolený provoz bude nejvhodnějším řešením pro typ rozvodů. Rozvod je cenově dostupný a odpovídá dané třídě kvality stlačeného vzduchu.

4.1.3.2 Délka potrubí pro výpočet dimenze

Pro zjištění celkové délky potrubí musíme znát rozměry pracovní haly a plán vedení potrubí pracovní halou. Z rozměrů pracovní haly a kompresorovny spočítáme délku rozvodu na 250 m. Vzhledem k okruhovému vedení potrubí budeme dále počítat jen s poloviční délkou. Tím můžeme použít potrubí o menším průměru.

Výpočet délky páteřního potrubí po pracovní hale

Délku potrubí vypočítáme jako součet šířky a délky pracovní haly.

$$85 + 40 = 125 \text{ m} \qquad (4.1.2.2. – 1.)$$

Výpočet větví z plánku rozvodu

Svody jsou vedeny do 1 m od země. Délku vypočítáme jako rozdíl celkové výšky haly a výšky ukončovací krabice od země.

$$10 \cdot (5 - 1) = 40 \text{ m} \qquad (4.1.2.2. – 2.)$$

4.1.3.3 Dimenzování rozvodu bez náhradní délky

V tabulce na obrázku 8 vyhledáme vhodnou dimenzi rozvodu podle daného průtoku média a délky rozvodu bez náhradní délky.

Obrázek 8-Volba dimenze pro okruhový rozvod

průtok (l/min)	průtok (m^3/h)	25 m	50 m	100 m	150 m	200 m	300 m	400 m
250	15	18	18	20	20	22	25	25
660	40	18	20	22	22	25	25	28
900	54	20	22	22	25	25	28	32
1200	72	22	22	25	28	28	32	40
1800	108	22	25	28	32	32	40	40
2000	120	25	25	32	40	40	40	40
2500	150	25	28	32	40	40	40	40
3000	180	28	32	40	40	40	50	50
3500	210	32	32	40	40	40	50	50
4500	270	32	40	40	40	50	50	50
6000	360	40	40	50	50	50	50	63
7000	420	40	40	50	50	50	63	63
8500	510	40	50	50	50	63	63	63
12000	720	50	50	63	63	63	80	80
15000	900	50	50	63	63	80	80	80
18000	1080	50	63	63	80	80	80	80
21000	1260	50	63	63	80	80	80	110

Zdroj: [23]

Vhodnou dimenzí pro daný okruhový rozvod je 63 mm.

4.1.3.4 Náhradní délka

Náhradní délka se připočítává k délce celkové. Kolena, T-kusy a jiné armatury způsobují tlakovou ztrátu. Pomocí tabulek zjistíme náhradní délku za každý prvek v rozvodu. Do tabulky je potřeba znát světlost potrubí, které v rozvodu použijeme. V rozvodu budou do nejvzdálenějšího bodu 2 kolena, 11 T- kusů a 14 kulových kohoutů. Počet tvarovek je dán konstrukcí rozvodu a architekturou provozovny. V pracovní hale se nenachází sloupy ani jiné konstrukce, které by bylo potřeba rozvodem obejít.

Obrázek 9- Korekce rozvodu

Armatura	D 20	D 25	D 32	D 40	D 50	D 63	D 80
T-kus	1,4	1,8	2,2	2,5	3	4	5
Koleno	1,2	1,4	1,7	2	2,5	3,5	4
Redukce	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	1	1,5
Kulový kohot	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8

Zdroj: [23]

Z tabulky zjistíme náhradní délky za použité tvarovky při daném průměru. Po odečtení hodnot z tabulky připočítáme náhradní délku k délce celkové a znovu odečteme hodnoty z tabulky pro délku okruhového páteřního rozvodu. Z tabulky zjistíme dimenzi potrubí, která bude vyhovovat požadavkům pro provoz.

Výpočet náhradní délky

Z tabulky na obrázku 5 odečteme hodnoty náhradní délky za danou armaturu pro dimenzi hlavního rozvodu- 63 mm.

11 T-kusů:	$11 \cdot 4 = 44$ m	(4.1.2.4. – 1.)
2 Kolena:	$2 \cdot 3{,}5 = 7$ m	(4.1.2.4. – 2.)
14 Kulových kohoutů:	$14 \cdot 0{,}7 = 9{,}8$ m	(4.1.2.4. – 3.)

Náhradní délku za armatury v rozvodu vypočítáme jako součet náhradních délek T-kusů, kolen a kulových kohoutů.

$$44 + 7 + 9{,}8 = 60{,}8 \text{ m} \qquad (4.1.2.4. – 4.)$$

4.1.3.5 Délka páteřního rozvodu s náhradní délkou- volba dimenze

Součet délky potrubí a náhradní délky.

$$125 + 60{,}8 = 185{,}8 \text{ m} \qquad (4.1.2.5. – 1.)$$

Podle tabulky na Obrázku 8 vyhovuje provozu dimenze 63 mm.

4.1.3.6 Tlaková ztráta v páteřním rozvodu

Každý prvek na čištění stlačeného vzduchu způsobuje ztrátu. Zanešené prvky mohou způsobit velké ztráty a je potřeba je pravidelné měnit nebo čistit. Do pracovní haly jsou všechny prvky pořízeny nové. U nových zařízení zjišťujeme ztráty v technických listech, nebo měřením. V kompresorové stanici bude podle technických listů ztráta minimální, proto nebude do dalších výpočtů zahrnuta.

Pro výpočet tlakové ztráty v potrubí použijeme online kalkulačku.[24] Výpočet je pouze orientační a počítá s ideálními podmínkami soustavy a okolí.

Obrázek 10- Výpočet tlakové ztráty v potrubí

d vnitřní průměr potrubí (hadice)	63	**mm**
L délka potrubí (hadice)	185,8	**m**
Q průtok vzduchu (ANR)	10100	**l/min**
p_1 vstupní tlak vzduchu	7,5	**bar**
Δp tlaková ztráta	**0,14**	**bar**
p_2 **tlak na výstupu**	**7,36**	**bar**

Zdroj: [24]

Tlaková ztráta v rozvodu stlačeného vzduchu vyšla 0,14 bar ($14 \cdot 10^3$ Pa). Dimenze rozvodu stlačeného vzduchu je zvolena správně, jelikož tlaková ztráta má být menší než 0,2 bar ($20 \cdot 10^3$ Pa).

4.1.4 **Svody**

Ke každému pracovnímu prvku, který využívá stlačeného vzduchu, je potřeba z páteřního rozvodu dodat požadovaný objemový průtok. U lisu je průměrná spotřeba 450 l/ min. Podle tabulky pro přímý rozvod nám na tento svod vychází hliníková trubka o průměru 18 mm. Lakovací robot má průměrnou spotřebu 1200 l/ min. Podle tabulky pro přímý rozvod vychází průměr hliníkové trubky na 22 mm.

Obrázek 11- Volba dimenze pro přímý rozvod- svod

průtok (l/min)	průtok (m^3/h)	25 m	50 m
250	15	18	18
660	40	18	20
900	54	20	22
1200	72	22	22
1800	108	22	25
2000	120	25	25
2500	150	25	28
3000	180	28	32
3500	210	32	32
4500	270	32	40
6000	360	40	40

Zdroj: [23]

Pro jednotvárnost rozvodu zvolíme průměr potrubí 25 mm a redukované T-kusy o rozměrech 63x25x63 mm. Svody pro pneumatické nářadí v přípravně materiálu k lakování povedeme v potrubí o průměru 25 mm. Všechny svody budou vedeny do 1m výšky od země. Konec každého svodu je opatřen ukončovací krabicí s kulovým kohoutem a rychlospojkou. Ukončovací krabice má 3 vývody. Jeden z vývodů bude osazen regulátorem a dvojitou vsuvkou pro připojení pneumatického nářadí. Zbylé dva vývody budou sloužit pro přímé připojení pracovních nástrojů bez regulace.

4.1.5 **Cenový návrh pro danou halu**

Všechny ceny použité ve výpočtech jsou z katalogu a cenových nabídek firmy Inaircom [23].

Složení kompresorovny

Tabulka 2-Rozpis cen za kompresorovou stanici

Typ zařízení	Objednací číslo	Cena bez DPH	Cena s DPH
Šroubový kompresor PS-M 55-08	S71550822	658382	796 642 Kč
Vzdušník stojatý 3000/11 včetně armatur	S95311114	126985	153 652 Kč
Kondenzační sušička KS-T 11000	U11110022	127547	154 332 Kč
Předfiltr FP 3 µm 2"-14800	U66148014	15512	18 770 Kč
Mikrofiltr FM 0,01 µm 2" -14800	U64148014	15512	18 770 Kč
Elektronický odvaděč kondenzátu 15000	U76015014	8760	10 600 Kč
Separátor kondenzátu SEPAIR 20	U71200016	30056	36 368 Kč
Celková cena za kompresorovou stanici			1 189 132 Kč

Zdroj: autor

Cena rozvodně sítě- potrubí a svody

Na rozvod stlačeného vzduchu potřebujeme 417 m potrubí o dimenzi 63 mm a 40 m potrubí o dimenzi 25 mm. Trubky se prodávají v délce 1,5 m.

$$\frac{417}{1{,}5} = 278 \text{ ks} \qquad (4.1.4. – 1.)$$

$$\frac{40}{1{,}5} = 27 \text{ ks} \qquad (4.1.4. – 2.)$$

Tabulka 3- Rozpis cen za rozvody a armatury

Rozvod stlačeného média	Objednací číslo	Cena bez DPH	Cena s DPH
Al trubka d=63 mm; 1,5 m	R12006314	640 Kč	774 Kč
Al trubka d=25mm; 1,5 m	R12002014	155 Kč	188 Kč
Koleno 63x63	R21006314	1 490 Kč	1 803 Kč
T-kus 63x25x63	R31206314	2 267 Kč	2 743 Kč
Ukončovací krabice s kulovým kohoutem a rychlospojkou	R62206316	1 172 Kč	1 418 Kč
Dvojitá vsuvka G1/2"a x G1/2"a	R74141214	66 Kč	80 Kč
Regulátor FRL-P	R63001220	1 427 Kč	1 727 Kč
T-kus 2"i	R71102014	928 Kč	1 123 Kč
Kulový kouhout- páka 2" i-a	R77232014	1 750 Kč	2 118 Kč
Připojovací šroubení 63 x 2"a	R41106314	736 Kč	891 Kč
T-kus 63x63x63	R31006314	2 185 Kč	2 644 Kč

Zdroj: autor

Na rozvod bude potřeba 278 ks trubek o průměru 63 mm.

$$278 \cdot 774 = 215\,172 \text{ Kč} \qquad (4.1.4. – 3.)$$

Cena za armatury použité v rozvodu

$$4 \cdot 1803 = 7212 \text{ Kč} \qquad \text{Kolena} \qquad (4.1.4. – 4.)$$

$10 \cdot 2743 = 27\,430$ Kč	T- kusy (63x25x63)	(4.1.4. – 5.)
$8 \cdot 1123 = 8\,984$ Kč	T-kusy 2“i	(4.1.4. – 6.)
$1 \cdot 2644 = 2\,644$ Kč	T-kus (63x63x63)	(4.1.4. – 7.)
$26 \cdot 2118 = 55\,068$ Kč	Kulový kohout	(4.1.4. – 8.)
$26 \cdot 891 = 23\,166$ Kč	Připojovací šroubení	(4.1.4. – 9.)

Cena za svody

Na svody bude potřeba potrubí o délce 4 m. Celkem bude potřeba 27 ks trubek o průměru 25 mm.

$27 \cdot 188 = 5\,076$ Kč	d= 25 mm	(4.1.4. – 10.)
$10 \cdot 1727 = 17\,270\ K$č	regulátory	(4.1.4. – 11.)
$10 \cdot 1418 = 14\,180\ K$č	ukončovací krabice	(4.1.4. – 12.)
$10 \cdot 80 = 800\ K$č	dvojité vsuvky	(4.1.4. – 13.)

Celková cena (počítáno s cenami s DPH)

Celková cena je dána součtem cen za kompresorovou stanici, rozvodnou síť, armatury a svody.

$$1\,189\,132 + 215\,172 + 7\,212 + 27\,430 + 8\,984 + 2\,644 + 55\,068 + 23\,166 + 5\,076 + 17\,270 + 14\,180 + 800 = 1\,566\,134 \text{ Kč} \qquad (4.1.4. – 14.)$$

4.2 Akustická pohoda v pracovní hale

Akustickou pohodou pracovníků se rozumí dodržení hodnot zvukové zátěže. Maximální míru zvukové zátěže upravuje nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

Hluk je každý škodlivý zvuk, který může vydávat jakýkoliv pracovní nástroj, okolní prostředí či člověk. Před nadměrnými škodlivými zvuky je potřeba zajistit ochranu

pracovníků podle zákona 258/2000 Sb. V pracovních provozech je nutné rozdělovat hluk do dvou kategorií. První kategorií je hluk, který vzniká vlivem činnosti pracovního prvku. Druhou kategorií je hluk, který je zapsán jako štítková hodnota daného prvku a je posuzován zkouškami při daných parametrech. Dále je potřeba zjistit o jaký provoz se jedná a jakou povolenou hodnotu zvukové zátěže je potřeba dodržovat. V případě tvořivé pracovní činnosti, kde je potřeba vysoké soustředěnosti pracovníka, je dána hladina akustického tlaku do 50 dB. Pro stavby, kde hluk nevzniká vlivem pracovní činnosti, ale vytápěním či odvětráváním stavby, je dána jeho hodnota do 70 dB. V pracovních provozech je limitní hodnota akustického tlaku 85 dB. [25]

Měření hladiny akustického tlaku probíhalo v pracovní hale Okuly Nýrsko. V pracovní hale se stejně jako v navrhovaném provozu vyrábějí plastové součástky. Hala má rozměry 120x42x7 m. Pracovní prostor je od kompresorovny oddělen. Měření probíhalo v celé kompresorovně u jednotlivých zařízení a v pracovní hale u lisů a lakovacích robotů. Rozvod stlačeného vzduchu se nachází ve výšce 4 m. V přímém potrubí rozvodu a v kolenech se nachází aerodynamický hluk. Aerodynamický hluk je potrubím přenášen na vzdálenost celého rozvodu. U přímého potrubí i u kolen dochází k hlukovému útlumu. Vzhledem k nepřetržitému provozu pracovní haly nebylo možné zajistit měření samotného rozvodu stlačeného vzduchu.

Měření hluku v kompresorovně a v pracovní hale probíhalo u jednotlivých zařízení hlukoměrem Voltcraft SL 400 zapůjčeným Technickou fakultou ČZU v Praze. V kompresorové stanici se nachází 2 kompresory, vzdušník, kondenzační a adsorpční sušička. Hlukoměr byl u každého zdroje hluku umístěn mikrofonem přímo ve vzdálenosti cca 1- 1,5 m. V pracovní hale se nachází 5 lisů, 1 lakovna, 1 přípravna a sklad dílů. Na sklad navazují kanceláře, sociální zařízení a kuchyňka. V průběhu měření byl v provozu 1 lakovací robot, 5 lisů a ofukovací pistole v přípravně. Hlukoměr Voltcraft SL 400 má rozsah měření 30- 130 dB A/C s přesností 1,4 dB (1 kHz). Přístroj je vybaven filtry A/C. Měření probíhalo za použití filtru A, který hlukoměru filtruje jen zvuky v oblasti slyšitelnosti- zvuky, které dokážeme sluchem vnímat. Frekvenční rozsah u sluchu je přibližně 16 Hz- 20 kHz. Jednotka dBA je jednotka naměřená hlukoměrem, u kterého byl použit filtr A.

4.2.1 **Měření akustického tlaku hlukoměrem Voltcraft SL 400**

Tabulka 4- Měření hluku u šroubového kompresoru INAIRCOM 55kW

Šroubový kompresor INAIRCOM 55 kW, PS-B 5510					
Stav kompresoru	**Číslo měření**	**Hodnota na hlukoměru**		**Průměr**	**Směrodatná odchylka**
vypnuto	1	80	dBA	80 dBA	0,9
	2	79,8	dBA		
	3	81,2	dBA		
	4	79,6	dBA		
	5	82	dBA		
	6	80,1	dBA		
rozběh kompresoru	1	83,5	dBA	85 dBA	0,8
	2	84,2	dBA		
	3	84,6	dBA		
	4	84,3	dBA		
	5	86	dBA		
	6	85,4	dBA		
Zatížený kompresor	1	82,5	dBA	83 dBA	0,3
	2	83,3	dBA		
	3	82,5	dBA		
	4	82,7	dBA		
	5	83	dBA		
	6	82,8	dBA		
doběh kompresoru + ventilátor	1	85,9	dBA	85 dBA	0,5
	2	84,8	dBA		
	3	85,1	dBA		
	4	85	dBA		
	5	84,6	dBA		
	6	84,2	dBA		

Zdroj: autor

Tabulka 5- Měření hluku u kondenzační sučišky KS11000- INAIRCOM

Kondenzační sušička KS 11000					
Stav	**Číslo měření**	**Hodnota na hlukoměru**		**Průměr**	**Směrodatná odchylka**
Klid	1	86,1	dBA	85 dBA	1,4
	2	85,9	dBA		
	3	85,5	dBA		
	4	86,4	dBA		
	5	86,8	dBA		
	6	81,9	dBA		
	7	83,9	dBA		
	8	84,3	dBA		
	9	85,2	dBA		
	10	85,6	dBA		

Zdroj: autor

Tabulka 6- Měření hluku u šroubového kompresoru ATLAS GA-75-10

Šroubový kompresor Atlas GA-75-10					
Stav kompresoru	**Číslo měření**	**Hodnota na hlukoměru**		**Průměr**	**Směrodatná odchylka**
vypnuto	1	80	dBA	80 dBA	0,4
	2	79,8	dBA		
	3	80,6	dBA		
	4	79,5	dBA		
	5	79,8	dBA		
	6	79,6	dBA		
rozběh kompresoru	1	83,1	dBA	84 dBA	0,7
	2	83,6	dBA		
	3	84,5	dBA		
	4	83,7	dBA		
	5	85,4	dBA		
	6	84,3	dBA		
Zatížený kompresor	1	84,9	dBA	85 dBA	0,2
	2	84,5	dBA		
	3	84,8	dBA		
	4	85,1	dBA		
	5	84,6	dBA		
	6	85	dBA		
doběh kompresoru + ventilátor	1	87	dBA	85 dBA	1,2
	2	84,3	dBA		
	3	85,1	dBA		
	4	84,3	dBA		
	5	83,6	dBA		
	6	83,4	dBA		

Zdroj: autor

Tabulka 7-Měření hluku u Adsorpční sušičky AS 16660 INAIRCOM

Adsorpční sušička AS 16 660					
Stav	**Číslo měření**	**Hodnota na hlukoměru**		**Průměr**	**Směrodatná odchylka**
Klid	1	82,2	dBA	85 dBA	3,0
	2	82,3	dBA		
	3	82,6	dBA		
	4	83,1	dBA		
	5	82,2	dBA		
Sepnutí + odpuštění	6	88,4	dBA		
	7	89,6	dBA		
	8	89,8	dBA		
	9	86,3	dBA		
	10	84,6	dBA		

Zdroj: autor

Tabulka 8-Měření hluku u východu z kompresorové stanice

Východ z kompresorovny					
Stav	**Číslo měření**	**Hodnota na hlukoměru**		**Průměr**	**Směrodatná odchylka**
Vypnutí 1. kompresoru	1	82,5	dBA	81 dBA	1,3
	2	82,9	dBA		
	3	82,4	dBA		
Všechny stroje v chodu	4	82,4	dBA		
	5	83	dBA		
	6	80,1	dBA		
	7	79,5	dBA		
	8	79,8	dBA		
	9	81	dBA		
	10	81,2	dBA		

Zdroj: autor

Tabulka 9- 1. a 2. měřící místo

1. měřící místo- vstup do haly					2. měřící místo- výstup z kompresorové stanice				
Číslo měření	**Hodnota na hlukoměru**		**Průměr**	**Směrodatná odchylka**	**Číslo měření**	**Hodnota na hlukoměru**		**Průměr**	**Směrodatná odchylka**
1	85,2	dBA	84 dBA	0,3	1	79,4	dBA	84 dBA	4,3
2	84,7	dBA			2	81,2	dBA		
3	84,6	dBA			3	84,5	dBA		
4	85	dBA			4	85,3	dBA		
5	84,1	dBA			5	85,9	dBA		
6	84,5	dBA			6	96,5	dBA		
7	85,1	dBA			7	87	dBA		
8	84,8	dBA			8	85,4	dBA		
9	85	dBA			9	84,3	dBA		
10	84,3	dBA			10	83	dBA		

Zdroj: autor

Tabulka 10- 3. a 4. měření

3. měřící místo- vstup do haly					4. měřící místo- sklad				
Číslo měření	Hodnota na hlukoměru		Průměr	Směrodatná odchylka	Číslo měření	Hodnota na hlukoměru		Průměr	Směrodatná odchylka
1	76,2	dBA	78 dBA	1,0	1	73,6	dBA	73 dBA	0,5
2	78	dBA			2	74,1	dBA		
3	79	dBA			3	72,1	dBA		
4	78,4	dBA			4	73,2	dBA		
5	79,2	dBA			5	73	dBA		
6	76,5	dBA			6	72,8	dBA		
7	77,2	dBA			7	72,8	dBA		
8	77	dBA			8	73,5	dBA		
9	76,4	dBA			9	72,6	dBA		
10	78,1	dBA			10	73	dBA		

Zdroj: autor

Tabulka 11- 5. a 6. měření

5. měřící místo- přípravna					6. měřící místo- lakovna				
Číslo měření	Hodnota na hlukoměru		Průměr	Směrodatná odchylka	Číslo měření	Hodnota na hlukoměru		Průměr	Směrodatná odchylka
1	75,7	dBA	75 dBA	0,7	1	76,1	dBA	80 dBA	2,8
2	75,3	dBA			2	76,5	dBA		
3	74,5	dBA			3	76,7	dBA		
4	74,1	dBA			4	77,2	dBA		
5	73,7	dBA			5	79,4	dBA		
6	73,2	dBA			6	80	dBA		
7	74,3	dBA			7	80,4	dBA		
8	74,8	dBA			8	81,3	dBA		
9	75,2	dBA			9	84,6	dBA		
10	74,6	dBA			10	83	dBA		

Zdroj: autor

5 Výsledky a diskuze

5.1 Návrh rozvodu

Volba typu materiálu závisí nejen na požadované třídě kvality, ale také celkové ceně rozvodu a armatur. Pro zvolený provoz můžeme využít potrubí z různých materiálů. Plastové potrubí je nejlevnějším řešením rozvodu, nepodléhá korozi, ale doporučuje se při vedení rozvodu o nízkém či středním tlaku. U plastového potrubí je velkým problémem bezpečnost pracovníků v hale. Vlivem působení rozdílů teplot, maziva a oleje dochází k prasklinám v potrubí a k následné degradaci. Pokud by bylo potřeba z finančních důvodů instalovat potrubí plastové, je nutné počítat s větším vnitřním průměrem potrubí. Nerezové potrubí je vyhovující pro rozvody nejvyšší třídy kvality. Používá se hlavně ve zdravotnictví a potravinářském průmyslu. Jeho pořizovací cena je poměrně vysoká. V katalogu firmy Inaircom se pohybuje okolo 420 Kč za 1 m při vnějším průměru 25 mm. Pro zvolený provoz by byl velkou investicí. [22] Měděné potrubí má oproti nerezu a plastu mnoho výhod, ale je cenově nedostupné. Pro zvolený provoz bude nejvhodnějším řešením pro typ rozvodů potrubí hliníkové. Hliníkové potrubí má hladký povrch, je levné a odolné. Kompresor a vzdušník mají dostatečnou rezervu pro zásobování pracovních prvků stlačeným vzduchem. V rámci finančních úspor by bylo možné použít rozvod o průměru 50 mm, nicméně docházelo by k velkému tlakovému spádu, který je nežádoucí. Na nejvzdálenějším místě od kompresorovny s největší spotřebou by mohlo docházet k poklesu pracovního tlaku a tím výpadku pracovního prvku. Hodnota poklesu by byla 0,44 bar. U hliníkového potrubí je maximální doporučená tlaková ztráta 0,2 bar (20 kPa). Dalším možným řešením je zařazení druhého vzdušníku v nejvzdálenějším bodu rozvodu od zdroje. Pořizovací náklady potrubí a vzdušníku jsou nižší, nicméně do nich není započítána pravidelná údržba vzdušníku, revize a školení obsluhy tlakových nádob.

5.2 Měření zvukové zátěže

Měření probíhalo v nově zrekonstruované hale, kde byla v roce 2019 kompresorová stanice oddělena od provozu. V průběhu měření nebyla překročena limitní hodnota 85dB. Poměrně vysoké hodnoty hlučností byly naměřeny u vchodu/východu do kompresorové stanice – 84 dB. V dnešní době jsou u velkých průmyslů kompresorovny odděleny od provozu nejen z důvodu vyšší hlučnosti zdrojů a zařízení na úpravu stlačeného vzduchu, ale také kvůli provozním podmínkám- nasávání čerstvého vzduchu (bez prachových částic), využitelnosti tepla na jednom místě, bezpečnosti zaměstnanců a údržby. Celá kompresorová stanice je oddělena od pracovního prostoru železobetonovou monolitickou zdí o tloušťce

200 mm. Část akustického tlaku z kompresorovny pohltí samotná konstrukce, část se šíří konstrukcí a část se odrazí od stěny zpět do místnosti. Hluk se může šířit podlahou i stropní konstrukcí do dalších místností objektu. Šíření konstrukcemi o různých frekvencích hodnotí frekvenční analýza. Neprůzvučnost železobetonové stěny je 53 dB. Pokud by bylo potřeba snížit hodnotu hluku vycházejícího ze stanice, bylo by vhodné použít protihlukové dveře a celkově celou místnost pomocí panelů odhlučnit. U vyšších hodnot zvukové zátěže se snižuje počet hodin u pracovního stroje při nechráněném sluchu. Do hodnoty 85 dB se doporučuje být u přístroje do 8 hodin. Při 88 dB se doba snižuje jen na 4 hodiny. U vyšších hladin je vhodné zajistit ochranu sluchu pracovníků a dodržovat povinné přestávky. K nárůstu hodnot může dojít například vlivem netěsnosti tlakového potrubí. Pokud by byla dlouhodobě překračována limitní hodnota v pracovní hale, bylo by potřeba nalézt další řešení ke snížení hodnot akustického tlaku. Mezi další řešení můžeme zařadit odhlučnění určitých částí provozu pomocí akustických vrat a dveří, instalaci protihlukových stěn a tlumičů hluku.

Hluk se dále šíří i potrubním rozvodem stlačeného vzduchu. V pracovní hale je rozvod veden ve výšce 4 m. Vzhledem k nedávné renovaci celkového rozvodu počítáme s minimálními úniky vzduchu do okolí. Při velkém úniku dochází k hlasitému syčení a poklesu pracovního tlaku. Hliníkové trubky, které tvoří celý rozvod, přenášejí hluk hůře oproti trubkám plastovým. Při renovaci potrubí byl celý provoz zastaven a potrubní rozvod zkoušen na tlakovou zkoušku. Při této zkoušce byla naměřena hodnota akustického tlaku v hale 43 dB. Tato hodnota akustického tlaku odpovídá šumu v tichém bytě či tlumenému hovoru a je v ní zahrnut hluk nejen z potrubního systému, ale i z okolí měřeného místa.

V pracovní hale byla největší míra zvukové zátěže naměřená u lisů a lakovny. Lisy a lakovací robot jsou velké stroje, které mají největší podíl na hodnotě naměřeného akustického tlaku v pracovní hale. Pro celkovou analýzu šíření hluku na pracovišti by bylo potřeba zhotovit frekvenční analýzu, která analyzuje zvuky a jejich frekvence. Nízkofrekvenční zvuky neboli basy se mohou šířit stěnami nezávisle na neprůzvučnosti materiálu. Někteří pracovníci mohou být citlivější na vnímání zvuku o nízké frekvenci, aniž by byla překročena limitní hodnota zvukové zátěže. Pro zhodnocení celkového šíření a působení hluku na provoz je vhodné zhotovit hlukovou studii, která v sobě zahrnuje i frekvenční analýzu.

6 Závěr

Bakalářská práce se zabývá nejen celkovým návrhem rozvodu a kompresorové stanice, ale také rozdělením zdrojů stlačeného vzduchu a měřením zvukové zátěže v pracovní hale.

Na základě poznatků uvedených v této práci vyplývá, že při navrhování kompresorové stanice a rozvodů je potřeba zjistit největší odběrné místo v provozu a následně dle dané hodnoty vybrat potřebný zdroj tlakového vzduchu. Dále je potřeba zajistit co nejmenší hodnotu tlakového poklesu a dodržet dané potřeby zákazníka. Nejvíce používanými zdroji stlačeného vzduchu v průmyslu jsou kompresorové jednotky. Volba vhodného typu kompresoru závisí nejen na jeho vlastnostech (objemový proud, pracovní tlak), ale také na vytíženosti zdroje a ceně. V rozvodu média může docházet k velkým ztrátám- tlakovému spádu. Aby hodnota tlakového poklesu byla co možná nejnižší, je potřeba vhodně zvolit materiál rozvodné sítě a armatur. Tlakový spád také úzce souvisí s průměrem potrubí. Pokud by stlačený vzduch byl veden potrubím o nedostatečném průměru, docházelo by ke škrcení a následným ztrátám. Příliš velké ztráty vedou k navýšení spotřeby energie kompresorové jednotky. Důležitými aspekty při navrhování rozvodu a kompresorové stanice jsou potřeby zákazníka a výsledná cena. Stavební inženýři projektanté vybírají vhodný typ zdroje stlačeného vzduchu již ve fázi projektové dokumentace.

Měření hlučnosti probíhalo v pracovní hale Okula Nýrsko zapůjčeným hlukoměrem Voltcraft SL 400. V kompresorové stanici bylo měřeno na 5 místech, v pracovní hale na 6 místech. Dle měření nebyla na žádném z měřených míst překročena hodnota 85 dB. U provozů je potřeba dbát na akustickou pohodu pracovníků. Každý pracovní prvek má štítkovou hodnotu hlučnosti, která je měřena za ideálních podmínek stroje a okolí. Pokud by docházelo k překročení limitní hodnoty zvukové zátěže, bylo by potřeba pracovníky ochránit proti vlivu hluku na jejich zdraví. Mezi ochranné prvky patří například protihluková sluchátka či protihlukové dveře. Již ve fázi projektu je vhodné s danou hlučností počítat a navrhnout tak případná opatření.

7 Seznam použitých zdrojů

[1] KOLARČÍK Kamil - KAMINSKÝ Jaroslav. *Kompresory.* Ostrava 2012. [Citace 27.1.2023.]

[2] RUDA Aleš. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele.* [Online] Masarykova univerzita, Brno 2014.[Citace27.1.2023.] Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/skripta/klimatologie_hydrogeografie.pdf

[3] LIŠKA Antonín- NOVÁK Pavel. *Technika stlačeného vzduchu.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 361 s. ISBN 80-01-01947-0.

[4] BROWN Royce N. *Compressors: selection and sizing*. Houston: Elsevier, 2005. 640s. ISBN: 0-7506-7545-4.

[5] KAMINSKÝ Jaroslav – KOLARČÍK Kamil – PUMPRLA Oto. *Kompresory*. Vydavatelství Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004, 122 s. ISBN 80-248-0704-1.

[6] *ČSN 10 5010. Názvosloví kompresorů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986

[7] HANLON Paul C.. *Compressor handbook*. New York: McGRAPH-HILL, 2001, 754 s.

[8] DVOŘÁK Zdeněk. *Základy chladicí techniky*. Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1986. 247s.

[9] *ČSN ISO 8573-1. Stlačený vzduch- Část 1: Znečištění a třídy kvality*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013

[10] ŠKORPÍK, Jiří. *Transformační technologie.* [Online]. Brno, 2009. [Citace 4.2.2023]. Dostupné z: http://www.transformacni-technologie.cz/

[11] ROTKOVSKÝ Emil. *Kompresory*. Praha: Ústav pro učebné pomůcky, 1946.

[12] KOMPRESORY-VZDUCHOTECHNIKA. *Jak filtrovat stlačený vzduch*. [Online]c2023. [Citace 5.2.2023]. Dostupné z: https://www.kompresoryvzduchotechnika.cz/poradna/jak-filtrovat-stlaceny-vzduch/

[13] KOMPRESORY-VZDUCHOTECHNIKA. *Filtrace, regulace a úprava stlačeného vzduchu*. [Online]c2023. [Citace 6.2.2023]. Dostupné z:https:/www.kompresoryvzduchotechnika.cz/uprava-vzduchu/

[14] AIRCONSULT. *Absorbér s aktivním uhlím v praxi*. [Online]c2022. [Citace 6.2.2023]. Dostupné z: https://www.airconsult.cz/clanky/blog/absorber-s-aktivnim-uhlim-v-praxi

[15] BOGE. *Kondenzační vysoušeče vzduchu*. [Online]. [Citace 6.2.2023]. Dostupné z: https://www.kompresory-boge.cz/prodej-cena/uprava-stlaceneho-vzduchu/susicky-tlakoveho-vzduchu/kondenzacni-susicka-vzduchu

[16] KOMPRESORY-VZDUCHOTECHNIKA. *Rozvody stlačeného vzduchu*. [Online]c2023. [Citace 6.2.2023]. Dostupné z: https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/poradna/rozvody-stlaceneho-vzduchu/

[17] TAYLOR Brad. *Fluid- Aire Dynamics*. [Online] c2020. [Citace 7.2.2023]. Dostupné z: https://fluidairedynamics.com/blogs/articles/what-type-of-piping-should-i-use-in-my-compressed-air-system

[18] AIRCONSULT. *Jaké jsou nejčastější materiály pro rozvody*. [Online] c2022. [Citace 9.2.2023]. Dostupné z: https://www.airconsult.cz/clanky/blog/nejlepsimaterialprorozvody-stlaceneho-vzduchu

[19] KABRHEL Michal. *Energetické systémy budov*. Pracovní materiály pro výuku předmětu. ČVUT, Praha .[Citace 13.2.2023].

[20] INAIRCOM. *Návod na návrh a instalaci kompresorové stanice.* Praha, 2021

[21] ALMIG COMPRESSOR SYSTEM. *Rozvody stlačeného vzduchu*. [Online]c 2023. [Citace 16.2.2023]. Dostupné z: https://www.almig.cz/poradenstvi/rozvod-stlaceneho-vzduchu/

[22] INAIRCOM. *Rozvody stlačeného vzduchu*. [Online]c2013-2023. [Citace 4.3.2023]. Dostupné z: https://www.inaircom.cz/produkty/3E56221CA51B4BFB

[23] INAIRCOM. *Katalog produktů a služeb*. Praha, 2022. 272s.

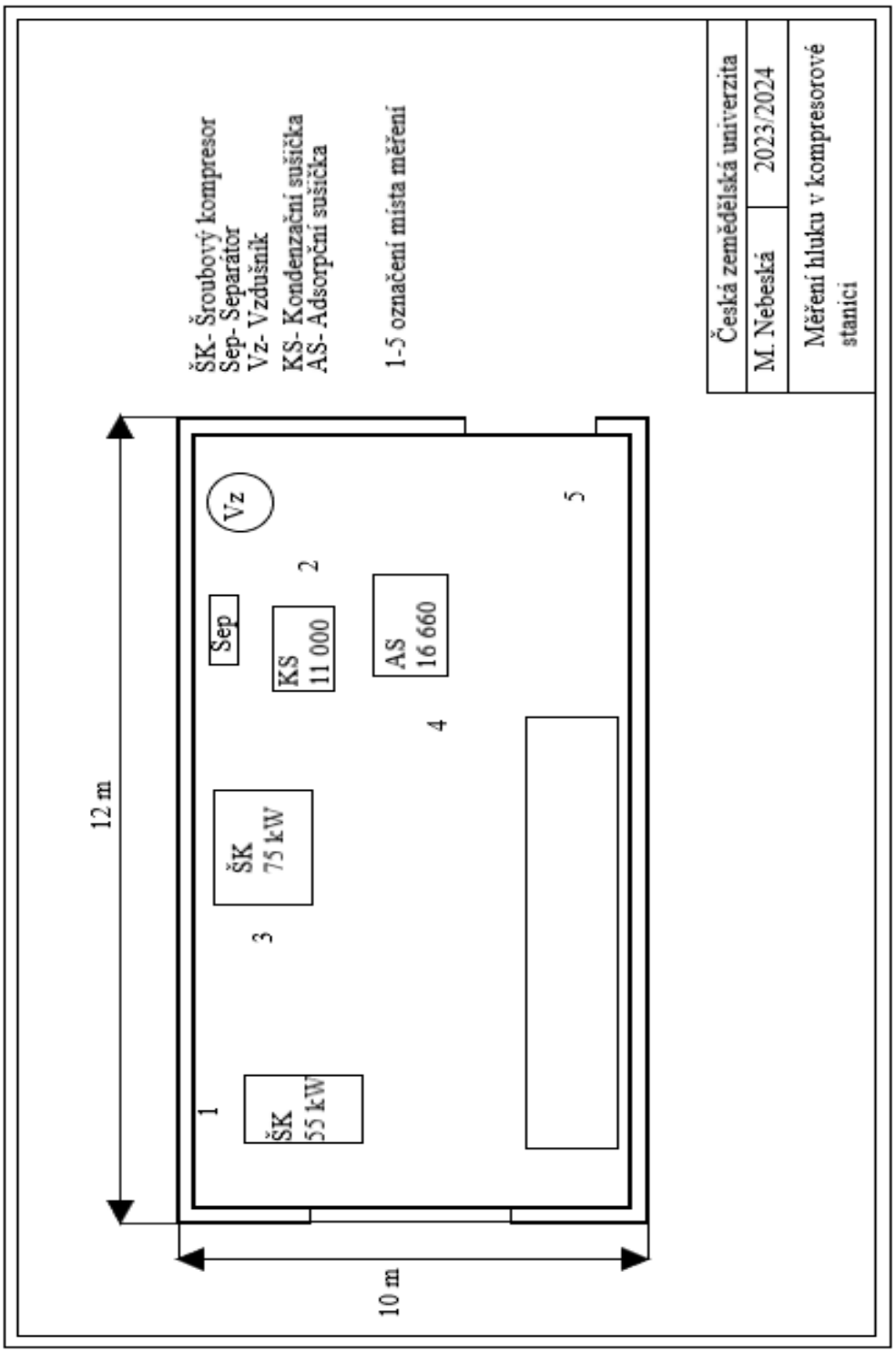
[24] PORTÁL PRO STROJNÍ KONSTRUKTÉRY. *Výpočet tlakové ztráty tlakového vzduchu - Portál pro strojní konstruktéry*.[Online]c2013 [Citace 07.03.2023].

Dostupné z: https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/162-vypocet-tlakove-ztraty-tlakoveho-vzduchu

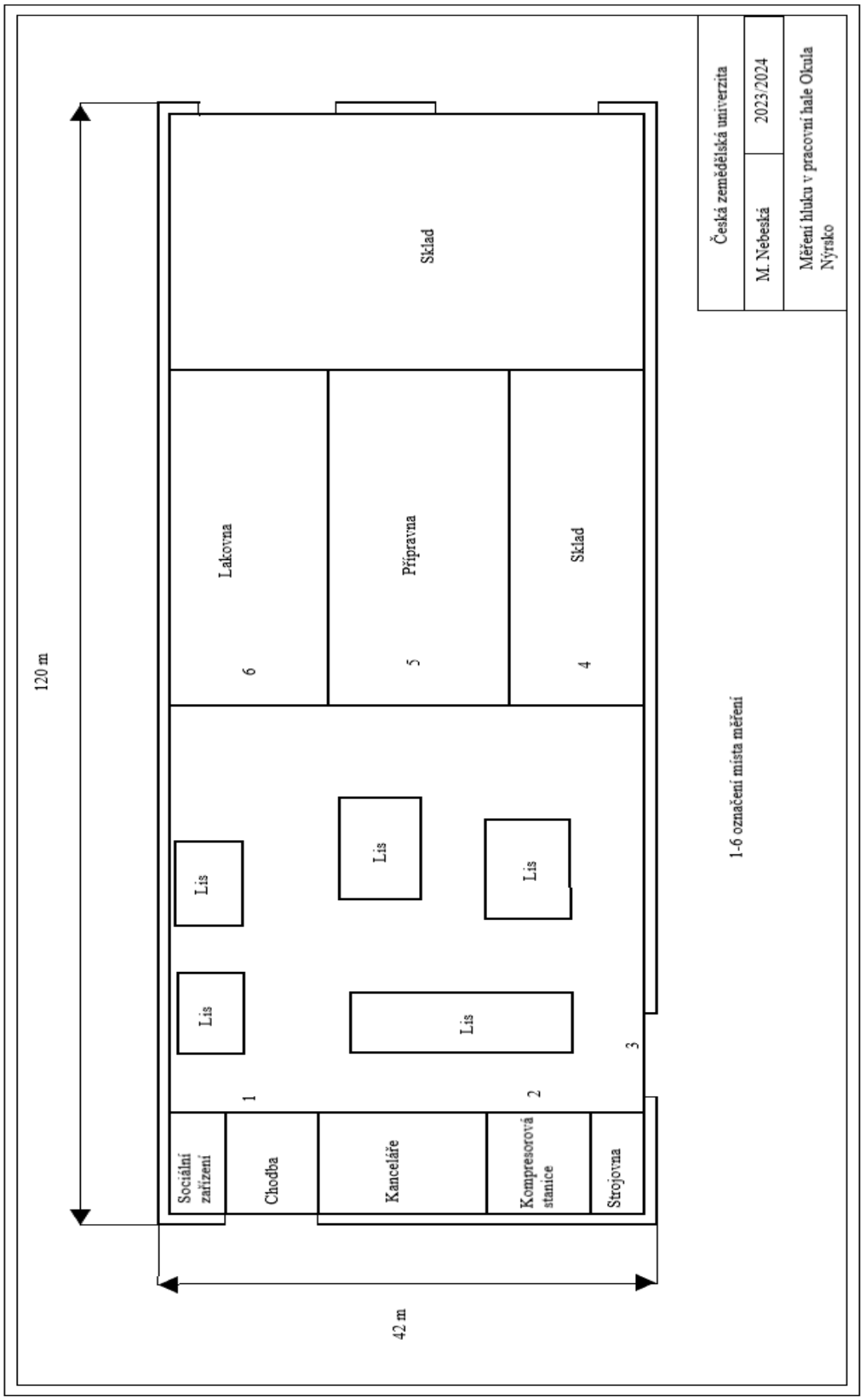
[25] STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV. Hluk v pracovním prostředí..[Online]c 2024. [Citace 17.1.2024] Dostupné z: https://szu.cz/temata-zdravi-a-bezpecnosti/pracovni-prostredi-a-zdravi/faktory-pracovniho-prostredi/fyzikalni/hluk-prac/hluk-v-prac-prost/.].

[26] Hladiny akustických veličin. *Ekosoftware*. [Online]c 2016. [Citace 17.1.2024]. Dostupné z: https://www.ekosoftware.cz/hladiny-akustickych-velicin.

8 Přílohy



Příloha 1: Náčrt kompresorové stanice- měřená místa



Příloha 2: Náčrt výrobní haly- měřená místa