



# **VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## **FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## **ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## **KRYTY PRACOVNÍHO PROSTORU STROJE**

PROTECTIVE GUARDS OF MACHINE TOOL

### **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

### **AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Josef Zlámal

### **VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Lubomír Novotný, Ph.D.

BRNO 2016



## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Bc. Josef Zlámal</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	<b>Ing. Lubomír Novotný, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2015/16

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 diplomové práce:

### Kryty pracovního prostoru stroje

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Navrhněte ochranné kryty svislého obráběcího centra o průměru desky 2000 s těmito parametry:

- Kryty jsou teleskopické či rozpojitelné, nebo jiným způsobem umožňují výměnu obrobků (pro stroj bez paletizace),
- kryty umožňují automatickou výměnu obrobků,
- kryty umožňují výměnu obrobků (v případě přítomnosti paletizace),
- tlak chladicí kapaliny až 50MPa,
- hlučnost v okolí měřená dle normy pod 80dB za provozu,
- kryty musí splňovat bezpečnostní předpisy,
- zamezit úniku chladicí kapaliny
- kryty splňují bezpečnostní požadavky.
- kryty zajišťují hlučnost stroje do 75dB.

#### **Cíle diplomové práce:**

Proveďte studii zadaného úkolu a navrhněte několik variant řešení krytů, které zajistí hlučnost stroje do 75dB. Vypracujte technické a technicko-ekonomické porovnání navržených variant, a proveďte výběr nejvýhodnější varianty, která bude zajišťovat hlučnost stroje do 75dB. Proveďte nezbytné technické výpočty a analýzy. Dále pak vytvořte výkresy sestav vybrané varianty krytů a detailní výkresy dvou stěžejních součástí, které odpovídají normám a obecným požadavkům na technickou dokumentaci.

**Seznam literatury:**

Janiček, P., Ondráček, E.: Řešení problémů modelováním. Téměř nic o téměř všem. FS VUT, Brn 1998.

Marek, J. a kol: konstrukce obráběcích strojů III. MM Spektrum, 2014.

Dobřický J., Marek J., Novotný L.: Řízení podnikových znalostí. Brno: Akademie Sting, 2013. ISBN 978-80-87482-12-4

Dokumentace výrobců komponent obráběcích strojů.

Firemní podklady zadavatele diplomové práce.

Technická literatura oboru obráběcích strojů.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá problematikou krytování obráběcích strojů. První část práce je věnována rešerši v oblasti krytování, legislativním požadavkům a hlučností obráběcích strojů. Druhá část popisuje návrh krytování stroje TOSHULIN – POWERTURN 2000 včetně výpočtu snížení hlučnosti.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Svislý soustruh, kryt obráběcího stroje, bezpečnostní normy, bezpečnostní kryt, akustika, hluk, protihlukový kryt.

## **ABSTRACT**

The master thesis deals with the problematics of machine guard. The first part of the thesis is focused on the analysis of machine guards, legislative safety requirements and noise issues. The second part of the thesis describes design and construction of the machine guard in case of the vertical turning centre, TOSHULIN - POWERTURN 2000, including the calculation of noise reduction.

## **KEY WORDS**

Vertical lathe, machine guard, safety standard, safety cover, acoustic, noise, sound insulation cover.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ZLÁMAL, J. *Kryty pracovního prostoru stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 100 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Novotný, Ph.D.





## **PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Kryty pracovního prostoru stroje vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce pana Ing. Lubomíra Novotného, Ph.D.

V Brně dne

---

Josef Zlámal







## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Lubomíru Novotnému, Ph.D. za trpělivost, odborné vedení a cenné rady při řešení diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za pomoc a obrovskou podporu po celou dobu mého studia.



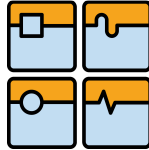
## OBSAH

1	Úvod.....	16
2	Ochranné kryty obráběcích strojů .....	17
2.1	Základní rozdělení .....	17
2.2	Kryty pracovního prostoru vnitřní.....	18
2.2.1	Teleskopické kryty.....	19
2.2.2	Krycí měchy .....	22
2.2.3	Svinovací rolety .....	24
2.2.4	Čláňkové zástěny .....	25
2.2.5	Teleskopické pružiny.....	25
2.2.6	Stěrače nečistot .....	26
2.3	Kryty pracovního prostoru vnější.....	27
2.3.1	Kapotáž .....	27
2.3.2	Ochranné ploty .....	30
2.3.3	Bezpečnostní optické závory .....	31
2.3.4	Místní ochranné zařízení.....	31
2.4	Bezpečnostní požadavky na kryty OS.....	33
2.4.1	Odolnost proti průrazu .....	34
3	Hlučnost obráběcích strojů.....	35
3.1	Základy akustiky .....	35
3.1.1	Akustické vlnění .....	35
3.1.2	Akustická rychlost .....	36
3.1.3	Akustický tlak .....	36
3.1.4	Rychlost šíření zvukové vlny .....	37
3.1.5	Ohybové vlny .....	37
3.1.6	Akustický výkon.....	38
3.1.7	Akustická intenzita.....	38
3.2	Hluk .....	39
3.2.1	Účinky hluku na člověka.....	39
3.2.2	Metody snižování hluku.....	40
3.3	Materiály pohlcující zvuk.....	41
3.3.1	Činitel zvukové pohltivosti.....	42
3.3.2	Neprůzvučnost.....	43

Str. 14	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky		
	DIPLOMOVÁ PRÁCE		

3.3.3	Porézní materiály .....	43
3.3.4	Zvukově izolační sendvič.....	46
3.4	Měření hluku obráběcích strojů.....	47
3.4.1	Přípravné činnosti .....	47
3.4.2	Měřené veličiny a hodnocené parametry .....	49
3.4.3	Měřicí aparatura .....	51
3.4.4	Měření.....	51
3.4.5	Hygienické limity.....	53
4	Krytovaný stroj.....	54
5	Návrh krytování pracovního prostoru .....	57
5.1	Situační schéma .....	57
5.2	Specifikace požadavků .....	58
5.3	Rozbor podkladů .....	58
5.4	Rozbor krytu z hlediska kinematiky .....	59
5.5	Rozbor krytu z hlediska bezpečnosti.....	62
5.5.1	Zkouška nárazem .....	64
5.5.2	Blokovací zařízení.....	65
5.5.3	Další požadavky na bezpečnost krytů.....	66
5.6	Rozbor krytu z hlediska vibrací .....	67
5.7	Rozbor krytu z hlediska hlučnosti .....	67
5.8	Konstrukční provedení .....	68
5.8.1	Skluzy .....	68
5.8.2	Teleskopické kryty .....	70
5.8.3	Rámová konstrukce .....	75
5.8.4	Vedení a pohon dveří.....	76
5.8.5	Oplechování.....	78
5.8.6	Konstrukce dveří.....	78
5.8.7	Antivibrační opatření .....	80
5.8.8	Celkové krytování .....	80
6	Výpočet zvukového útlumu .....	82
6.1	Teorie výpočtu .....	82
6.1.1	Vzduchová neprůzvučnost jednoduché stěny .....	83
6.1.2	Vzduchová neprůzvučnost dvojité stěny .....	84
6.2	Výpočtový model .....	86

6.3	Zhodnocení výpočtu .....	90
7	Závěr .....	91
8	Seznam obrázků .....	92
9	Seznam tabulek.....	94
10	Seznam použitých zkratk .....	95
11	Seznam použitých symbolů .....	96
12	Seznam použitých zdrojů .....	98

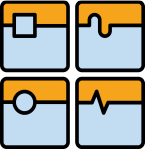
Str. 16	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 1 ÚVOD

Funkčnost, spolehlivost a bezpečnost jsou tři základní faktory posuzování kvality obráběcích strojů. Míru kvality určuje svými požadavky samotný zákazník, který rozhoduje o základních vlastnostech stroje. Záležitostí výrobce je pak jejich technologické zpracování, které může nabývat mnoha podob. Funkčnost a spolehlivost stroje je pak ekvivalentem kvalitní konstrukce a implementace technologií. V případě bezpečnosti jsou určujícím faktorem právní předpisy. V České republice, která je členem Evropské unie, se jedná o harmonizované právní předpisy, ze kterých vychází harmonizované normy. Tyto bezpečnostní normy můžeme zpravidla rozdělit podle jejich hierarchie do tří skupin na normy A, B, C, kde normy typu C představují normy pro konkrétní skupinu obráběcích strojů. Funkčnost stroje ale nejde vždy ruku v ruce s bezpečnostními požadavky. Najdeme spoustu příkladů z praxe, kdy si obsluha stroje odděluje bezpečnostní krytování z toho důvodu, že jim překáží, nebo přímo znemožňuje provádět technologické operace. Tyto případy absence bezpečnostního krytování ale ne vždy dopadají dobře. Aby se takovým případům předcházelo, musí konstruktér krytů uvažovat nejen faktory spojené s bezpečnostním hlediskem, ale také faktory funkce a ergonomie stroje. V případě velkých a technologicky náročných obráběcích strojů tohle bezpečnostní opatření spojené se správnou funkcí a ergonomií, vyžaduje mnohdy velké úsilí, a citelně se promítne i do jeho ceny.

Mezi legislativní požadavky na provoz obráběcích strojů patří i jejich hlučnost. Povinností výrobce strojního zařízení je deklarovat deskriptory hluku, které definují akustické vyzařování tohoto strojního zařízení. V případě hygienických měření celková vážená hladina akustického tlaku na pracovišti (uvažujeme strojní dílnu) nesmí přesáhnout  $L_{Aeq,8h}=85$  dB. Je-li tato hodnota vyšší, pak zaměstnavatel musí zaměstnancům poskytnout prostředky osobní ochrany sluchu, a hradí jim povinné lékařské vyšetření sluchu. Hodnota  $L_{Aeq,8h}$  je závislá, kromě vyzařované hlučnosti, i na charakteru prostředí, popřípadě na rozmístění zdrojů hluku. Ne všechny stroje ale mají problém se svojí hlučností. Ta se u obráběcích strojů liší podle prováděné technologické operace, instalovaného výkonu, hlučnosti přidružených zařízení, konstrukčního provedení a také stáří stroje. Za zvyšováním hlučnosti stojí pak hlavně neustálé zvyšování výkonových parametrů, přidružování dalších zařízení a neodborné snahy o vylehčování konstrukcí, které ztrácejí své neprůzvučné vlastnosti. Řešením hlukové situace může být aplikace zvukoizolačního krytu. Aby byl funkční, musí být proveden v souladu se všemi požadavky, které plynou z teorie akustiky. A zároveň je žádoucí, aby tento kryt zbytečně nenavýšoval cenu celého zařízení.



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

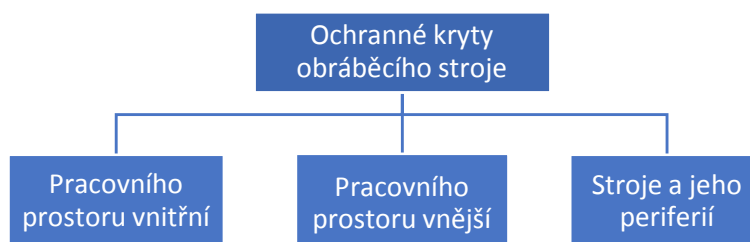
## 2 OCHRANNÉ KRYTY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Ochranné kryty jsou důležitou součástí obráběcího stroje. Jejich význam spočívá v eliminaci účinků výrobní technologie i samotného výrobního zařízení na obsluhu, životní prostředí, a také na stroj samotný. Velký důraz se klade na zamezení kontaktu obsluhy s rotujícími a pohybujícími se částmi stroje, které mohou způsobit vážná zranění nebo i úmrtí člověka. Mezi další účinky, které mají negativní vliv na zdraví obsluhy, se řadí vedlejší produkty výrobní technologie. Při technologii třískového obrábění se jedná o řeznou kapalinu, vznikající aerosoly, odletující třísky, prach a hluk. Jejich působení na lidské zdraví může být různé. V první řadě mohou odletující třísky, které mají vysokou kinetickou energii a teplotu, způsobit zranění obsluhy. Stejně tak nebezpečná je i tlaková řezná kapalina. V druhé řadě se pak jedná o dlouhodobé působení prachu, aerosolů a hluku na zdraví obsluhy. Účinky těchto produktů třískového obrábění často nejsou pozorovatelné po dlouhou dobu, a o to jsou nebezpečnější. Další zmíněnou funkcí ochranného krytu je ochrana samotného stroje. Stroj je nutné chránit nejen před mechanickými účinky třísek a kovového prachu, ale i před chemickými účinky řezné kapaliny. Účinky na obsluhu a stroj jsou však pro každou technologii třískového obrábění jiné. Některé stroje je proto nutné chránit více a jiné méně. Nezanedbatelným parametrem při konstrukci ochranných krytů je také cena, a v neposlední řadě také design. Z výše zmíněných důvodů je ochranný kryt velice sofistikovaný konstrukční celek, který může nabývat mnoha podob. Aby byl navržený ochranný kryt funkční, bezpečný a konkurenceschopný, musí tedy konstruktér vzít v úvahu spoustu faktorů. Mezi ty základní patří[1]:

- charakter stroje;
- stavba a kinematika stroje;
- provozní stavy stroje;
- legislativní požadavky na krytování;
- zásady ergonomie;
- design krytů;
- cena krytů;
- požadavky zákazníka.

### 2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ

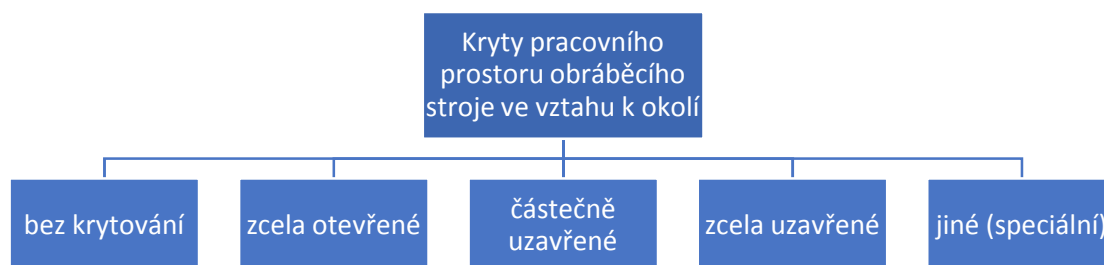
Jak již bylo výše zmíněno, ochranné kryty mohou nabývat mnoha podob. Také funkce krytů se liší v závislosti na účelu a umístění na stroji. Podle určitých pravidel je ale můžeme rozdělit do několika skupin. Rozdělení podle struktury ochranných krytů ilustruje Obrázek 1.



Obrázek 1- Struktura ochranných krytů stroje [1]

Str. 18	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Každý obráběcí stroj má své specifické vlastnosti a je určen pro konkrétní technologii obrábění. V závislosti na technologii obrábění a obráběném materiálu se liší míra krytování. Například frézování uhlíkových kompozitů s sebou nese riziko pro obsluhu, která by mohla vdechnout karcinogenní prach vznikající při obrábění. Z tohoto důvodu se při obrábění těchto a jiných zdraví nebezpečných materiálů musí zajistit dostatečné oddělení pracovního prostoru, kde obrábění probíhá, od stanoviště obsluhy + zajistit odsávání prostoru. Naopak při obrábění běžných materiálů (konstrukční ocel, litina), například frézováním, toto oddělení nemusí být úplné ale pouze částečné. Proto je při počátečním návrhu nutné určit míru kontaktu pracovního prostoru s okolím stroje. Toto rozdělení ilustruje Obrázek 2.[1]



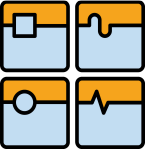
Obrázek 2- Typy krytů pracovního prostoru obráběcího stroje ve vztahu k obsluze a okolí [1]

## 2.2 KRYTY PRACOVNÍHO PROSTORU VNITŘNÍ

Kryty pracovního prostoru vnitřní oddělují pracovní prostor od stroje. Základní funkce vnitřních krytů tedy jsou:[16]

- Odvádí kapalinu.
- Zachycují třísky.
- Tlumí vibrace.
- Umožňují pohyb.
- Umožňují přístup.

Velkou pozornost musíme věnovat také oddělení produktů třískového obrábění od pohybových os obráběcího stroje. Zde je kladen důraz zejména na těsnost krytů. Zároveň je ale žádoucí, aby kryty měly malou hmotnost, malé pasivní odpory, byly tiché, spolehlivé, měly dlouhou životnost a nezabíraly mnoho místa.[8] Sledovanými parametry při návrhu krytování pohybových os je především maximální rychlost, popřípadě maximální zrychlení a požadovaná míra ochrany krytů. Podle uspořádání lze krytování rozdělit na jednoosé a dvouosé. Dále podle konstrukčního provedení na teleskopické kryty, rolety, článkové zástěny, krycí měchy, teleskopické pružiny, funkční zábrany a stírací rámečky.

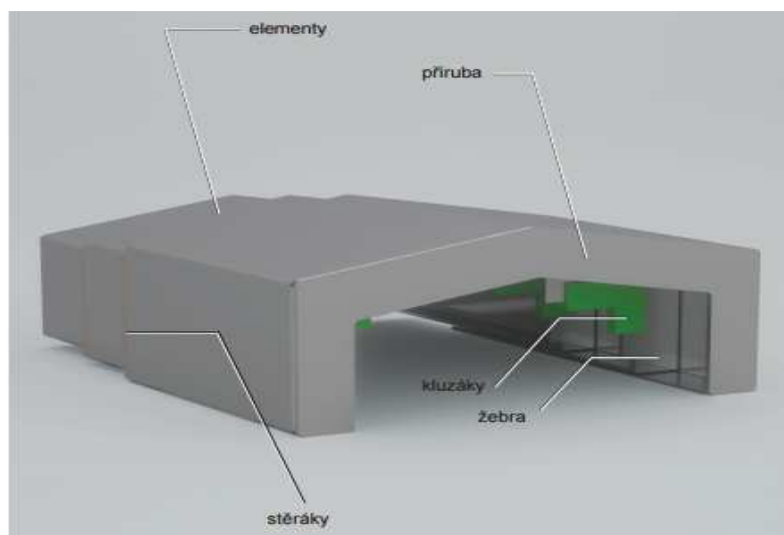
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 2.2.1 TELESKOPICKÉ KRYTY

Teleskopické kryty jsou nejpoužívanějším typem vnitřních pohyblivých krytů. Slouží jako ochrana lineárního vedení a jiných funkčních částí strojů před [9]:

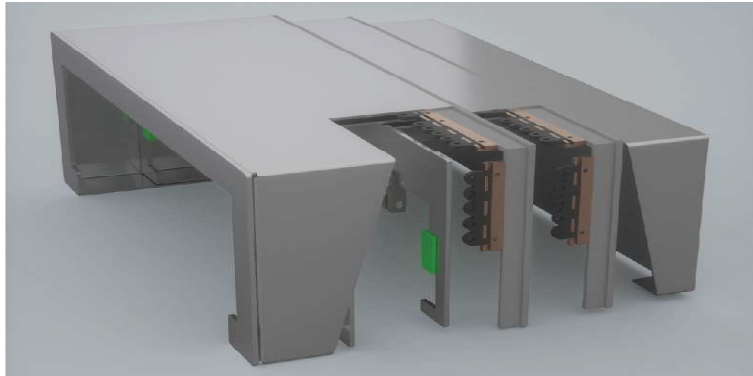
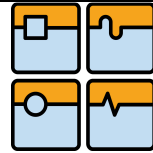
- žhavými třískami, vznikajícími při třískovém obrábění;
- chladicí kapalinou, která je použita při obrábění;
- těžkým břemenem, které může dopadnout na jinak nechráněný lineární pojezd;
- kontaktem s obsluhou a možným vznikem nebezpečí úrazu.

Základní částí teleskopických krytů jsou vzájemně přesazené plechové elementy, které se do sebe zasouvají. Tvar plechových dílců obvykle kopíruje chráněný prostor vyplněný částmi stroje. Standardní tloušťka plechu u elementu bývá 1 mm až 3 mm [9]. Elementy mají uvnitř umístěná žebra, na kterých jsou připevněné vodící prvky (kluzáky nebo rolny). Pro výběr vodících prvků je zásadní relativní rychlost pohybu jednotlivých dílců krytu vůči sobě. Pro menší rychlosti dostačují plastové kluzáky, zatímco pro vysoké rychlosti jsou doporučovány rolny. První a poslední element je vybaven přírubou, přes kterou se teleskopický kryt připevní ke stroji. V místě, kde se jednotlivé elementy posouvají po sobě, jsou umístěné tzv. „stěráky“, které zabezpečují dostatečné utěsnění před chladicí kapalinou a jinými nečistotami. Stěráků se vyrábí mnoho druhů a jejich provedení závisí především na agresivitě médií, stupni znečištění pracovního prostoru a v neposlední řadě také na relativní rychlosti pohybu. Umístění jednotlivých částí nejlépe ilustruje Obrázek 3.



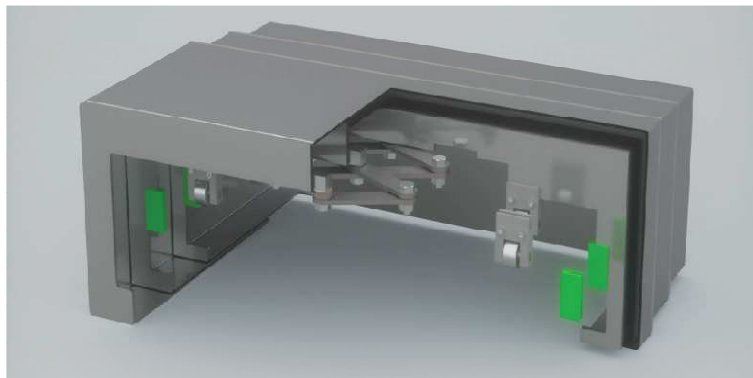
Obrázek 3- Teleskopický kryt [9]

Jednotlivé segmenty krytu při tomto základním uspořádání se pohybují nezávisle na sobě. Nedochozí tedy k současnému vysunování všech segmentů, ale k postupnému, kdy se nejprve vysunou segmenty s nejmenším odporem proti pohybu. Následné urychlování ostatních segmentů se děje rázem po dosažení maximálního vysunutí pohybujícího se segmentu. To má za následek vznik rázů a hluku, které narůstají s rychlostí pohybu. Pro malé rychlosti do  $20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  nejsou rázy velké, a proto se kryty standardně dělají bez speciálních opatření. Pokud je vyžadováno tlumení i při nižších pohybových rychlostech, jsou teleskopické kryty vybavovány dodatečnými tlumiči rázů. [1]



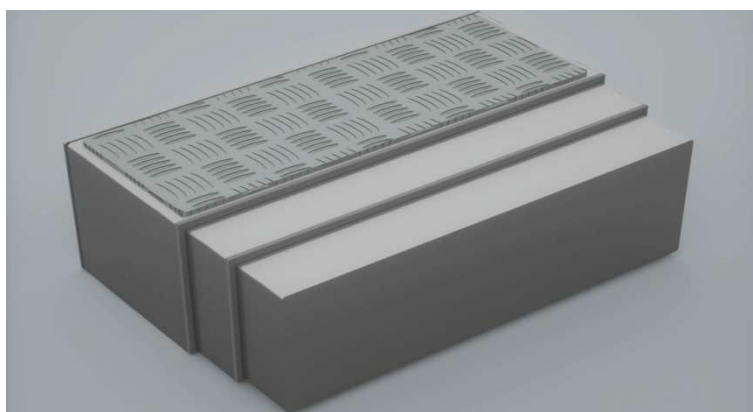
Obrázek 4- Teleskopický kryt s tlumiči rázů [9]

Pro vysoké pohybové rychlosti mohou být silové účinky rázů tak veliké, že dochází k poklesu výrobní přesnosti stroje. Z tohoto důvodu je výhodné použít nůžkový mechanismus, který zajistí vázaný pohyb jednotlivých segmentů, popřípadě teleskopický kryt ještě dovybavit speciálním tlumičem rázů a vibrací. Příklad teleskopického krytu určeného pro vysoké posuvové rychlosti zobrazuje Obrázek 5. [1]

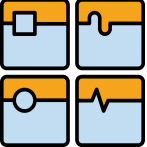


Obrázek 5- Teleskopický kryt s nůžkovým mechanismem [9]

V případě klasického obdélníkového provedení krytu je možné poslední segment vyrobit i jako pochozí. Podmínkou při nášlapu je, že kryty musí být ve složeném stavu, jinak by mohlo dojít k nevratné deformaci teleskopického krytu.[11]

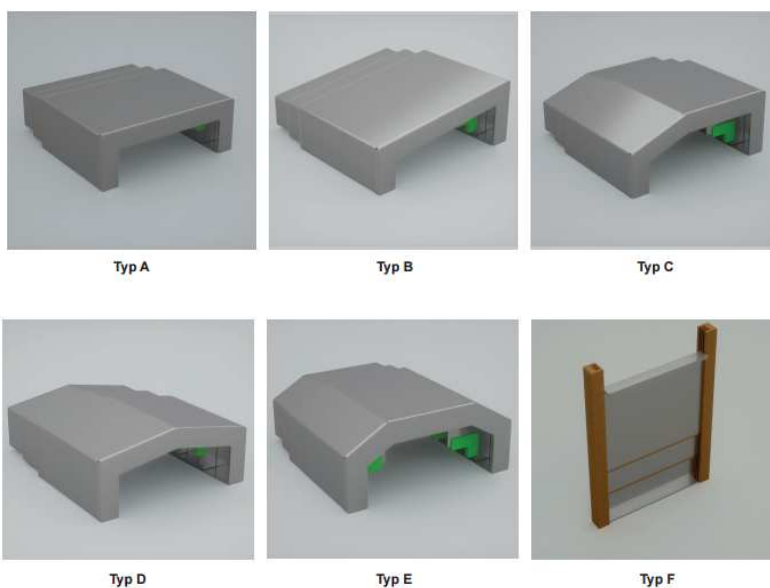


Obrázek 6- Teleskopický kryt s pochozím segmentem [9]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 21
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

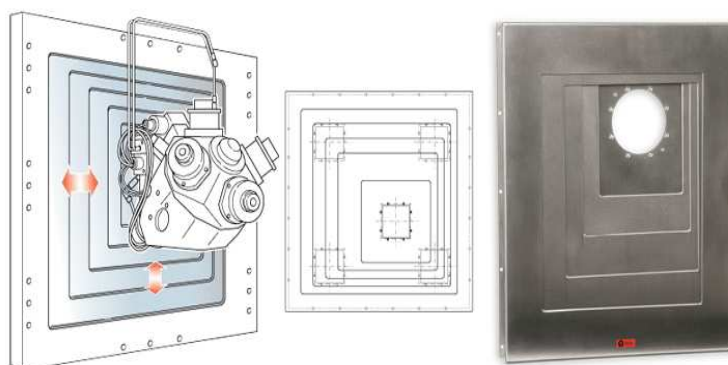
Teleskopické kryty mohou být umístěné na stroji nejen v horizontální, ale také v příčné a vertikální poloze. Zde si musíme dát pozor na vybočení z definovaného pojezdu a zabránit této situaci pojištěním. [9].

Výrobci teleskopických krytů dnes nabízí celou řadu jejich provedení a velikostí. Pro ilustraci zde uvádím nabídku firmy Hennlich (Obrázek 7). Požadavkům na geometrii krytů nemusí vyhovovat žádný z nabízených typů. Z toho důvodu jsou také vyráběny kryty, které jsou šité na míru zákaznickým požadavkům.

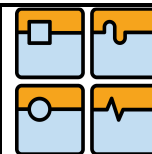


Obrázek 7- Různá provedení teleskopických krytů Hennlich [9]

Speciálním případem teleskopických krytů jsou 2D teleskopické stěny. Ty se úspěšně používají pro krytování posuvového systému vřeten strojů, které mají dva translační pohyby v nástroji. Příklad takovéto stěny ilustruje Obrázek 8.

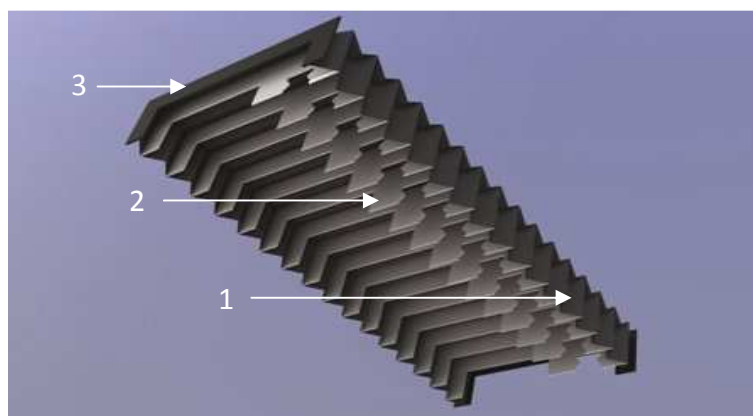


Obrázek 8- 2D teleskopická stěna [22]



### 2.2.2 KRYCÍ MĚCHY

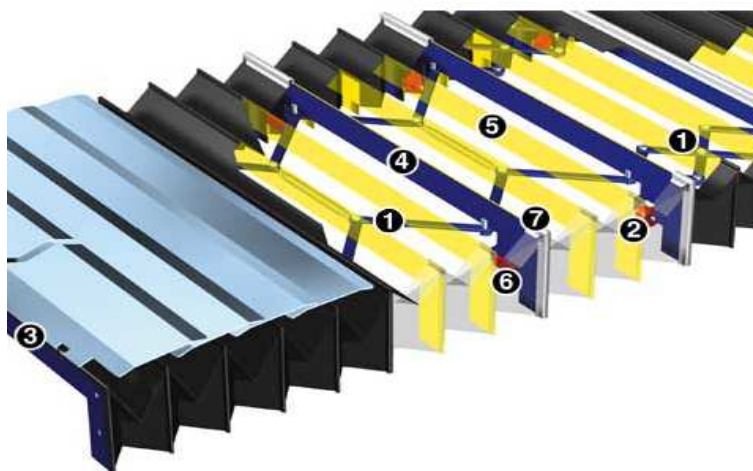
Dalším hojně používaným typem vnitřních pohyblivých krytů jsou krycí měchy. Ty stejně jako v případě teleskopických krytů zajišťují ochranu pojezdů a kuličkových šroubů před prachem, vodou, olejem nebo odletujícími třískami. Svým tvarem krycí měchy hodně připomínají tahací harmoniku a materiálem jsou vícevrstvé umělé tkaniny nebo pryže. Krycí měchy vynikají svojí nízkou hmotností, proto jsou vhodné pro vyšší pojezdové rychlosti a zrychlení. Jejich nevýhodou je ale nedostatečná ochrana před mechanickým poškozením, například těžkým břemenem. Další nevýhodou krycích měchů byla jejich nízká tepelná odolnost (pro běžné materiály okolo 100 °C). Ta je dnes už částečně překonána použitím tepelně odolných materiálů například na bázi aramid – kevlar, které mohou pracovat až při teplotě 600 °C. Měchy mohou být zhotovené různým způsobem. Běžné provedení má ale tři základní části (Obrázek 9)[10][11]:



Obrázek 9 – Krycí měch [10]

- 1) krycí tkanina vytvarovaná do tvaru harmoniky;
- 2) nosný vodící rámeček z PVC;
- 3) první a poslední rámeček sloužící pro montáž ke stroji.

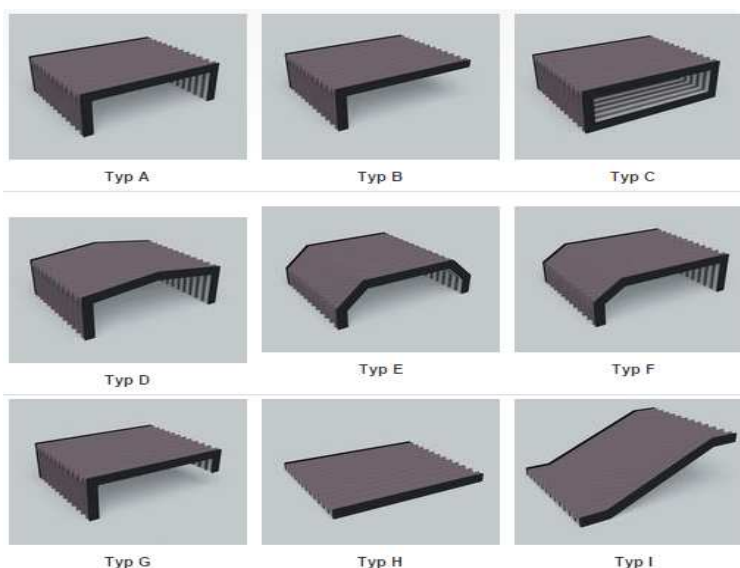
Krycí měchy mohou být podle potřeby dodávány s další výbavou. Ta optimalizuje funkci a zvyšuje životnost v případech, kdy by běžné provedení nedostačovalo. Například se jedná o stavy, kdy se stroj pohybuje vysokými rychlostmi a zrychleními. Zde v případě běžného provedení dochází k nerovnoměrnému roztahování a smršťování měchů a tím pádem k podstatnému snížení životnosti. Z tohoto důvodu se měchy podobně jako teleskopické kryty vybavují nůžkovým mechanismem. Také kluzátka mohou být pro snížení odporů vybavena valivými elementy. Dalším nepříznivým stavem, ke kterému může dojít, je kontakt krycího měchu se žhavými odletujícími třískami. V takovém případě se krycí měch vybavuje kovovými lamelami, které kontaktu se žhavými třískami zamezí. Popis stavby vybaveného krycího měchu ilustruje Obrázek 10:



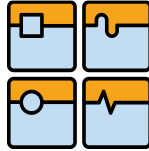
Obrázek 10 – Vybavení krycích měchů firmy Hennig [12]

- 1) rozevírací systémy (nůžky, polonůžky, skládání);
- 2) rolety;
- 3) koncové rámy;
- 4) mezirámy;
- 5) vodící rámy;
- 6) kluzátka;
- 7) spojovací lišty.

Základem krycího měchu je krycí tkanina. Ta může být vyrobena z nejrůznějších materiálů. Například firma Hestego [11] uvádí 40 druhů materiálů, každý se svými specifickými vlastnostmi. Nabídka krycích měchů obsahuje velké množství katalogizovaných druhů a velikostí. Základní tvary měchů firmy Hennlich uvádí Obrázek 11. Stejně jako v případě teleskopických krytů, jsou výrobci schopni vyrobit krycí měch na míru zákaznickým požadavkům.



Obrázek 11 – Základní tvary krycích měchů Hennlich [9]

Str. 24	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 2.2.3 SVINOVACÍ ROLETY

Svinovací rolety jsou dalším typem pohyblivých vnitřních krytů. Základními částmi jsou pás a buben, na který je pás navíjen. Pás tvoří bariéru mezi chráněnými částmi stroje a pracovním prostorem. Buben vybavený pružinou zajišťuje zpětné navíjení pásu. Materiálem pásu jsou nejčastěji vícevrstvá tkanina, pryž nebo pružné pásové oceli. V nabídkách firem nalezneme, kromě zmíněných, mnohem více materiálů s nejrůznějšími vlastnostmi viz. [11]. V závislosti na použitém materiálu se liší i ochrana stroje. Pryže a běžné vrstvené tkaniny tvoří především ochranu před oleji a chladicí emulzí, avšak nedolají vysokým teplotám žhavých třísek. Tento nedostatek řeší použití pružné pásové oceli v tloušťkách od 0,2 mm do 0,4 mm. Buben rolety může být umístěn v úložném boxu, který chrání buben od prachu a nečistot. Samotný pás je nutné chránit před navinutím stíracími lištami, aby se třísky a nečistoty nedostaly do bubnu a roletu nepoškodily. Výhodou rolet je jejich malá zástavbová velikost, jednoduchá montáž a dlouhá životnost. Další výhodou svinovacích rolet jsou jejich vysoké provozní rychlosti, které mohou dosahovat i rychlostí větších 100 m/s. Nevýhodou je podobně jako u krycích měchů jejich nedostatečná ochrana před mechanickým poškozením. Tuto nevýhodu lze eliminovat použitím rolety sestavené z pevných článků, které jsou mezi sebou spojeny pomocí kloubů nebo pryžových článků (Obrázek 14). Materiálem pevných článků je většinou hliník, popřípadě ocel. Dalším řešením je použití rolety s pásem ze tkaniny, na kterém jsou připevněné ocelové nebo mosazné lišty. Tato řešení sebou přináší zvýšení hmotnosti a rozměrů bubnu, na který se pás navíjí. Při velkých hmotnostech pásu je navíjení realizováno elektromotorem. Roletové kryty jsou alternativou k prostorově náročnějším teleskopickým krytům. Jejich ochranné vlastnosti jsou ale omezené. [11][13]

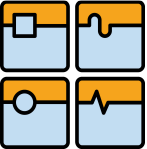


Obrázek 12- Běžné svinovací rolety Hestego [11] Obrázek 13- Článeková svinovací roleta Hestego [11]



Obrázek 14- Druhy spojení jednotlivých článků [14]



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

#### 2.2.4 ČLÁNKOVÉ ZÁSTĚNY

V případě, že je hmotnost článkové rolety značná, stejně tak jako velikost navíjecího bubnu, je výhodné použít řešení bez navíjecího bubnu. To je většinou realizováno jako ochranný závěs z článků neboli článková zástěna. Ta je na jednom konci připevněná k pohyblivé části stroje. Druhý konec může být volně spuštěn k zemi nebo připevněn s rezervou k rámu stroje, aby nemohlo dojít k napnutí zástěny. Upevnění je řešeno pomocí kovových lišt nebo kovových úhlů, které jsou našroubovány na konec zástěny. Těsnící vlastnosti jsou podobně jako u rolet omezené. Z tohoto důvodu se používají pouze k čelní ochraně proti malému množství třísek a chladicí kapaliny. [11][13]



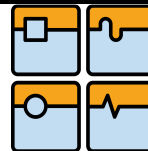
Obrázek 15- Článkové zástěny [14]

#### 2.2.5 TELESKOPICKÉ PRUŽINY

Teleskopické pružiny jsou vhodné pro ochranu tyčových součástí rotujících i nerotujících, např. vřeten strojů, kuličkových šroubů, hydraulických a pneumatických pístnic, vodících tyčí a rotujících hřídelů. Pružiny zajišťují ochranu tyčových součástí před žhavými třískami, chladicí kapalině, mechanickým poškozením a také ochranu před nebezpečným dotykem obsluhy s rotujícími částmi. Standardně se teleskopické pružiny vyrábí z pružinové pásové oceli o tloušťce 0,2 mm až 1mm o extrémní tvrdosti (55-58 Rockwell) a pevnosti do 1800 N/mm<sup>2</sup>. V případech pravidelného vystavení účinkům chladicí kapaliny je vhodné použít teleskopickou pružinu z nerezové oceli. Ta ale vykazuje menší pružící sílu, a proto se používá pro menší zdvihy. Teleskopická pružina se skládá z navinuté pásové pružiny a ze dvou přírub. Minimálně jedna z přírub musí být uložena otočně a umožnit pružině plynulý rotační pohyb, který je nutný pro správné zasouvání a vysouvání pružiny. [9][11][13]



Obrázek 16- Teleskopické pružiny a příklad použití [11]

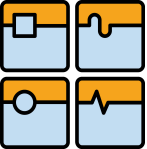


### 2.2.6 STĚRAČE NEČISTOT

Stěrače nečistot se používají pro ochranu vodících ploch obráběcích strojů. Zde zabraňují vnikání nečistot mezi kontaktní plochy vedení, a tím zamezí nadměrnému opotřebení a ztrátě přesnosti. Příkladem aplikace může být vodící plocha smykadla svislého soustruhu, nebo lineární vedení, kde by použití teleskopických a jiných krytů vedlo k podstatné redukci zdvihu. Stěrače jsou konstruovány z kovového nosného rámečku, na kterém je navulkanizován stěrač ze syntetického kaučuku. Rámečky přesně kopírují profil valivého nebo kluzného vedení. Stěrač je vůči vedení namontován s určitým předpětím, které se liší na základě použitého materiálu a velikosti stěrače. Stěrače mají omezenou odolnost vůči nečistotám a chemicky agresivním látkám, proto je nutné je po nějaké době vyměnit. [13]



Obrázek 17- Stěrač nečistot [14]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 2.3 KRYTY PRACOVNÍHO PROSTORU VNĚJŠÍ

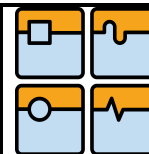
Funkcí vnějších krytů pracovního prostoru je ochrana okolí. Zejména je nutné chránit obsluhu stroje před vedlejšími produkty obrábění (třísky, řezná kapalina, aerosoly, hluk). Vnější krytování také musí v případě havárie odolat průrazu tělesa normou definované velikosti. Zároveň musí být funkční a umožňovat prostup obrobku a nástrojů do pracovního prostoru. Jeho součástí je mimo jiné bezpečnostní prosklení, které obsluze umožňuje kontrolovat průběh obráběcího procesu a v neposlední řadě také mechanismus kontroly přístupu obsluhy, popřípadě servisu do pracovního prostoru stroje.[16]

### 2.3.1 KAPOTÁŽ

Kapotáž stroje je druh vnějšího ochranného krytování, které uzavírá přístup do pracovního prostoru stroje buď úplně nebo jen částečně. U menších strojů jsou kapotáže většinou spojeny s rámem stroje a přepravovány ve smontovaném stavu. Pracovní prostor těchto strojů bývá úplně uzavřený. Částečně otevřené (většinou open-top) se u menších strojů používají tam, kde nehrozí proniknutí produktů řezného procesu do okolí, a naneštěstí i tam, kde lidské zdraví není prioritou. U větších strojů jsou kryty obestavěny okolo stroje a z převážné části umístěné na betonovém základu. Úplné uzavření pracovního prostoru velkých obráběcích strojů není často realizováno. Důvodem může být nutnost manipulace s velkými obrobky, vysoké náklady na krytování, neefektivní využití prostoru hal a další konstrukčně-provozní problémy. Dalším odůvodněním pro neuzavření pracovního prostoru může být také to, že při technologických parametrech třískového obrábění (převážně se obrábí konstrukční ocel nebo litina) nevzniká nutnost úplně uzavřít pracovní prostor. To ovšem neplatí pro svislá obráběcí centra na rotační součástky. Vysoké obvodové rychlosti obrobku a použití vysokotlakého chlazení (nad 2 MPa) způsobuje celkové znečištění prostoru aerosolem. Současně od břítu nástroje odlétává prach a třísky s velkou kinetickou energií. Proto jsou tato velká svislá centra vybavována ekologickými kryty. Příklad takového krytu ilustruje Obrázek 18. [1]



Obrázek 18- Krytování obráběcího centra Toshulin [18]



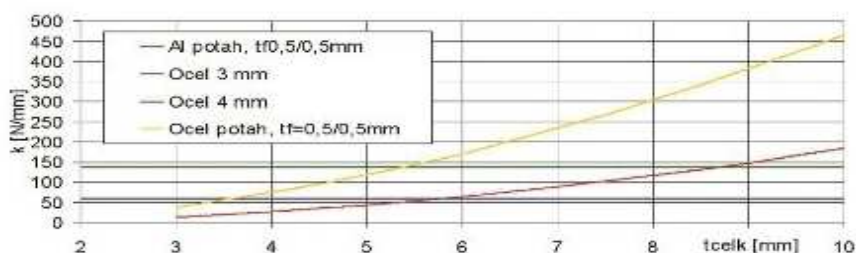
## MATERIÁL

Nejpoužívanějším materiálem kapotáží jsou ocelové plechy. Ty jsou pro malosériovou výrobu ekonomicky nejpříjemnější, ale ve spojení s klasickým klempířským zpracováním se dají vytvořit pouze omezené druhy tvarů. Většinou jde o rovinné kubické tvary, popřípadě zaoblení v jedné rovině. Jiné druhy zpracování ocelových plechů jsou pro malosériovou výrobu nerentabilní. Kapotáže z ocelových plechů mohou být jednoplášťové nebo víceplášťové. Vniklá mezera mezi jednotlivými panely víceplášťových provedení se využívá pro uložení hluk pohlcujících materiálů, o kterých pojednává kapitola 3.3.[1]

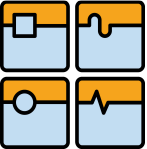


Obrázek 19- Kryt obráběcího centra sestavený z plechových dílců [21]

Snaha o snížení hmotnosti, snížení nákladů na výrobu, zvýšení bezpečnosti krytování při zachování nejvyšší kvality pohledových ploch vede k hledání nových řešení. Alternativou k ocelovým plechům mohou být sendvičové materiály, nerez, hliník, GFK laminát a technické tkaniny. Z výsledků práce výzkumného centra VCSVTT (Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii) vyplývá, že nejhodnější alternativou pro konstrukci krytování jsou sendvičové materiály. Kupříkladu materiál s hliníkovým voštinovým jádrem Alucore o tloušťce 6 mm má stejnou tuhost jako 3mm silný ocelový plech (DC01). Úspora hmotnosti je přitom cca 60%. Dalším zástupcem je běžně dostupný sendvičový materiál používaný pro fasády budov skládající se z polyethylenového jádra a dvou krycích hliníkových vrstev. Oba zmíněné materiály ale selhávají v požadavku na odolnost proti abrazi způsobené dopadem žhavých třísek. Tento problém řeší použití sendvičového materiálu s ocelovými krycími plechy (tl. 0,5mm). Porovnání tuhostí ocelových plechů se sendvičovými materiály s PE jádrem zobrazuje Obrázek 20. [17]



Obrázek 20- Porovnání tuhosti ocelového plechu a sendviče [17]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 29
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## PRŮHLEDY

V případě, že je při obráběcím procesu vyžadována optická kontrola obsluhy (většina případů), jsou součástí kapotáží také průhledy. Ty musí být zhotovené z bezpečnostních materiálů, které mají dostatečnou odolnost proti průrazu (kontrolovány podle normy stejně jako plechy), a nezpůsobí sekundární ohrožení obsluhy. Zároveň musí být odolné vůči otěru, teplotě, UV záření a nesmí podléhat degradaci působením řezné kapaliny. Takovým materiálem je mimo jiné bezpečnostní polykarbonát. Ten dokáže absorbovat velké množství energie, která je úměrná jeho tloušťce, není ale odolný proti otěru a působení řezné kapaliny. Z tohoto důvodu je z obou, nebo jen z vnitřní strany opatřen odolnou, většinou skleněnou vrstvou. Prosklení se montuje na kryty prostřednictvím hliníkového či ocelového rámečku. Překrytí rámečku a skla musí zamezit jeho vypadnutí vlivem nárazu součásti v případě havárie. Toto překrytí je určeno normou, odvíjí se od velikosti a tloušťky prosklení. Při návrhu uchycení prosklení je nutné počítat s jeho poměrně velkou tepelnou roztažností. Podle podkladů výrobce platí, že polykarbonát o délce 1 m se při změně teploty o 1 °C protáhne o 0,065 mm. Některé druhy bezpečnostního prosklení mají tu výhodu, že mohou být ohýbány.[1][16]

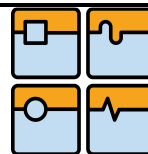


Obrázek 21- Tvarovaný kryt z polykarbonátu Lexan [23]

Během obrábění, kde je použita řezná kapalina, většinou dojde vlivem roztříku a ulpívání na průhledech k tomu, že se stávají neprůhlednými. Z tohoto důvodu jsou na kryty instalována zařízení jako RotoClear. Takováto zařízení pracují na principu rotujícího disku, na kterém vlivem odstředivých sil neulpívají kapky řezné kapaliny. Nevýhodou těchto zařízení je jejich malá velikost, která poskytuje obsluze pouze omezený přehled o dění v pracovním prostoru.[1]



Obrázek 22- Otočné okno RotoClear [24]



## Osvětlení

Uzavření obráběcího prostoru sebou nese nevýhodu v podobě nedostatečného osvětlení. Z tohoto důvodu je nutné pracovní prostor vybavit pomocným osvětlením. To je právě pro tento účel zhotoveno, tzn., musí být v souladu s bezpečnostními předpisy a zároveň musí odolat nepříznivým podmínkám panujícím v pracovním prostoru při obrábění. Osvětlení má být umístěno tak, aby dostatečně osvětlovalo celý pracovní prostor a zároveň neoslňovalo obsluhu stroje.



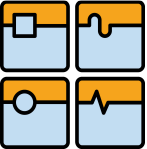
Obrázek 23- Svítidla pro osvětlení pracovního prostoru [11]

### 2.3.2 OCHRANNÉ PLOTY

V ojedinělých případech lze u obráběcích strojů využít ochranných plotů. Ty ale neuzavírají pracovní prostor a nemohou tedy dostatečně ochránit obsluhu před nebezpečím odletujících třísek, řeznou kapalinou a dalšími nebezpečími spojenými s vdechováním aerosolů a prachu. Ochranné ploty se proto často používají v kombinaci s místním ochranným zařízením, jako jsou kabiny operátorů u horizontálních frézovacích a vyvrtávacích strojů. Zde je potom jejich účelem pouze zamezit přístupu pracovníků k pohybujícím se částem stroje. Umístění a velikost ochranných plotů je podmíněno dodržením bezpečných vzdáleností definovaných normou. Častější je použití ochranných plotů pro manipulační činnosti, svařovací roboty a automatické výrobní linky, kde nehrozí nebezpečí odletujících částí.



Obrázek 24- Ochranné ploty frézovacího a vyvrtávacího stroje [26]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 31
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 2.3.3 BEZPEČNOSTNÍ OPTICKÉ ZÁVORY

Bezpečnostní optické závory nebo častěji vícepaprskové optické závěsy jsou podobným případem jako ochranné ploty. Zamezí kolizi obsluhy s pohyblivou částí stroje, ale nezamezí úniku produktů řezného procesu ven z pracovního prostoru. Proto se ke krytování pracovního prostoru obráběcích strojů až na výjimky nepoužívají. Tato zařízení pracují na principu detekce osoby nebo libovolného objektu prostřednictvím světelných paprsků. Paprsky jsou emitovány vysílačem a detekovány přijímačem nejčastěji ve formě úzkých, dlouhých „sloupků“. Dojde-li k přerušení dráhy jednoho nebo určeného počtu paprsků, zařízení se zastaví. Použití světelných závor je podmíněno dodržáním bezpečných vzdáleností, které ale v mnohých případech nemusí být dostatečné. Je potřeba počítat se setrvačností zařízení a rychlostí přiblížení lidské obsluhy, aby nenastala situace, kdy nebezpečný pohyb stroje není zastaven v okamžiku příchodu obsluhy. Vzdálenost umístění světelné závory proto musí být volena s ohledem na charakter zařízení a rychlost přiblížení částí lidského těla podle příslušné normy.[20]



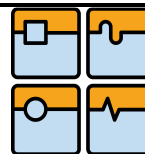
Obrázek 25- Příklad použití optické závory [20]

### 2.3.4 MÍSTNÍ OCHRANNÉ ZAŘÍZENÍ

Místní ochranná zařízení se používají, když je z důvodu velikosti stroje nebo velikosti obráběné součásti nevhodné krytovat celý stroj. Příkladem tohoto zařízení může být kabina operátora u stojanových nebo portálových obráběcích center. Kabina musí splňovat několik požadavků, které jsou na ni kladeny:[1]

- začlenění ovládacího panelu do kabiny;
- dobrá viditelnost do pracovního prostoru;
- možnost ruční výměny nástroje;
- zajištění dostatečného ergonomického komfortu;
- bezpečnost operátora.

Kabina operátora bývá pohyblivě vázána na pohyb nástroje v řezu (obvykle svislý a vodorovný směr). Účelem tohoto pohybu je, aby obsluha měla po celou dobu dobrý výhled do prostoru obrábění. Pohyb bývá realizován ve svislém směru hydraulickým válcem nebo



kuličkovým šroubem. Vodorovný výsuv je následně realizován pomocí kuličkového šroubu nebo článkového řetězu.[1] Příklad stroje s kabinou operátora ilustruje Obrázek 26.

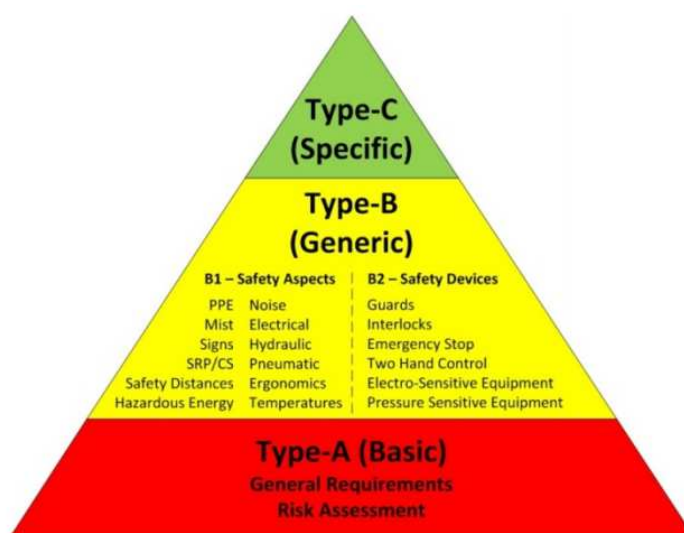


Obrázek 26 – Horizontální obráběcí centrum s kabinou operátora [27]



## 2.4 BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY NA KRYTY OS

Bezpečnost obráběcího stroje je v rámci Evropské unie podmínkou pro jeho uvedení na trh. Kritéria bezpečnosti určuje za pomoci harmonizačních právních předpisů Evropský parlament. Tyto předpisy formulují pouze základní požadavky určující úroveň ochrany a to formou výsledků, kterých má být dosaženo. Konkrétní specifikace požadavků a jejich dosažení, interpretovaných pomocí technických pojmů, formulují harmonizované normy, které jsou za tímto účelem vydávány. Použití a dodržení harmonizovaných norem vytváří předpoklad shody s těmito požadavky. Nutno dodat, že tyto normy nejsou závazné, a je ponechána možnost stanovit úroveň ochrany jiným způsobem. V případě bezpečnosti mechanických zařízení lze harmonizované normy rozdělit do tří základních skupin (Obrázek 27).[1]



Obrázek 27- Struktura rozdělení norem [25]

**Normy typu A:** Určují základní pravidla, zásady pro konstrukci a používání, terminologii a obecné faktory, které se vztahují k veškerým strojním zařízením. Příkladem této normy je ČSN EN ISO 12100, která specifikuje zásady identifikace, hodnocení a snižování rizika strojních zařízení. Tato norma slouží jako základ při zpracovávání bezpečnostních norem typu B a C.

**Normy typu B** je možné dále rozdělit na dva druhy, B1 a B2. Normy typu B1 se zabývají konkrétním bezpečnostním hlediskem, např. hlukem, bezpečnou vzdáleností, antropometrickými údaji, teplotou povrchu atd. Normy typu B2 se zabývají příslušnými ochrannými zařízeními, např. dvouručním ovládáním, ochrannými kryty nebo blokovacími zařízeními.

**Normy typu C:** Tyto normy se vztahují na konkrétní strojní zařízení. Typickým zástupcem takovéto normy je ČSN EN ISO 23 125, která se zabývá bezpečností soustruhů a soustružnických center.

Výčet bezpečnostních norem typu A a B pro strojní zařízení uvádí Tabulka 1.

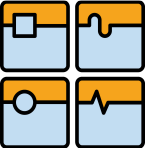
## Bezpečnostní normy pro strojní zařízení

Název	Norma
<b>Obecné</b>	
Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci	
Základní terminologie a metodologie	
Technické zásady	ČSN EN ISO 12 100
Posouzení rizika	
Elektrická zařízení strojů, všeobecné požadavky	ČSN EN 60204 ED.2
Bezpečnostní části ovládacích systémů	
Všeobecné zásady pro konstrukci	ČSN EN ISO 13849-1
Snižování ohrožení zdraví nebezpečnými látkami emitovanými strojními zařízeními	
Zásady a specifikace pro výrobce strojních zařízení	ČSN EN 626-1+A1
Metodologie návodu postupů ověřování	ČSN EN 626-2+A1
<b>Bezpečnostní prvky</b>	
Blokovací zařízení ochranných krytů	
Zásady pro konstrukci a volbu	ČSN EN ISO 14119
Elektrická snímací ochranná zařízení	ČSN EN 61496-1 ED.3
Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů	ČSN EN ISO 14120
Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla	ČSN EN ISO 13855
<b>Vzdálenosti, tepelné povrchy</b>	
Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla	ČSN EN 349+A1
Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami	ČSN EN ISO 13857
Ergonomie tepelného prostředí- Metody posuzování odezvy člověka na kontakt s povrchy- Horké povrchy	ČSN EN ISO 13732-1
<b>Zobrazení, řídicí ovladače, signalizování</b>	
Ergonomické požadavky pro navrhování sdělovačů a ovladačů	
Zobrazovače	ČSN EN 894-2+A1
Ovladače	ČSN EN 894-3+A1
Požadavky na vizuální a taktilní signály	ČSN EN 61310-1 ED.2
Požadavky na značení	ČSN EN 61310-2 ED.2
<b>Osoby</b>	
Tělesné rozměry	
Zásady stanovení požadovaných rozměrů otvorů pro přístup celého těla ke strojnímu zařízení	ČSN EN 547-1+A1
Zásady stanovení rozměrů požadovaných pro přístupové otvory	ČSN EN 547-2+A1
Antropometrické údaje	ČSN EN 547-3+A1
Fyzická výkonnost člověka	
Termíny a definice	ČSN EN 1005-1+A1
<b>Nouzové zastavení, dvouruční ovládání, elektrické odpojení</b>	
Nouzové zastavení- zásady pro konstrukci	ČSN EN ISO 13850
Dvouruční ovládací zařízení- Funkční hlediska - Zásady pro konstrukci	ČSN EN 574+A1
Zamezení neočekávanému spuštění	ČSN EN 1037+A1

Tabulka 1- Bezpečnostní normy typu A a B pro strojní zařízení

### 2.4.1 ODOLNOST PROTI PRŮRAZU

Základní vlastností krytu strojů pracujících s rotačními obrobky nebo nástroji je jejich odolnost proti průrazu. Za účelem ověření této odolnosti se provádí zkouška nárazem, která je definována C normou ČSN EN ISO 23125 pro soustružnická centra a C normou ČSN EN 12417 + A2 pro frézovací centra. Principem zkoušky je vystřelení projektilu s přesně definovanými parametry (jinými pro obě uvedené normy) kolmo proti zkoušenému předmětu přesně definovanou rychlostí. Parametry projektilu se určí podle normy na základě hmotnosti uvažovaného reálného tělesa, které je vymrštno proti krytu v případě havárie (úlolek nástroje, nástavec sklíčidla). Rychlost projektilu se následně určí na základě rovnosti energií projektilu a uvažovaného reálného tělesa. Po provedení zkoušky norma definuje její vyhodnocení, a následně stanovuje podmínky, kdy vyhovuje. Zkouškou nárazem musí projít i nejslabší místo celého krytu, kterým bývají zpravidla průhledové panely. Součástí norem jsou také výsledky zkoušek pro nejběžněji používané materiály. [40][41]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 35
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 3 HLUČNOST OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

#### 3.1 ZÁKLADY AKUSTIKY

Akustika je vědní obor zabývající se zvukem od jeho vzniku, šíření prostorem až po vnímání lidskými smysly. Zvuk je definován jako mechanické vlnění šířící se pružným látkovým prostředím, které je vnímáno lidským uchem, a dále zpracováno mozkiem jako jeden z vjemů. Lidské ucho může detekovat zvuk v rozsahu frekvencí 16 Hz až 20 kHz. Oblasti nad 20 kHz nazýváme ultrazvuk a oblasti pod 16 Hz infrazvuk. [2]

##### 3.1.1 AKUSTICKÉ VLNĚNÍ

Jak již bylo výše zmíněno, je pro šíření zvuku nezbytná přítomnost pružného látkového prostředí. Zvuk se šíří ve formě akustického vlnění, které je spojeno s přenosem energie. Mechanické vlnění můžeme rozdělit na dva základní druhy[2]:

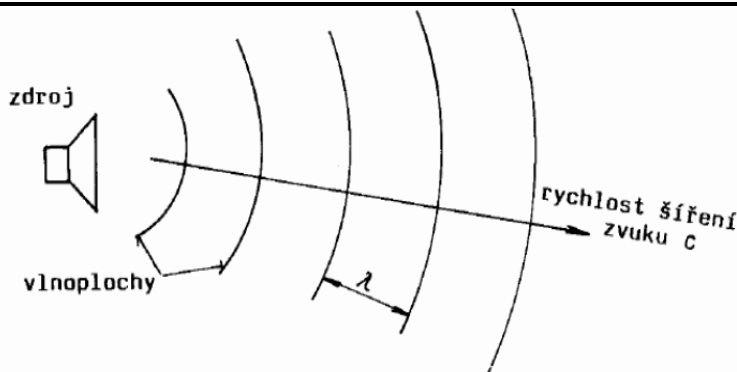
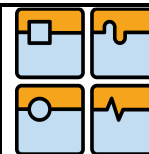
1. podélné - částice prostředí kmitají ve směru šíření vlny;
2. příčné – částice prostředí kmitají kolmo ke směru šíření vlny.

Pro šíření podélné platí, že směr kmitů je dán směrem šíření vlny. U šíření příčného je potřeba určit rovinu, ve které ke kmitání dochází. Případ, kdy se kmity dějí pouze v jedné rovině, nazýváme lineárně polarizované kmitání. U většiny pevných elastických materiálů se vyskytují současně podélné i příčné vlnění. U kapalin a plynů detekujeme pouze vlnění podélné. Okamžitou vzdálenost částice od její rovnovážné polohy lze vypočítat pomocí rovnice (1). Tuto veličinu nazýváme akustická výchylka.[2]

$$u = u_0 \cdot \sin\omega \left( t \pm \frac{x}{c} \right) \quad (1)$$

Kde:	u	[m]	- akustická výchylka,
	$u_0$	[m]	- amplituda akustické výchylky,
	$\omega$	[rad.s <sup>-1</sup> ]	- úhlový kmitočet,
	t	[s]	- čas nutný k uražení dráhy x rychlostí zvuku,
	x	[m]	- vzdálenost od zdroje akustického vlnění,
	c	[m.s <sup>-1</sup> ]	- rychlost šíření zvuku.

Akustické vlnění se šíří prostředím ve vlnoplochách. Vlnoplocha je plocha spojující místa, kde kmitají všechny částice se stejnou fází. Obecně mohou mít vlnoplochy jakýkoli tvar. Jedná-li se o prostředí izotropní, ve kterém zvukové vlny postupují stejně rychle do všech směrů, můžeme rozlišovat dva typy vlnoploch - kulové a rovinné. Vlnoplochy kulové se vyskytují v blízkosti bodového zdroje, který má menší velikost než vlnová délka šířícího se vlnění. Vlnoplochu kulovou můžeme aproximovat na rovinnou, pokud se nacházíme dostatečně daleko od bodového zdroje. Vzdálenost mezi jednotlivými vlnoplochami můžeme popsat jako vlnovou délku  $\lambda$ . [2]



Obrázek 28- Šíření akustického vlnění ve vlnoplochách[2]

Vlnovou délku lze u podélného vlnění definovat jako vzdálenost dvou nejbližších bodů, které kmitají se stejnou fází. Pokud dáme vlnovou délku do souvislosti s časem, můžeme o ní hovořit jako o vzdálenosti, kterou urazí akustická vlna za dobu jednoho kmitu. Potom pro příčné i podélné vlnění platí uvedený vztah. [2]

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} = \frac{c}{2 \cdot \pi \cdot \omega} \quad (2)$$

Kde:  $\lambda$  [m] - vlnová délka,  
 $T$  [s] - perioda,  
 $f$  [Hz] - kmitočet (frekvence vlnění).

### 3.1.2 AKUSTICKÁ RYCHLOST

Jedná se o rychlost, se kterou kmitají jednotlivé částice prostředí, ve kterém se šíří akustické vlnění. Akustická rychlost je jedna z nejdůležitějších akustických veličin, a je nutné ji striktně odlišit od rychlosti šíření zvuku. Akustická rychlost je o několik řádů menší než rychlost šíření zvuku. Její hodnota se zjistí na základě parciální derivace akustické výchylky (1). [2]

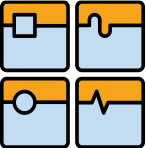
$$v = \omega \cdot u_0 \cdot \cos \left[ \omega \left( t \pm \frac{x}{c} \right) \right] \quad (3)$$

### 3.1.3 AKUSTICKÝ TLAK

Vlivem pohybu částic působením akustického vlnění dochází v kapalinách a plynech k periodickému přetlaku a podtlaku, které kopíruje tvar vlnoploch. Tyto změny tlaku souvisí se změnou celkového statického tlaku, což je součet barometrického tlaku  $p_b$  a akustického tlaku  $p$ . Tyto hodnoty mají mezi sebou ale několik řádů rozdíl ( $p_b$  je přibližně 100 000 Pa, zatímco akustický tlak  $p$  začíná lidské ucho vnímat při  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa). Matematický zápis průběhu akustického tlaku je totožný s průběhem akustické výchylky i akustické rychlosti. [2]

$$p = p_0 \cdot \cos \left[ \omega \left( t \pm \frac{x}{c} \right) \right] \quad (4)$$

Kde:  $p$  [Pa] - akustický tlak,  
 $p_0$  [Pa] - amplituda akustického tlaku.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 3.1.4 RYCHLOST ŠÍŘENÍ ZVUKOVÉ VLNY

Rychlost šíření zvukové vlny je veličina závislá na vlastnostech prostředí, kterým se šíří. Konkrétně se jedná o modul objemové pružnosti  $K$  (u pevných látek dynamický modul pružnosti v tahu  $E$ ) a hustotu prostředí. Pro kapaliny a plyny tedy platí následující vztah. [2]

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (5)$$

Kde:  $c$  [m.s<sup>-1</sup>] - rychlost šíření zvuku v kapalinách a plynech;  
 $K$  [Pa<sup>-1</sup>] - modul objemové pružnosti;  
 $\rho$  [kg.m<sup>-3</sup>] - hustota prostředí.

Jak již bylo výše zmíněno, u pevných látek rozlišujeme dva druhy vlnění, podélné a příčné. U pevných látek je určení rychlosti šíření podélné zvukové vlny velice složité. Proto byl nejprve odvozen vztah pro rychlost šíření podélných vln v tenkých tyčích. [2]

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (6)$$

Kde:  $c_L$  [m.s<sup>-1</sup>] - rychlost šíření podélných vln v tenkých tyčích;  
 $E$  [Pa] - dynamický modul pružnosti v tahu.

U rychlosti šíření podélných vln v deskách, musíme uvažovat i vliv kontrakce materiálu v příčném směru. Ta se do výpočtu zahrne pomocí poissonova poměru  $\mu$ . [2]

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{1-\mu^2}} \quad (7)$$

Kde:  $c_L$  [m.s<sup>-1</sup>] - rychlost šíření podélných vln v deskách;  
 $\mu$  [-] - Poissonovův poměr.

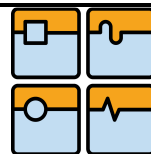
Rychlost šíření příčných vln v tyčích a deskách se následně vypočítá podle následující rovnice. [2]

$$c_T = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2 \cdot (1+\mu)}} \quad (8)$$

Kde:  $c_T$  [m.s<sup>-1</sup>] - rychlost šíření příčných vln v tyčích a deskách.

### 3.1.5 OHYBOVÉ VLNY

U těles jako jsou tyče a desky, které mají jeden nebo dva rozměry mnohem menší než ostatní, může snadno vzniknout, složením vlnění podélného a příčného, vlnění ohybové. Rychlost šíření ohybových vln není konstantní, jako tomu bylo v předcházejících případech, ale je různá v závislosti na kmitočtu a rozměrových parametrech součásti. Ohybové vlnění je nejnebezpečnější z hlediska šíření a vyzařování zvuku. To je způsobeno tím, že částice tělesa vlivem ohybového vlnění kmitají kolmo k povrchu, a tím pádem mohou účinně předávat svoji



energii na částice vzduchu, které ji obklopují. Tato součást se následně stává akustickým zářičem. Pro rychlost ohybových vln v tyčích platí následující vztah. [2]

$$c_B = \sqrt{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_S}{m'}} \quad (9)$$

Kde:  $c_B$  [m.s<sup>-1</sup>] - rychlost šíření ohybových vln v tyčích;  
 $I_S$  [m<sup>4</sup>] - moment setrvačnosti průřezu dané tyče;  
 $m'$  [kg.m<sup>-1</sup>] - hmotnost jednotkové délky tyče.

Pro výpočet délky ohybových vln v součástech, které mají charakter desky, je opět nutné do výpočtu zahrnout vliv kontrakce. Pro rychlost šíření ohybových vln v deskách potom platí následující vztah. [2]

$$c'_B = c_B \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{1-\mu^2}} \quad (10)$$

Kde:  $c'_B$  [m.s<sup>-1</sup>] - rychlost šíření ohybových vln v deskách.

Pokud budeme chtít zjistit vlnovou délku ohybového vlnění, použijeme následující vztah. [2]

$$\lambda_B = \frac{c_B}{f} = \sqrt{\frac{1,8 \cdot c_L \cdot h}{f}} \quad (11)$$

Kde:  $\lambda_B$  [m] - vlnová délka ohybové vlny;  
 $h$  [m] - charakteristický rozměr desek (tloušťka).

### 3.1.6 AKUSTICKÝ VÝKON

Akustický výkon je veličina, která se nemění se vzdáleností od zdroje, ale je pořád stálá. Můžeme jej definovat jako množství zvukové energie vygenerované zdrojem za jednu sekundu, která projde přes plochu  $S$ . Akustický výkon můžeme vyčíslit pomocí jednoduchého vztahu. [6]

$$W = I \cdot S \quad (12)$$

Kde:  $W$  [w] - akustický výkon;  
 $I$  [w.m<sup>-2</sup>] - akustická intenzita;  
 $S$  [m<sup>2</sup>] - plocha.

### 3.1.7 AKUSTICKÁ INTENZITA

Akustická intenzita je definovaná jako vektor, který charakterizuje směr a množství akustické energie v určitém prostředí. Jedná se tedy o akustický výkon, který projde plochou, která je kolmá na směr šíření zvukových vln, za jednotku času na metr čtvereční. Tato skutečnost se dá interpretovat jednoduchým vzorcem. [6]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

$$I = \frac{W}{S} \quad (13)$$

Kde: W [w] - akustický výkon;  
I [w.m<sup>-2</sup>] - akustická intenzita;  
S [m<sup>2</sup>] - plocha.

### 3.2 HLUK

Hluk je definován jako každý nežádoucí zvuk. Přesněji fyzikálně tento pojem vyjádřit nelze a to hlavně z toho důvodu, že záleží na vztahu konkrétní osoby k danému zvuku. Pro jednu osobu může konkrétní zvuk představovat nežádoucí hluk, a pro jinou může být podstatným zdrojem informací. Hluk může působit i jako bezpečnostní faktor. Pokud pohybující se zařízení produkuje hluk, může být tento hluk jediným faktorem, kterým člověk toto nebezpečí identifikuje, když nemá se zařízením vizuální kontakt. Například přijíždějící elektromobil může být téměř neslyšitelný pro chodce, kteří mohou následně v domněnku, že jim nehrozí nebezpečí vstoupit do vozovky pod kola tomuto elektromobilu. Podobné případy pohybujících se vozidel a manipulačních zařízení můžeme pozorovat i v průmyslových objektech. Tento příklad dokumentuje, že boj proti hluku není bojem proti produkci hluku celkově ale bojem proti nepřiměřenému hluku, který působí negativně na pobyt a práci člověka nebo v extrémních případech ohrožuje jeho zdravotní stav. [2]

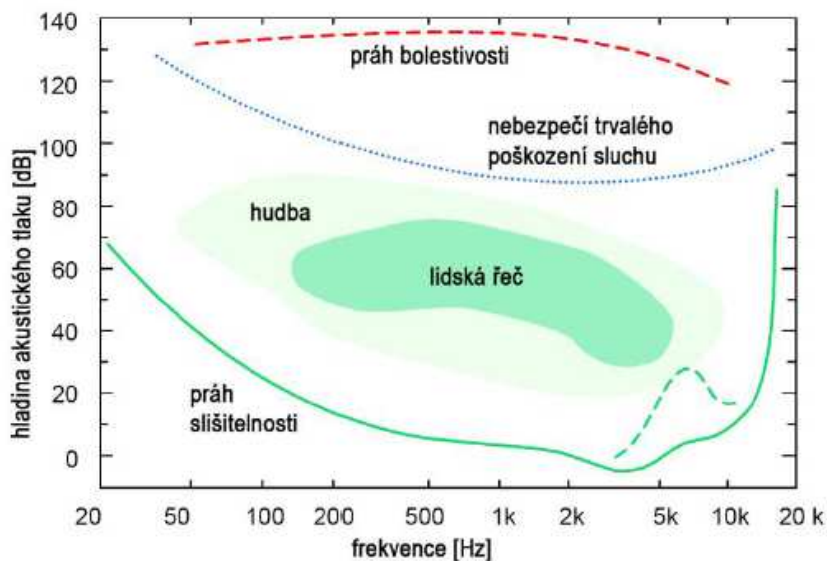
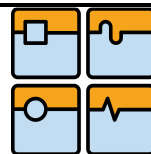
Závažnou vlastností zvuku je jeho schopnost šířit se na velké vzdálenosti stejně dobře vzduchem, vodou i pevnou látkou (rámové konstrukce, konstrukce budov). Pokud jsou splněny některé podmínky, může se akustické vlnění odrážet, ohýbat a lomit. V důsledku toho může hluk obklopit celé pracoviště tak, že je velice obtížné stanovit, kde se nachází zdroj akustické energie. [2]

Používaným měřítkem kvality výrobků je dnes stále častěji poměr výkon/hmotnost. Tento trend vede výrobce k vylehčování konstrukcí zařízení. Z hlukového a vibračního hlediska ne vždy zcela dobře vylehčené konstrukce pak ztrácejí svoje zvukoizolační vlastnosti a způsobují nárůst vyzařovaného akustického výkonu. K produkci hluku pak výrazně přispívá i fakt neustále se zvyšujících výkonových parametrů strojů a zařízení. [2]

#### 3.2.1 ÚČINKY HLUKU NA ČLOVĚKA

Účinky hluku na člověka jsou velice nebezpečné v tom, že se nijak moc výstražně neprojevují. Často jsou příznaky jako dočasné snížení citlivosti sluchu, nebo např. špatné soustředění na práci, bolesti hlavy, zaměněny za jiné zdravotní problémy. S dobou strávenou v hlučném prostředí ale roste riziko vážnějších zdravotních problémů, protože jeho účinky kumulují. Účinek hluku je ale obtížné hodnotit z toho důvodu, že je na každého člověka jiný.

Hodnocení hlukové expozice se provádí pomocí hladiny akustického tlaku, která je korigovaná filtrem A. Člověk, jak již bylo výše zmíněno, vnímá zvuky v rozsahu od 16 Hz do 20 kHz. Citlivost na jednotlivé zvuky frekvenčního spektra je ale v tomto rozsahu různá, proto se provádí korekce pomocí uvedeného filtru A. Tento filtr má útlumovou charakteristiku odpovídající přibližně citlivosti zdravého sluchového orgánu. Změna hladiny akustického tlaku A následně přibližně odpovídá pocitovému nárůstu nebo zeslabování zvuků. [2]



Obrázek 29 – Frekvenční a amplitudová oblast citlivosti lidského ucha[7]

Lidé se většinou necítí dobře, pokud je v prostředí nízká hladina akustického tlaku A. Hladinu okolo 20 dB hodnotí lidé jako hluboké ticho. Hodnota okolo 30 dB je považována jako příjemné ticho. Účinky hluku se začínají nepříznivě projevovat od 65 dB změnami vegetativních reakcí. Pokud je lidský organismus dlouhodobě vystaven hodnotám akustického tlaku A 85 dB a vyšším, projevují se změny vegetativních reakcí ve větší míře, zároveň dochází k trvalému poškození sluchu a působení na celou nervovou soustavu. Při hodnotách okolo 130 dB se účinky hluku začínají projevovat bolestí ve sluchovém orgánu. Při hladinách okolo 160 dB dochází k protržení bubínků. [2]

Vysoká hladina akustického tlaku na pracovišti ve výsledku vede ke snížení produktivity, kvality práce a zároveň je ohrožena bezpečnost. Proto je v zájmu každého zaměstnavatele tyto vlivy eliminovat. [2]

### 3.2.2 METODY SNIŽOVÁNÍ HLUKU

#### Metoda redukce hluku ve zdroji

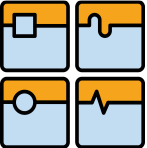
Metoda je založena na úplném odstranění zdroje akustické energie nebo v jeho částečné eliminaci. Tato metoda je z ekonomického hlediska mnohem šetrnější než dodatečná protihluková opatření. Použitím této metody dosahujeme nejúčinnějších opatření. Metodu je možno aplikovat ve stavbě strojů, technologických a manipulačních zařízení, dopravních prostředcích atd. Snížení vyzařování hluku lze například použitím tlumení vibrujících částí stroje. U kompresorů a spalovacích motorů může být snížení akustické energie dosaženo tlumením sání a výfuku. [2]

Za současného stavu poznání technické akustiky není možné navrhovat zcela bezhlučná zařízení. To by v mnoha případech nebylo ani žádoucí z toho důvodu, že hluk vydávaný strojním zařízením může indikovat jeho technický stav. [2]

#### Metoda dispozice

Tato metoda spočívá ve vhodném situování zdrojů hluku od chráněných a méně hlučných prostor. Ve větším měřítku to znamená vhodně situovat výrobní podniky a



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 41
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

dopravní tepny, aby nedocházelo ke hlukovému ovlivnění v prostoru jako jsou nemocnice, rekreační střediska a školní zařízení atd. V menším měřítku se potom jedná zejména o vhodné umístění hlučných zařízení do místnosti odlehle chráněným nebo méně hlučným prostorům. [2]

#### **Metoda izolace**

Metoda izolace je založena na odizolování hlučného zařízení, popřípadě prostoru od místa chráněného. Metoda je využívána především stavební akustikou, která se zabývá návrhem, výpočtem a stavbou krytů, stropů, příček izolujících hluk. V oblasti strojírenství, pokud není možnost snížit hluk ve zdroji, se zařízení dávají pod zvukoizolační kryty. Ty mají za úkol zabránit šíření akustické energie do okolí. [2]

#### **Metoda aplikace poznatků prostorové akustiky**

Tato metoda využívá poznatků z oblasti zejména zvukové pohltivosti. To je vlastnost některých materiálů a konstrukcí, které přeměňují zvukovou energii na teplo. [2]

#### **Metoda aplikace osobních ochranných pomůcek**

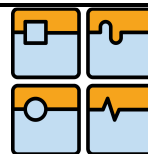
Tato metoda se uplatňuje až jako poslední možnost pouze v případech, kdy z určitých důvodů nebylo možné předcházející metody použít, nebo nedosahují-li dostatečné účinnosti. Za těchto okolností je na místě aplikace osobních ochranných pomůcek, jako jsou zátky do uší, sluchátkové chrániče, apod. [2]

Největší eliminace hluku se dosáhne kombinací výše uvedených metod. Přednostně aplikujeme metody, při kterých dosahujeme vysokých útlumů, a zároveň jsou cenově dostupné. Zpravidla platí, že zahrnutí protihlukových opatření do vývoje zařízení vyjde mnohem levněji než opatření dodatečná. Pro konstrukci a výrobu strojů, kde má být aplikováno protihlukové opatření, je zásadní určit příčinu vzniku hluku. Nejlépe určit, který díl akustickou energii vyzařuje. Toto je dnes možné díky speciálním měřicím metodám, které fungují na principu fázové a směrové analýzy. Někdy se jako zdroje akustické energie jeví celá velká zařízení nebo stroje. Pravou příčinou hluku ale mohou být pouze konstrukční detaily. Následná eliminace hluku strojních zařízení na pracovištích i v oblasti komunální hygieny lze shrnout do následujících bodů[2]:

- a) konstrukční úpravy dílů vyzařujících hluk;
- b) aplikace krytů a protihlukových zábran;
- c) aplikace tlumičů hluku;
- d) aplikace izolátorů vibrací;
- e) aplikace speciálních materiálů eliminujících vyzařování hluku;
- f) změna technologie;
- g) vhodné rozložení zdrojů hluku a chráněných prostor.

### **3.3 MATERIÁLY POHLCUJÍCÍ ZVUK**

Materiály pohlcující zvuk se nejčastěji využívají ve stavební a prostorové akustice. Ve strojírenství je jejich použití také velmi široké. Pod pojmem pohlcování si představíme přeměnu zvukové energie na jinou energii, obvykle tepelnou.[3]  
K úbytku zvukové energie dochází [4]:



- Třením částic uvnitř pórovitého materiálu, který má velkou styčnou plochu.
- Kolísáním akustického tlaku zvukové vlny výměnou tepla mezi vzduchem a izolantem.
- Přeměnou v důsledku hystereze (nepružné deformace) těles. Vyzařovaná energie stěnou se poté sníží.

Ke snížení akustické energie ve skutečnosti dochází kombinací všech těchto možností.

### 3.3.1 ČINITEL ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI

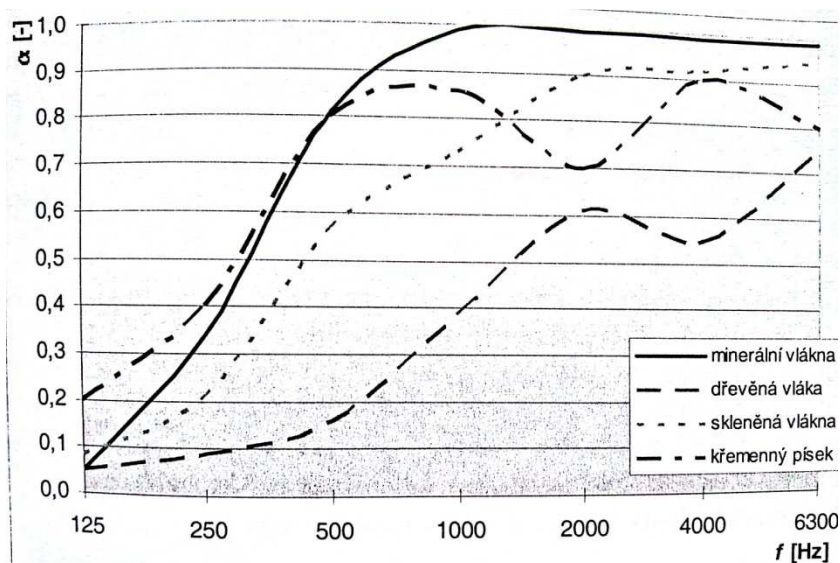
Základní charakteristikou materiálů pohlcujících zvuk je závislost činitele zvukové pohltivosti na frekvenci vlnění. Činitel zvukové pohltivosti  $\alpha$  vyjadřuje pohltivé vlastnosti stěny, kdy při dopadu zvukové vlny na stěnu se část odrazí a část projde do prostoru za stěnou. Tento činitel  $\alpha$  lze vypočítat z akustického výkonu, resp. Intenzity [4]:

$$\alpha = \frac{W_{\text{Pohlčený}}}{W_{\text{Dopadající}}} = \frac{I_{\text{Pohlčená}}}{I_{\text{Dopadající}}} \quad (14)$$

- Kde:  $\alpha$  [-] - činitel zvukové pohltivosti, nabývá hodnoty v intervalu  $\langle 0,1 \rangle$ ;
- $W_{\text{Pohlčený}}$  [W] - akustický výkon pohlcený materiálem;
- $W_{\text{Dopadající}}$  [W] - akustický výkon dopadající na materiál;
- $I_{\text{Pohlčená}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] - intenzita zvuku pohlcená materiálem;
- $I_{\text{Dopadající}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] - intenzita zvuku dopadající na materiál.

Pro  $\alpha=1$  stěna pohlcuje zvuk úplně a pro  $\alpha=0$  stěna dokonale odráží zvuk. Činitel zvukové pohltivosti  $\alpha$  se zjišťuje pomocí dvou základních metod [2]:

- metodou stojatého vlnění pro kolmý dopad vln (v praxi malý význam);
- metodou dozvukové komory.



Obrázek 30 – Průběh frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti pro uvedené materiály[5]

### 3.3.2 NEPRŮZVUČNOST

Ve strojírenství jsou často používány různé stěny, příčky, překážky a kryty ve tvaru desek z různého materiálu za účelem zvukové izolace. Neprůzvučnost dělicího prvku (například stěny) nám vyjadřuje schopnost stěny nepropouštět na její druhou stranu akustické vlnění.[2] V technické praxi rozlišuje dva druhy neprůzvučnosti[2]:

- vzduchová neprůzvučnost, která sleduje šíření akustické energie ze vzduchu přes stěnu do vzduchu za stěnou;
- kročeťová neprůzvučnost (ve stavební akustice).

$$R = 10 \cdot \log \frac{1}{\tau} \quad (15)$$

Kde: R [dB] - vzduchová neprůzvučnost;  
 $\tau$  [-] - činitel průzvučnosti.

$$\alpha + \beta + \tau = 1 \quad (16)$$

Kde:  $\alpha$  [-] - činitel zvukové pohltivosti;  
 $\beta$  [-] - činitel zvukové odrazivosti;  
 $\tau$  [-] - činitel zvukové průzvučnosti.

Vzduchová neprůzvučnost tohoto prvku je závislá na frekvenci, a je třeba uvádět toto spektrum.

### 3.3.3 PORÉZNÍ MATERIÁLY

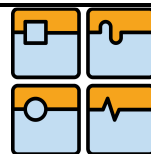
Mezi materiály, které výrazně pohlcují hluk, patří tzv. porézní materiály, a také látky a konstrukce pracující na rezonančním principu. Za porézní materiály považujeme materiály s pórovitostí vyšší než 60%. Podle struktury je možné rozdělit porézní materiály do tří skupin [3][5]:

- vláknité;
- partikulární;
- pěnové.

#### A) VLÁKNITÉ MATERIÁLY:

##### - PLSTĚ A NETKANÉ TEXTILIE

Do této kategorie patří i netkané textilie vyrobené pomocí technologie STRUTO. Je to unikátní systém pro výrobu kolmo kladených netkaných textilií se zcela novými vlastnostmi. Vytvořená vláknenná vrstva vykazuje zvýšenou odolnost vůči stlačení a deformaci, je objemná. Elastické zotavení po zatížení je vyšší nežli u polyuretanových pěn nebo standardních textilií s horizontálně kladeným vláknem. Výhodou je i zdravotní a ekologická nezávadnost výrobků, recyklovatelnost výrobků, možnost zpracovat všechny typy vláken včetně recyklovaných, přírodních i syntetických. Nevýhodou je nasákavost.[28]

**- DŘEVOVLÁKNITÉ DESKY**

Jedná se o materiály vyráběné lisováním dřevních vláken (MDF desky).

**- MINERÁLNÍ A SKELNÉ VATY**

Tyto materiály se používají k tepelné, protipožární a zvukové izolaci, protože jsou nehořlavé, mají vynikající tepelně-izolační vlastnosti a dobře pohlcují zvuk. Také jsou odolné vůči většině chemických látek a jsou paropropustné. Skelná vata má lepší vlastnosti z hlediska pružnosti a má nižší měrnou hmotnost. Minerální vata z keramických vláken (například čedičová) má lepší odolnost proti vysokým teplotám. Vata se upravuje do rolí a desek, další možností je foukaná minerální izolace.[29]

**B) PARTIKULÁRNÍ:**

Jedná se o akustické materiály tvořené většinou anorganickými částicemi kameniva, které jsou spojené pojivem na organické i anorganické bázi. Typickým zástupcem těchto materiálů jsou akustické desky z mezerovitého betonu nebo mezerovité polymer-betony.[5]

**C) PĚNOVÉ:****- POLYURETANOVÉ PĚNY (PUR)**

Tento materiál má velmi široké spektrum tuhostí, tvrdostí a hustoty. Podle jeho chemického složení a způsobu vytvoření může vzniknout řada zcela odlišných druhů polyuretanů. Například flexibilní pěny, tuhé pěny, měkké pěny, tvrdé pěny. Výrazné vlastnosti PUR: lehké, pevné, pružné, oděruvzdorné. Nejpoužívanější protihlukový materiál na bázi PUR pěn je **molitan**. Stupeň absorpce zvuku závisí i na profilování desek v různých dezénech (vlnky, pyramidy, jehlany). Tvar výstupků z izolačního materiálu ještě dodatečně pohlcuje akustické vibrace. Molitan s uhlíkovým vláknem má lepší pevnost, vyšší životnost, vyšší odolnost vůči vlhkosti.[31]

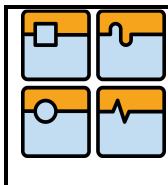
Stupeň absorpce  $\alpha_s$  dle DIN 52212

Tvar	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Deska	0,19	0,53	0,81	1,00	0,94	1,01
Jehlan	0,14	0,40	0,75	0,98	0,98	1,02
Vlnky	0,11	0,32	0,63	0,90	0,91	0,95



Obrázek 31 – Stupeň zvukové pohltivosti pro různé tvary PUR akustických panelů[31]

Akustické panely na bázi PUR pěn jsou ideální pro redukci hluku strojních zařízení, protože kromě výborných akustických vlastností splňují i mezinárodní podmínky hořlavosti pro použití ve strojních zařízeních a jsou odolné vůči agresivnímu prostředí.[30]



Objednací číslo	Rozměry v mm	Stupeň absorpce v DIN 52212					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
S 200-020	1500x1000x20	0,09	0,14	0,28	0,59	0,87	0,86
S 200-030	1500x1000x30	0,11	0,23	0,53	0,92	0,90	0,99
S 200-040	1500x1000x40	0,15	0,39	0,69	0,92	0,90	1,00
S 200-050	1500x1000x50	0,19	0,53	0,81	1,00	0,94	1,00
S 200-080	1500x1000x80	0,36	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00

Obrázek 32 – Stupeň zvukové pohltivosti pro různé tloušťky PUR akustických desek[30]

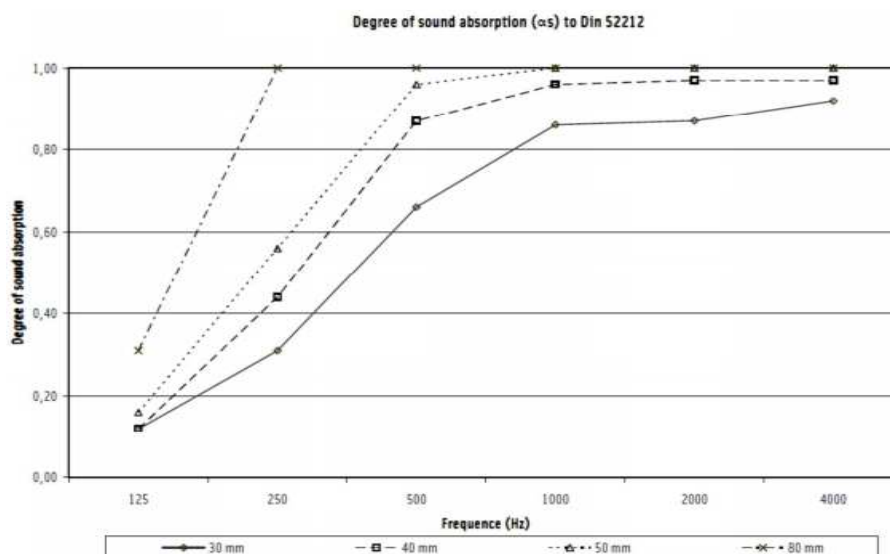
**- MELAMINOVÉ PĚNY**

Jedná se o elastickou pěnu na bázi melaminové pryskyřice. Při výrobním procesu dochází k extrémně otevřené struktuře buněk. Z důvodu této výjimečné struktury jsou pro tuto pěnu charakteristické: velmi nízká hmotnost (cca 9kg/m<sup>3</sup>), vysoká absorpce zvuku (až 90%), malý součinitel přestupu tepla, velký teplotní rozsah použití (-200 až 240 °C), nehořlavost, vysoká chemická stálost v prostředí paliv, olejů, chladících nebo řezných kapalin.[32]

**SOUND ABSORPTION DIN 52212**

Degree of sound absorption (αs) to DIN 52212						
	125	250	500	1000	2000	4000
30 mm	0,12	0,31	0,66	0,86	0,87	0,92
40 mm	0,12	0,44	0,87	0,96	0,97	0,97
50 mm	0,16	0,56	0,96	1,00	1,00	1,00
80 mm	0,31	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Obrázek 33 – Činitel zvukové pohltivosti pro různé tloušťky melaminových akustických panelů [32]



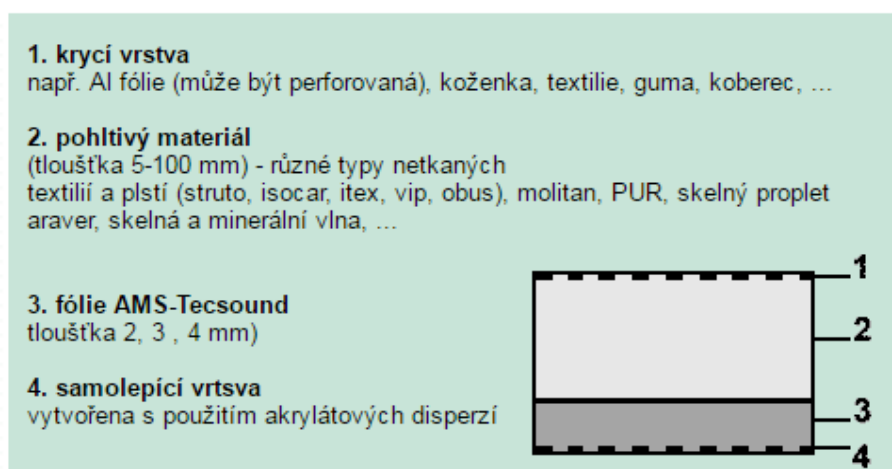
Obrázek 34 – Graf zvukové pohltivosti pro různé tloušťky melaminových akustických panelů[32]

### 3.3.4 ZVUKOVĚ IZOLAČNÍ SENDVIČ

Varianty zvukově izolačních sendvičů vznikají přímo dle potřeb a požadavků zákazníka. Sendvič má tři základní funkce [34]:

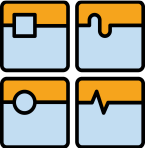
- funkce antivibrační;
- brání prostupu hluku;
- pohlcování hluku.

Místo aplikování tří samostatných vrstev se aplikuje pouze jedna „sendvičová vrstva“.



Obrázek 35 – Zvukově izolační sendvič [34]

Fólie AMS má vysokou hodnotu neprůzvučnosti a s dalšími materiály vznikají zvukově izolační sendviče s mimořádnými vlastnostmi. Tato fólie byla speciálně vyvinuta pro snížení rezonancí a vibrací tenkých plechů. Je využita pro snižování hlučnosti i u obráběcích strojů, může být aplikována na vnitřní i vnější stranu krytu, může být součástí obložení podlahy, stěn, i stropu haly.[34]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 47
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 3.4 MĚŘENÍ HLUKU OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Měření hluku obráběcích strojů je speciální disciplínou. Postupy a vyhodnocování výsledků měření jsou svázané příslušnými normami. Protokol o měření musí obsahovat veškeré údaje potřebné k tomu, aby bylo možné měření za stejných podmínek zopakovat. Při samotném měření je dobré postupovat podle logické posloupnosti, která nám pomůže k efektivnímu dosažení žádaných výsledků při maximálním ošetření vlivu okolního prostředí.[7]

#### 3.4.1 PŘÍPRAVNÉ ČINNOSTI

##### STAV STROJE PŘED ZKOUŠKOU

Měřený stroj by měl být kompletně zakrytován a plně vybaven včetně funkčních obslužných agregátů. Případná nekompletnost může vést k ovlivnění výsledků, a musí být zaznamenána v protokolu. Dále by stroj měl být zahřátý na provozní teplotu, a proto se před měřením provádí zahřívací procedura. Samotné měření pak probíhá při zatížení a různých provozních režimech. Průběh zkoušek z hlediska provozních režimů stanovují příslušné normy (ISO 8525 pro soustruhy a frézky). Pokud měřenému stroji neodpovídá žádná příslušná norma, je možné určit provozní režimy na základě typické činnosti, kterou stroj provádí. Tvorba těchto režimů je ale ošetřena normou ČSN EN ISO 12001. Všechny podmínky zkoušky musí být zaznamenány do protokolu o měření.[7]

##### OKOLNÍ PROSTŘEDÍ

Akustické vlastnosti okolního prostředí stroje mají zásadní vliv na výsledek měření. Tyto vlastnosti lze měřit například dobou dozvuku a potom je nutné je specifikovat do protokolu pro výpočet korekcí. Pomocí akustických vlastností okolního prostředí se stanovuje metoda měření. Ta může být přesná, technická nebo provozní.[7]

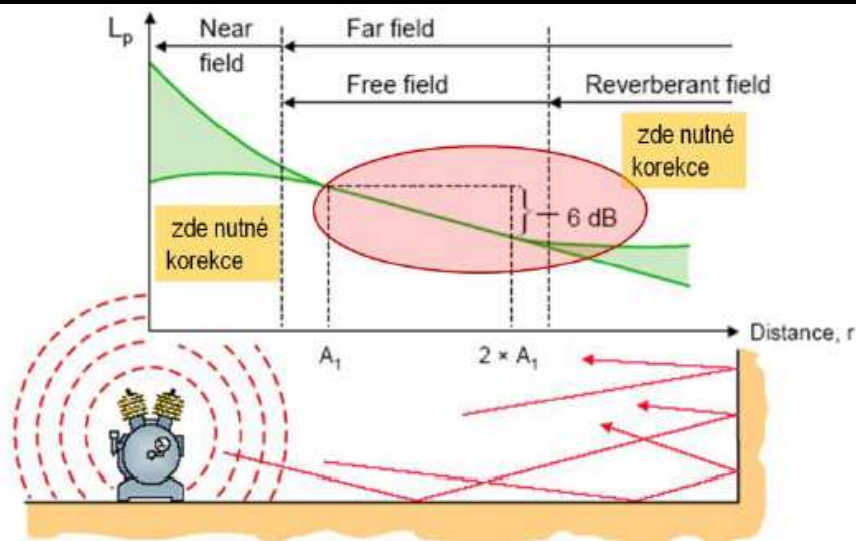
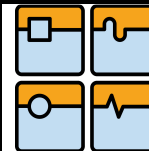
##### KOREKCE MĚŘENÍ

Zpravidla při měření rozlišujeme dva druhy korekcí:

1. korekce na prostředí místa;
2. korekce na hluk pozadí;

První korekce úzce souvisí s akustickými poli. Ty můžeme rozdělit na blízké, volné a dozvukové. V případě dozvukového pole dochází k ovlivnění výsledků odraženým akustickým vlněním, proto je třeba uvést korekce na prostředí (K2 resp. K3). Stejně tak je nutná korekce při měření v přílišné blízkosti, kde také dochází ke zkreslování výsledků. Volné pole je z hlediska měření ideální, a proto ho není potřeba korigovat. Přítomnost volného pole lze jednoduše prokázat pomocí dvou měření, kdy jedno je provedeno v určité vzdálenosti od zdroje a druhé ve vzdálenosti dvojnásobné. Pokud je rozdíl hladin akustického tlaku 6 dB nachází se mezi měřícími body volné pole. Názorný příklad akustických polí ilustruje Obrázek 36. [7]

Druhá zmíněná korekce na hluk prostředí (K1) má význam při měření v provozech a dílnách, kde hlučnost okolí může dosahovat vysokých hodnot. Tato korekce se nemusí provádět, pokud mají tyto hodnoty hluku dostatečný odstup od hodnot hluku měřeného zařízení (více než 15 dB).[7]



Obrázek 36 - Definice akustických polí[7]

Dalšími nepříznivými vlivy, které ovlivňují výsledky měření, mohou být proudění vzduchu, vibrace, teplota a elektromagnetické záření. Pro tyto vlivy nejsou k dispozici žádné korekce, ale je třeba je zaznamenat, posoudit jejich vliv na výsledky, případně zohlednit jejich vliv při výpočtu nejistot měření.[7]

#### PŘÍPRAVNÁ MĚŘENÍ

Při přípravných měřeních se zjišťují akustické vlastnosti prostoru měření. Důležité jsou rozměry místnosti, které dále figurují při výpočtu korekcí na prostředí místa (K2 resp. K3). Důležité jsou zde i vzdálenosti umístění zařízení od stěn místnosti. Vhodnost místnosti k měření lze pak posoudit na základě velikosti této korekce. Pokud je korekce K2 resp. K3 příliš velká, nelze měření provést, nebo musíme použít metodu měření, která je méně přesná. [7]

Další sledovanou hodnotou, která charakterizuje akustické vlastnosti prostoru, je doba dozvuku. Ta je definována jako čas poklesu hladiny akustického tlaku v místnosti o 60 dB ihned po vypnutí zdroje. Experimentálním měřením se zjišťuje doba dozvuku ve více bodech místnosti a výsledek se průměruje. Jako zdroj akustického tlaku zde může sloužit např. startovací pistole.[7]

Jako poslední před samotným měřením určíme tzv. referenční rovnoběžnostěn (kvádr), který opisuje stroj. Uvnitř tohoto kváдру musejí být veškeré části stroje, které produkují hluk. V tzv. měřící vzdálenosti od tohoto rovnoběžnostěnu se následně vytvoří „měřící plocha“, na které jsou definovány pozice měřících mikrofónů. Norma ČSN EN ISO 230-5 definuje pro obráběcí stroje maximální rovnoběžnostěn o velikosti krychle 10x10x10 [m]. Pokud je obráběcí stroj větší, norma umožňuje zahrnout pouze jeho část. Toho se uplatňuje například při měření velkých portálových obráběcích center, kde se referenčním rovnoběžnostěnem obklopí pouze portál se všemi jeho pohyblivými členy a nástrojem.[7]



### 3.4.2 MĚŘENÉ VELIČINY A HODNOCENÉ PARAMETRY

#### HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU

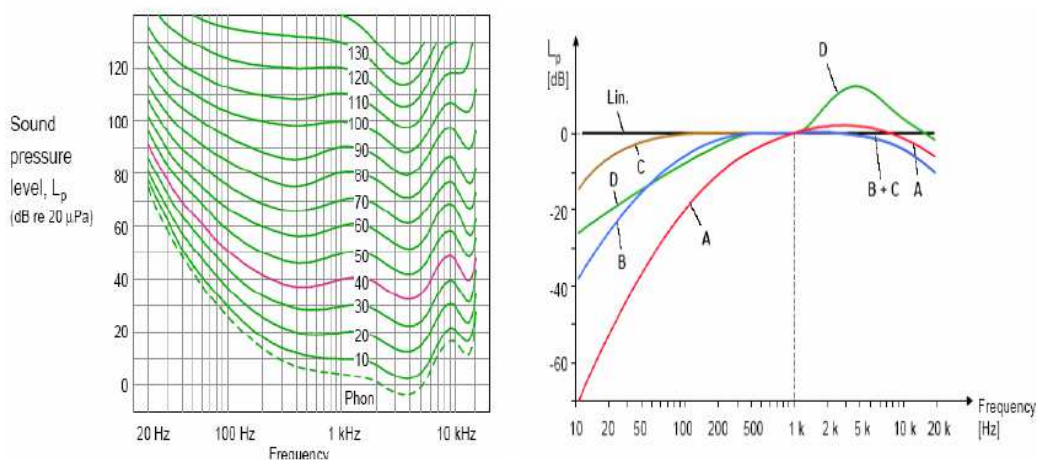
Hladina akustického tlaku je základní a nejvšestrannější měřenou veličinou v akustice. Používá se pro hygienická měření, určení hladiny akustického výkonu v místě obsluhy a určení emisní hladiny akustického tlaku. Hladina akustického tlaku se zjišťuje na základě měření akustického tlaku [Pa] převedením na poměrovou logaritmickou veličinu. Její jednotkou potom je decibel [dB].[7]

#### HLADINA AKUSTICKÉ INTENZITY

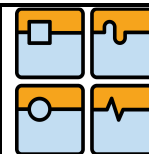
Tato veličina není používána pro standardní měření. Slouží pro pomocná měření, kdy je potřeba určit zdroje akustického vyzařování, nebo hladinu akustického výkonu v hlučném prostředí. Hladina akustické intenzity je měřena pomocí tzv. intenzitní sondy, kterou tvoří dva precizně spárované mikrofony. Tyto mikrofony jsou umístěné v jedné ose naproti sobě. Akustická intenzita je vektorová veličina, která vznikne vektorovým součinem akustické rychlosti a akustického tlaku. Intenzitní sonda hodnotu akustické rychlosti vyhodnotí na základě fázového posunutí mezi mikrofony. Akustický tlak se zjistí zprůměrováním na obou mikrofonech. Frekvenční rozsah měření je určen vzdáleností obou mikrofonů. (Čím větší vzdálenost tím menší rozsah.) Jednotkou je stejně jako v předchozím případě [dB].[7]

#### VÁHOVÉ FILTRY A FREKVENČNÍ VÁŽENÍ

Jak již bylo výše zmíněno v kapitole 3.2.1, lidské ucho je jinak citlivé na různé frekvence zvuku. Z toho důvodu jsou mikrofonom naměřené hodnoty kompenzovány tzv. váhovými filtry. Historicky stanovené jsou filtry A, B, C a D, z nichž každý se používá pro jinou hlasitost. Pro hodnocení se dnes používají hlavně filtry A a C, vždy ale pro soubor hlasitostí pouze jeden z nich.[7]



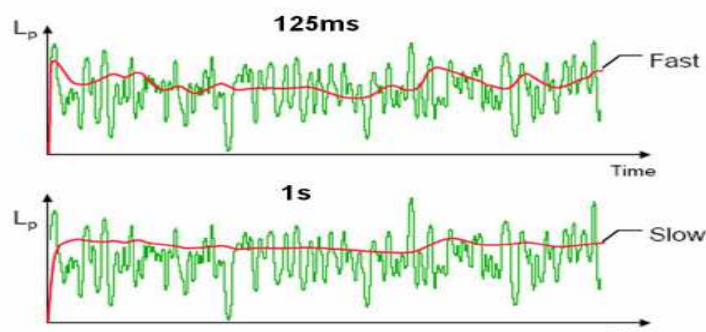
Obrázek 37 – Křivky rovnoměrného rozložení hlasitostí (vlevo) a kmitočtová charakteristika váhových filtrů (vpravo)[7]



### ČASOVÉ VÁŽENÍ

Tzv. časové vážení znamená určení rychlosti reakce hlukoměru na změny hluku v čase. To se provádí pomocí časové integrační konstanty, která má tři základní typy[7]:

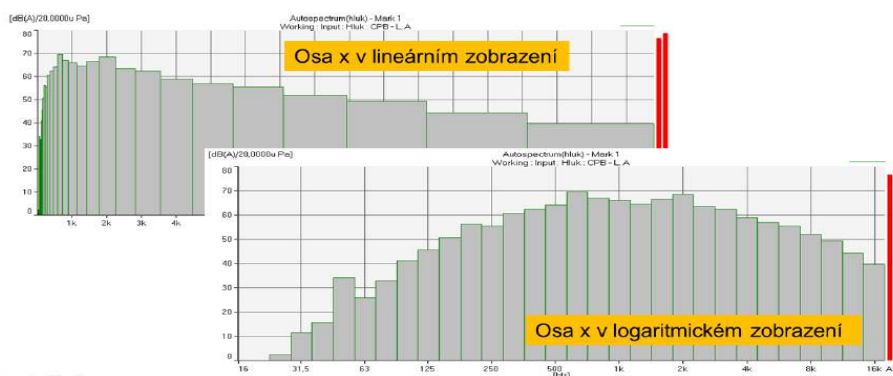
- fast (integrace probíhá po časovém kroku  $t = 125\text{ms}$ );
- slow (integrace probíhá po časovém kroku  $t = 1\text{s}$ );
- impulse (integrace probíhá po časovém kroku  $t = 35\text{ms}$ ).



Obrázek 38 – Průběh celkových hodnot vibrací pro integrační konstanty „fast“ a „slow“[7]

### OKTÁVOVÁ ANALÝZA

Celková hladina akustického tlaku je hodnota, která popisuje emisi hluku v celém měřeném frekvenčním spektru. Tato hodnota ale nevypovídá nic o rozložení energie akustického tlaku v tomto spektru. Rozložení energie je ale důležité, protože lidské tělo reaguje na nízkofrekvenční složky hluku jinak než na vysokofrekvenční. Údaj je stejně důležitý v rovině odhlučňování, protože odhlučnění nízkofrekvenčních složek zvuku je obtížnější než vysokofrekvenčních. Pro analýzu rozložení akustické energie se používá tzv. CPB spektrum (Constant Percentage Bandwidth), kde se celkový frekvenční rozsah měření rozloží na určitý počet nezávislých pásem. Výstupem každého tohoto pásma je pak hodnota vypovídající o jeho akustické energii. Relativní šířka každého pásma CPB spektra je stejná vzhledem k jeho středové frekvenci. Z hlediska akustiky je ale výhodnější použít oktávové rozdělení. Mluvíme potom o oktávové analýze, a pokud pásma oktávové analýzy ještě dále rozdělíme, hovoříme potom například o analýze třetinooktávové (Obrázek 39) nebo dvanáctinooktávové.[7]

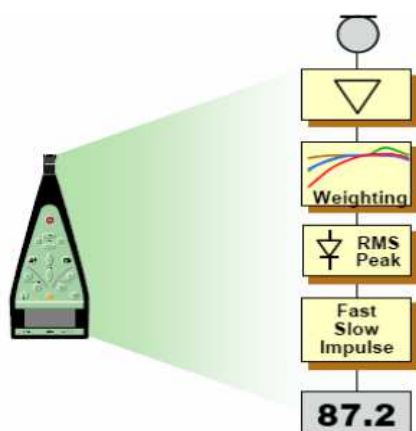


Obrázek 39 – CPB spektrum – Třetinooktávová analýza[7]

### 3.4.3 MĚŘÍCÍ APARATURA

V zásadě rozlišujeme měřidla na stanovená (hlukoměry) a nestanovená (intenzitní sonda).

Stanovená měřidla určená pro měření hluku (používají se pro hygienická měření) podléhají přísné kontrole. Tato se dále dělí na hlukoměry 1. třídy, 2. třídy atd. podle toho, jaký mají rozsah nejistoty výsledků. Měřicí aparatura musí být v souladu s příslušnými normami a pravidelně kontrolována Českým metrologickým institutem. Snímání zvuku probíhá pomocí mikrofону, který transformuje akustický signál na elektrický. Tento signál je následně zesílen, frekvenčně vážen, časově vážen a vyhodnocován. Jednoduché blokové schéma hlukoměru zobrazuje Obrázek 40.[7]



Obrázek 40 – Blokové schéma zapojení hlukoměru[7]

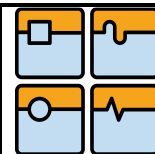
Nestanovená měřidla jsou měřidla, která neslouží k hygienickým měřením, a tudíž nepodléhají tak přísné kontrole. Mezi tyto měřidla patří například intenzitní sonda, která, jak již bylo výše zmíněno, pracuje na principu snímání fázového posunu akustického signálu pomocí dvou mikrofónů. Určení hladiny akustické intenzity se zjišťuje na základě porovnání dvou signálů. Přesná vzdálenost obou mikrofónů se zajistí pomocí distanční vložky. Měření pomocí intenzitní sondy slouží hlavně pro hlukovou diagnostiku.[7]

### 3.4.4 MĚŘENÍ

Měření akustického tlaku i akustického výkonu popisuje norma ČSN ISO 230-5. Pro měření zmíněných akustických veličin jsou dále vypracovány specializované normy, které se dále větví podle použité metody měření na přesnou, technickou a provozní.[7]

metoda	norma	zkušební prostředí	hluk pozadí menší	přibližná nejistota	hlukoměr třídy
přesná	ISO 3741	dozvuková místnost	o 10dB	0,5dB	1
technická	ISO 3744	volné pole nad odrazivou rovinou	o 6dB	1,5dB	1
provozní	ISO 3746	bez zvláštního prostředí	o 3dB	3 až 4dB	2
technická	ISO 11201	$k2A \leq 2dB$	o 6dB	2,5dB	1
provozní	ISO 11202	$k2A \leq 7dB$	o 3dB	5dB	2

Tabulka 2 – Normy pro měření akustického tlaku a akustického výkonu, rozdělené podle metody měření.[7]



Kde  $k_{2A}$  je korekční koeficient prostředí, na základě kterého se určí metoda měření (technická, provozní).

#### EMISNÍ DESKRIPTORY HLUKU

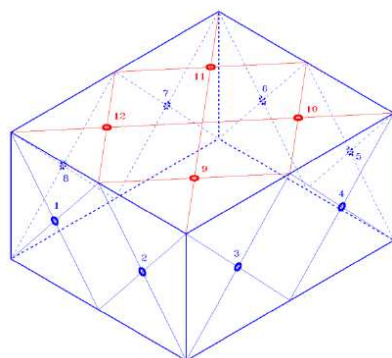
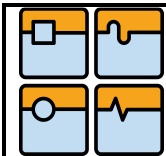
Povinností výrobců obráběcích strojů je deklarovat jejich hlučnost pomocí tzv. emisních deskriptorů hluku. Mezi tyto deskriptory patří ekvivalentní hladina akustického tlaku (měřena například dle třídy norem ČSN EN ISO 11200) a hladina akustického výkonu (dle třídy norem ČSN EN ISO 3740). [7]

Měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku je měření expozice hluku zařízení při zahrnutí okolního hluku (zahrnuta hlučnost okolních strojů i periferií). Toto měření se provádí z důvodu dodržení hygienických limitů, a je citelně závislé na samotné instalaci stroje. Místo měření bývá zpravidla stanoveno výrobcem jako „místo obsluhy“, popřípadě „stanovené místo“ (místo kde se může obsluha stroje pohybovat). Pokud toto místo není stanoveno, určí se měřící body podle normy. Naměřené hodnoty emisní hladiny akustického tlaku výrobce se nemusí shodovat s naměřenými hodnotami u zákazníka. Tato hodnota tedy slouží spíše pro porovnání mezi stroji stejné kategorie.[7]



Obrázek 41 – Příklad měření emisní hladiny akustického tlaku v místě obsluhy[7]

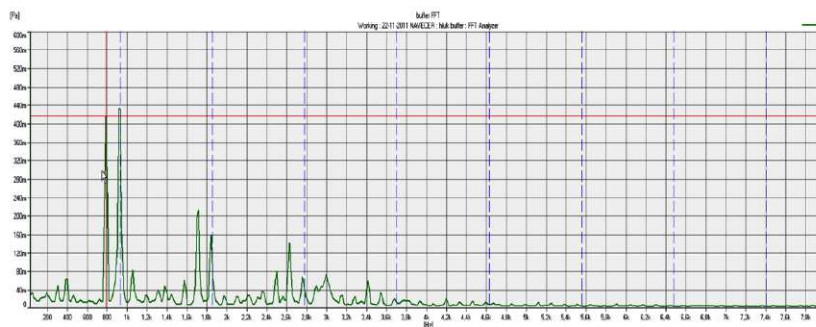
Dalším emisním deskriptorem je hladina akustického výkonu. Ta, pokud je měření a výpočet korekcí proveden správným způsobem, je nezávislá na hlučnosti okolí. Z tohoto důvodu je tento parametr více vypovídající o hlučnosti zařízení. Metoda měření je většinou založena na měření akustického tlaku v předem definovaných bodech na měřící ploše. Měřený stroj obklopují měřící plochy většinou do tvaru kvádru (může být i polokoule). Počet měřících bodů je určen přesností metody (technická, provozní). Příklad měření ilustruje Obrázek 42. [7]



Obrázek 42 – Měřicí plochy a realizace měření akustického výkonu [7]

### DIAGNOSTICKÁ MĚŘENÍ

V hlukové diagnostice, jak již bylo výše zmíněno, vyvstává nutnost zjistit rozložení akustického tlaku v celém frekvenčním spektru. Z tohoto důvodu se kromě oktávové analýzy zde využívá i klasické FFT spektrum, které ve vyšších frekvencích lépe určí frekvenci pro maximum akustického tlaku (rezonance). [7]



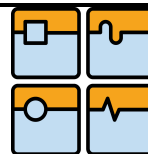
Obrázek 43 – Příklad FFT spektra akustického tlaku [7]

### 3.4.5 HYGIENICKÉ LIMITY

Hygienické limity jsou určeny legislativou. Limitní hodnoty měřené stanovenými měřidly zobrazuje následující tabulka. Nejčastěji používané hodnoty jsou označeny červeně.

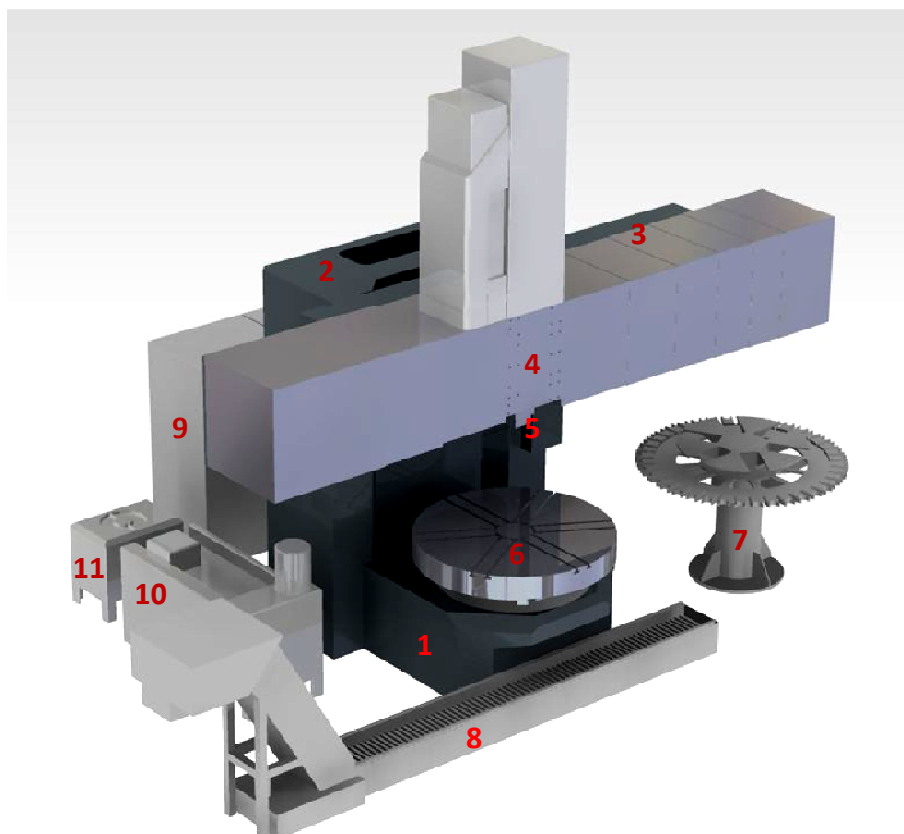
hygienický limit $L_{Aeq,8h}$		během průměrování nesmí překročit:	
		hladina akustického tlaku $L_{pA}$	špičková hladina ak. tlaku $L_{ppeak}$
ustálený nebo proměnný hluk (standardní podmínky)	85 dB	107 dB	
ustálený nebo proměnný hluk (práce náročná na soustředění, tvůrčí práci)	50 dB	107 dB	
impulsní hluk	85 dB	107 dB	140 dB
vysokofrekvenční hluk (8kHz až 16kHz)	75 dB		
ultrazvuk (20kHz až 40kHz)	105 dB		
infrazvuk	116 dB		
infrazvuk (1Hz až 16Hz)	110 dB		
infrazvuk (20Hz až 40Hz)	105 dB		

Tabulka 3 – Souhrn hygienických limitů stanovených v Nařízení vlády č. 272 ze dne 24. srpna 2011[7]



## 4 KRYTOVANÝ STROJ

Určeným strojem pro návrh krytování je stroj z produkce firmy TOSHULIN – Powerturn 2000. Jedná se o svislý soustruh, určený pro výkonné obrábění soustružením, vrtáním, frézováním a broušením. Stroj zvládá náročné technologické aplikace s vysokou přesností. Základní části stroje ilustruje Obrázek 44.



Obrázek 44- Stroj Powerturn 2000

- 1) lože
- 2) rám
- 3) příčník
- 4) příčníkový suport
- 5) smykadlo
- 6) upínací deska
- 7) zásobník nástrojů
- 8) dopravník třísek
- 9) elektroskříň
- 10) nádrž chladicí kapaliny
- 11) zdroj médií

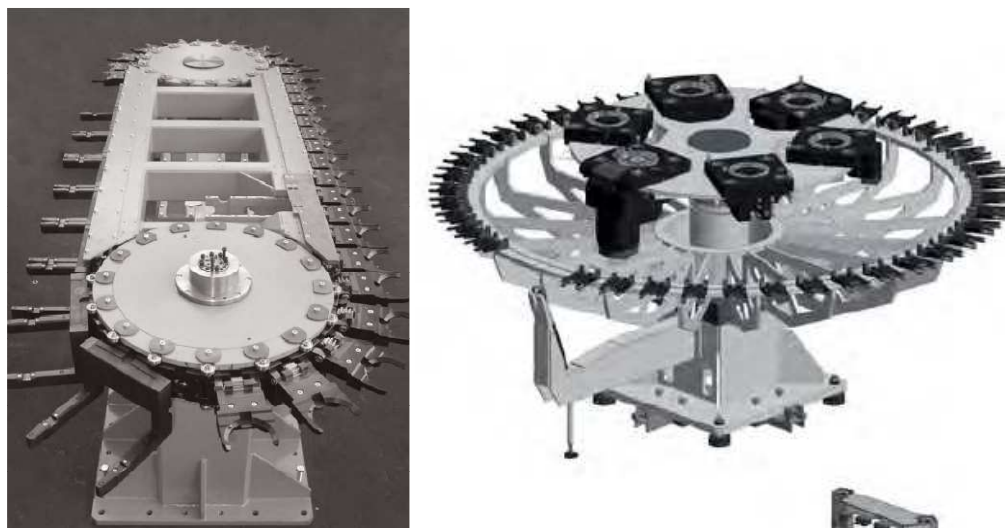
Stroj Powerturn 2000 se vyrábí v mnoha konfiguracích. Volitelná je například výška pracovního prostoru, výkon hlavního motoru, maximální otáčky upínací desky, řídicí systém,

navýšení počtu příčnickových suportů na dva, provedení nástrojového držáku apod. Konkrétní konfiguraci stroje určeného pro diplomovou práci uvádí Tabulka 4.

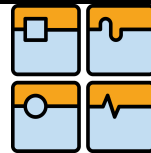
POWERTURN 2000		
<b>PRACOVNÍ ROZSAH</b>		
Maximální průměr obrobku	mm	<b>2500</b>
Maximální výška obrobku	mm	<b>1100</b>
Maximální hmotnost obrobku	kg	<b>20000</b>
<b>UPÍNACÍ DESKA</b>		
Průměr upínací desky	mm	<b>2000</b>
Výkon hl. motoru	kw	<b>58(81)</b>
Maximální otáčky upínací desky	min <sup>-1</sup>	<b>315</b>
<b>PŘÍČNÍKOVÝ SUPORT</b>		
Průřez smykadla	mm	<b>240x240</b>
Pracovní zdvih smykadla (osa z)	mm	<b>1280</b>
<b>NÁHON ROTAČNÍCH NÁSTROJŮ</b>		
Výkon motoru	kW	<b>22</b>
Maximální otáčky rotačních nástrojů	min <sup>-1</sup>	<b>4500</b>
<b>AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJŮ</b>		
Počet pozic v zásobníku	.	<b>45, 40+6</b>
<b>DALŠÍ VÝBAVA</b>		
Automatická výměna technologických palet pomocí manipulátoru		

Tabulka 4- Parametry krytovaného stroje Powerturn 2000 [33]

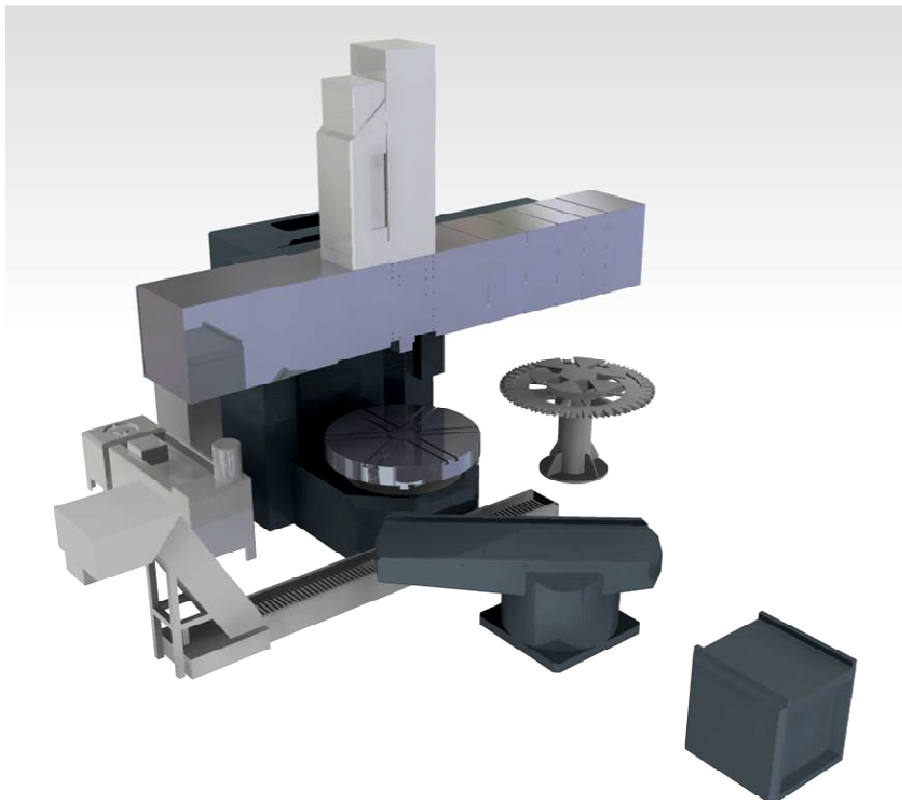
Důležitou součástí stroje je zásobník výměnných nástrojů. V případě stroje Powerturn 2000 se zásobník nástrojů vyrábí v několika konstrukčních provedeních. Obrázek 44 zobrazuje variantu s diskovým zásobníkem nástrojů, který může ve svých dvou patrech nést až 40+6 nástrojů. Druhou variantou je řetězový zásobník nástrojů s kapacitou 45 nástrojů. Oba zásobníky mají jiné rozměrové požadavky, a je s nimi proto nutné počítat při dalším návrhu.



Obrázek 45- Řetězový a diskový zásobník nástrojů [33]



Stroje Powerturn se prodávají v různých generačních obměnách již od roku 1999. Samozřejmostí jsou také kvalitně zpracované kryty, které pokrývají většinu z konfigurací stroje. V případě zadaného stroje zde ale vystupuje nutnost automatizace procesu a hlavně přítomnost paletizace, která má za následek odlišnosti v koncepci krytů a také jejich rozměrových parametřů. Stroj s manipulátorem a odkládacím místem strojních palet zobrazuje Obrázek 46.



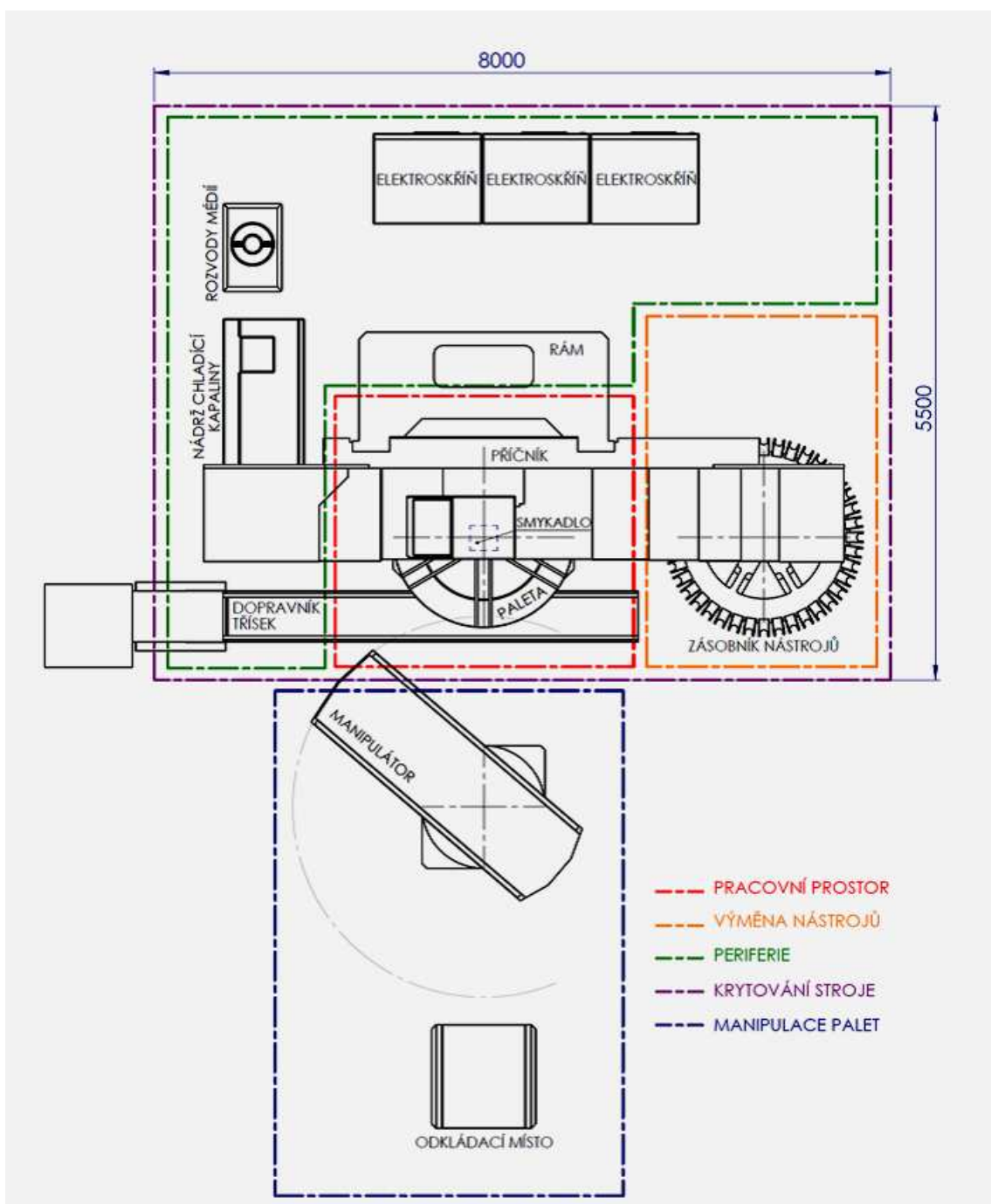
*Obrázek 46- Stroj Powerturn 2000 s paletizací*



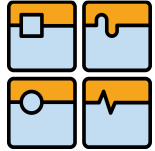
## 5 NÁVRH KRYTOVÁNÍ PRACOVNÍHO PROSTORU

### 5.1 SITUAČNÍ SCHÉMA

Při návrhu krytování je dobré mít přehled o všech částech obráběcího stroje. Jednotlivé části stroje Powerturn 2000 včetně funkčně obslužných agregátů zobrazuje Obrázek 44. Pro úplnost zde uvádím i situační schéma, které je zásadní pro identifikaci jednotlivých oblastí a hrubé určení rozměrové náročnosti krytů.



Obrázek 47- Situační schéma

Str. 58	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 5.2 SPECIFIKACE POŽADAVKŮ

Před samotným konstrukčním návrhem je důležité upřesnit požadavky, které by měl výsledný kryt splňovat. V mém případě jsou tyto požadavky součástí zadání diplomové práce a jsou to tyto:


- Kryty jsou teleskopické či rozpojitelné, nebo jiným způsobem umožňují výměnu obrobků (pro stroj bez paletizace).
- Kryty umožňují automatickou výměnu obrobků.
- Kryty umožňují výměnu obrobků (v případě přítomnosti paletizace).
- Tlak chladicí kapaliny až 50 MPa.
- Hlučnost v okolí měřena dle normy pod 80 dB za provozu.
- Kryty musí splňovat bezpečnostní předpisy.
- Kryty musí zamezit úniku chladicí kapaliny.
- Kryty splňují bezpečnostní požadavky.
- Kryty zajišťují hlučnost stroje do 75 dB.

## 5.3 ROZBOR PODKLADŮ

V případě stroje Powerturn 2000 tvoří zadané podklady páteřní část celého návrhu a ovlivňují další konstrukční kroky. Důvodem této důležitosti je fakt, že součástí podkladů je kromě samotného stroje a jeho periférií také část krytování. Konkrétně se jedná o krytování smykadla, teleskopické kryty vedení osy  $q$  a teleskopické kryty příčnicku. Stroj včetně všech částí, které jsou součástí zadání, ilustruje Obrázek 46. Poslední zmiňované, teleskopické kryty příčnicku jsou velmi důležitou součástí stroje, která určuje základní charakteristický rys strojů z produkce Toshulin. Tou je skutečnost, že příčnick i s teleskopickými kryty není uzavřen do vnitřního prostoru krytů, ale tvoří jeho část. Teleskopické kryty příčnicku tvoří s čelem příčnickového suportu pohyblivý se v ose  $X$  jednu rovinu. Tím pádem je možné tento pohyblivý prvek účinně utěsnit od okolí pomocí kartáčů, které dosedají na jeho povrch. Tyto kartáče umožňují také pohyb příčnicku ve svislém směru osy  $q$ . Teleskopické kryty jsou zároveň řešeny jako rozpojitelné a umožňují výměnu obrobku pomocí jeřábu (Obrázek 48). Jedná se o velice elegantní a praktické řešení, které šetří zástavbový prostor krytů. Nevýhodou tohoto řešení je fakt, že teleskopické kryty musí být svojí velikostí úměrné velikosti zdvihu osy  $q$ , která může být i více než 1200 mm (Obrázek 18).



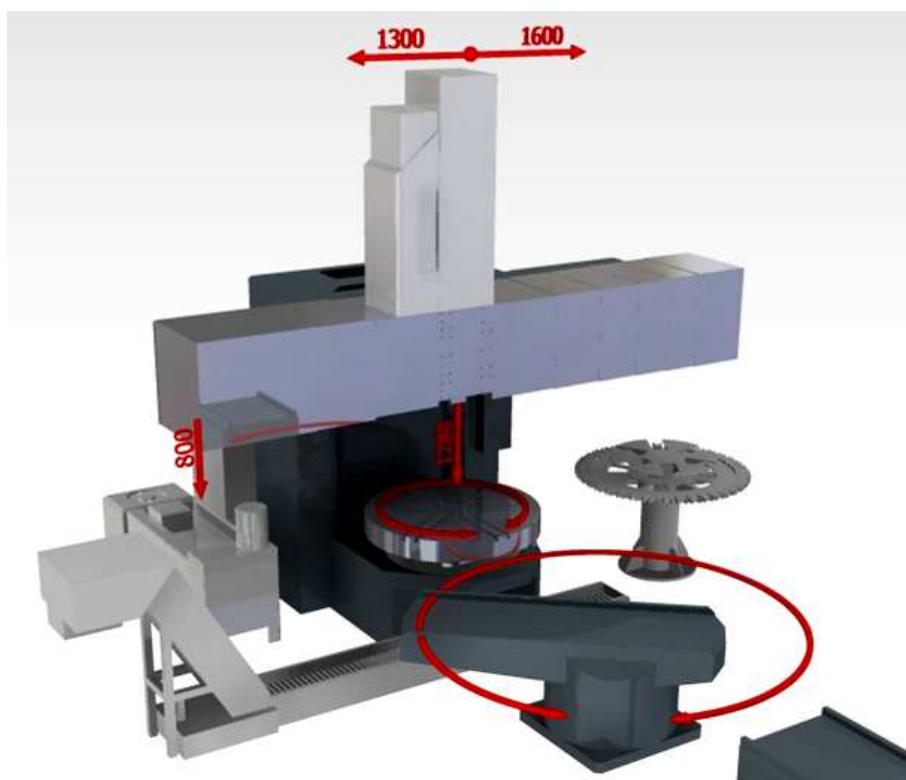
Obrázek 48 – Rozpojené teleskopické kryty stroje Powerturn 4000 [35]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 59
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Řešení uzavření pracovního prostoru pomocí kartáčů dosedajících na čelní plochu teleskopických krytů příčnicku zůstane zachováno. Stejně tak i řešení rozpojení teleskopických krytů, kterému se již dále nebudu věnovat.

#### 5.4 ROZBOR KRYTU Z HLEDISKA KINEMATIKY

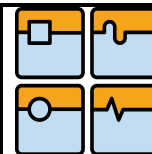
Kinematický rozbor krytování je dalším stupněm v návrhu funkčních krytů. Od celkové kinematiky stroje a kinematiky přidružených zařízení se odvíjí celkový tvar krytů. Při rozboru je potřeba se zaměřit na pohyby jednotlivých os, jejich krajní polohy a funkční stavy. Tento postup je potřeba zopakovat také pro všechna pohybující se přidružená zařízení, jako je například manipulátor strojních palet. Jen tak je možné se vyvarovat následných chyb v návrhu. V kinematickém rozboru je také dobré počítat s mechanismem otevírání dveří a jejich rozměrovou náročností. Důvod pro jejich zahrnutí do rozboru je hlavně zamezení kolidování s ostatními zařízeními při zajištění dostatečné průchodnosti pro obrobek maximálních rozměrů. Výstupem z kinematického rozboru je předběžný rozměr pracovního prostoru, požadavky na kinematiku jednotlivých částí krytu a základní rozměry krytu. Kinematiku stroje Powerturn 2000 dle zadání znázorňuje Obrázek 49.



Obrázek 49 – Kinematika stroje a manipulátoru palet

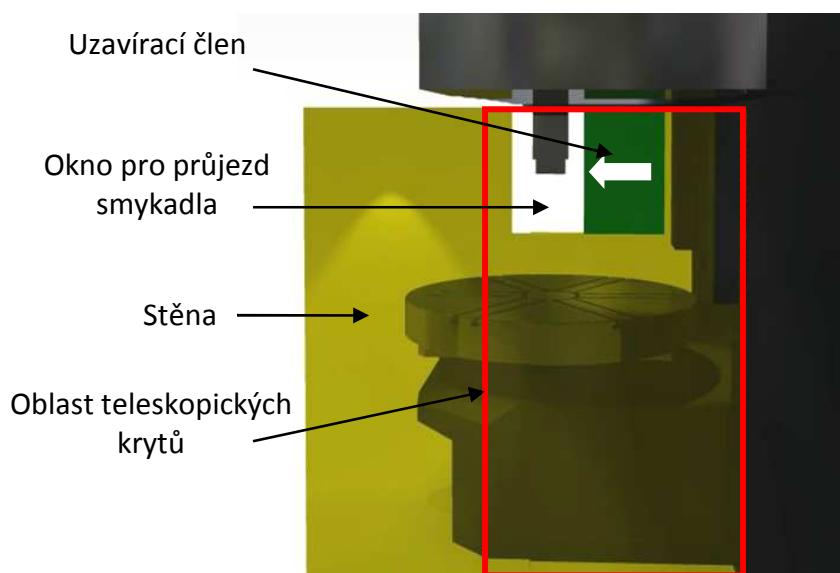
Pohyb v ose X je realizován příčnickovým suportem. Referenční polohu najdeme v pozici nad středem stolu. Z této pozice se může pohybovat doprava o 1600 mm a doleva o 1300 mm. V případě pohybu směrem doprava nastávají dva funkční stavy:

1. obrábění;
2. výměna nástrojů.



Zásobník nástrojů je rozměrově náročný celek, a proto je zcela nevýhodné, aby byl součástí pracovního prostoru. Naopak je výhodné oba tyto stavy od sebe oddělit stěnou, která v sobě bude mít okno pro přejetí smykadla mezi jednou i druhou stranou. Okno musí mít dostatečnou velikost, aby umožnilo projetí smykadla i s největším nástrojem. Zároveň ale musí být dodržen požadavek na těsnost pracovního prostoru krytu z hlediska úniku řezné kapaliny. Z tohoto důvodu je nutné na stěně vytvořit pohyblivý člen, který bude otevírat okno ve stěně pouze v případě přejíždění smykadla do oblasti výměny nástrojů.

Další sledovanou osou je osa q, jejíž pohyb je realizován příčnickem. Referenční poloha je horní pracovní pozice, ze které se může pohybovat směrem dolů o 800 mm. Z tohoto důvodu část stěny ohraničující pracovní prostor, která se nachází pod příčnickem, musí být provedena jako teleskopická.

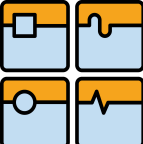


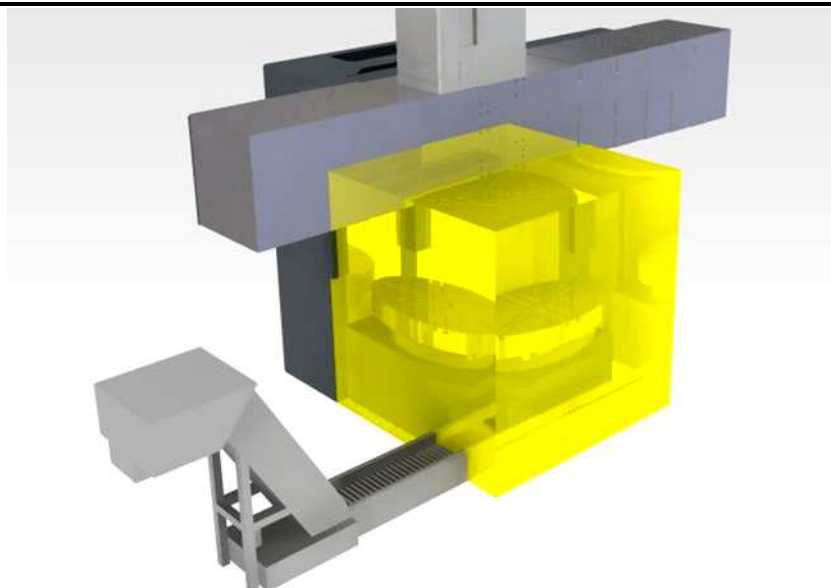
Obrázek 50 – Stěna oddělující pracovní prostor od výměny nástrojů

Pohyb v ose Z je realizován smykadlem. Referenční poloha je v horní pracovní pozici a smykadlo má maximální pracovní zdvih 1280 mm. Ne vždy je ale možné tento maximální zdvih využít z důvodu níže zmíněného pohybu příčnicku v ose q. Maximální vysunutí smykadla je ohraničeno ve své dolní poloze pracovní plochou strojní palety. Kryt smykadla je stejně jako teleskopické kryty příčnicku součástí zadání, a nebudu se jím dále v této práci zabývat. Samotný pracovní zdvih smykadla rozměry pracovního prostoru a dalších krytů neovlivňuje.

Poslední osou na stroji je osa C, která umožňuje rotaci obráběné součásti. Kryt výrazně ovlivňuje maximální rozměr rotujícího obrobku, který má průměr 2500 mm a výšku 1100 mm.

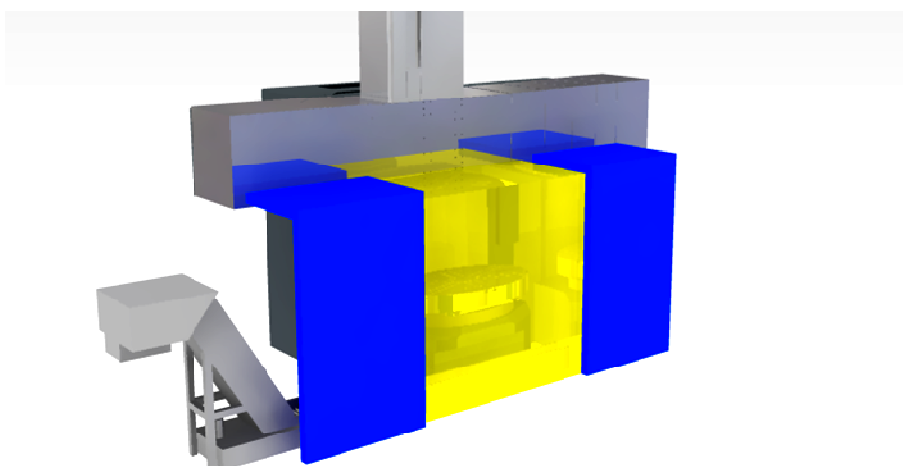
Na základě tohoto kinematického rozboru stroje jsem zvolil předběžný návrh pracovního prostoru viz. Obrázek 51. Maximální výška pracovního prostoru je volena podle základní koncepce krytování, která vyplývá ze zadání teleskopických krytů příčnicku. Šířka pracovního prostoru je zvolena na základě maximálního průměru obrobku, na základě pracovních zdvihů a funkčních stavů smykadla v ose X. Hloubka pracovního prostoru je v první řadě určena maximálním průměrem obrobku. Předběžný rozměr pracovního prostoru je tedy (Š\*H\*V) 2750 mm x 2700 mm x 2850 mm.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 61
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	



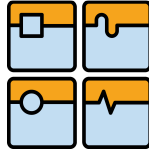
*Obrázek 51 – Předběžný návrh pracovního prostoru*

Dalším důležitým prvkem krytu jsou dveře. V případě stroje Powerturn 2000 budu uvažovat použití posuvných dveří, které nejvíce odpovídají záměru konstruktérů teleskopických krytů příčnicku o dokonalém utěsnění pracovního prostoru pomocí výše zmiňovaných kartáčových těsnících lišt. Základním parametrem pro velikost dveří je maximální průměr obrobku 2500 mm. Z důvodu většího komfortu pro nakládání uvažujeme zvětšení tohoto rozměru na šířku pracovního prostoru, tedy 2750 mm. K tomuto rozměru je potřeba připočítat ještě délku vedení dveří, které může být pro jednokřídlé provedení i více jako 500 mm. Jednoduchým součtem dostaneme, že pro jednokřídlé provedení by celková délka dveří byla kolem 3250 mm. Po tomto zjištění volím na základě uvážení variantu s dvěma křídly dveří a předběžnou hodnotu délky vedení 300 mm. Situace potom vypadá následovně.

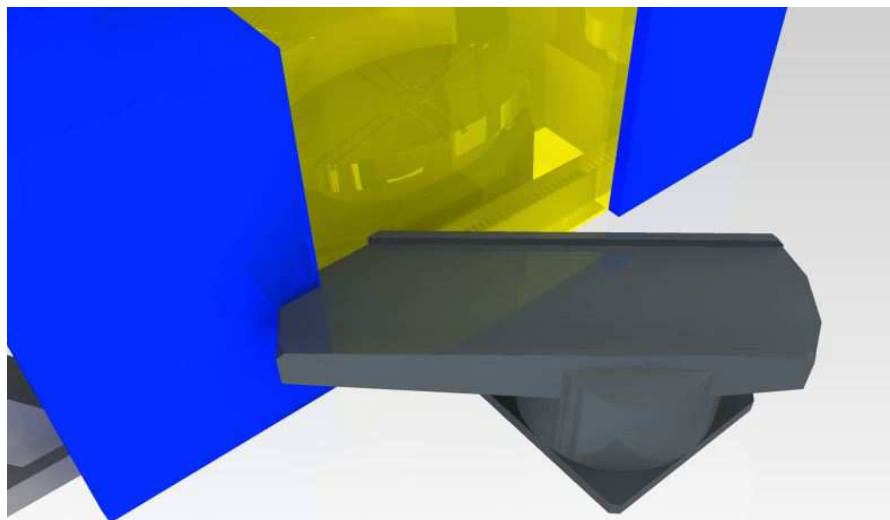


*Obrázek 52 – Rozměrová náročnost dvoukřídlého provedení dveří*

Při návrhu dveří je potřeba počítat i s manipulátorem strojních palet. Na základě následujícího obrázku zjišťujeme, že při vysunutí dveří na hranici pracovního prostoru zde

Str. 62	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

dochází ke kolizi s manipulátorem palet. Tuto situaci lze ale vyřešit posunutím rohů pracovního prostoru směrem dozadu společně s posunutím rozsahu a vhodným tvarováním dveří.



Obrázek 53 – Kolize dveří a manipulátoru

## 5.5 ROZBOR KRYTU Z HLEDISKA BEZPEČNOSTI

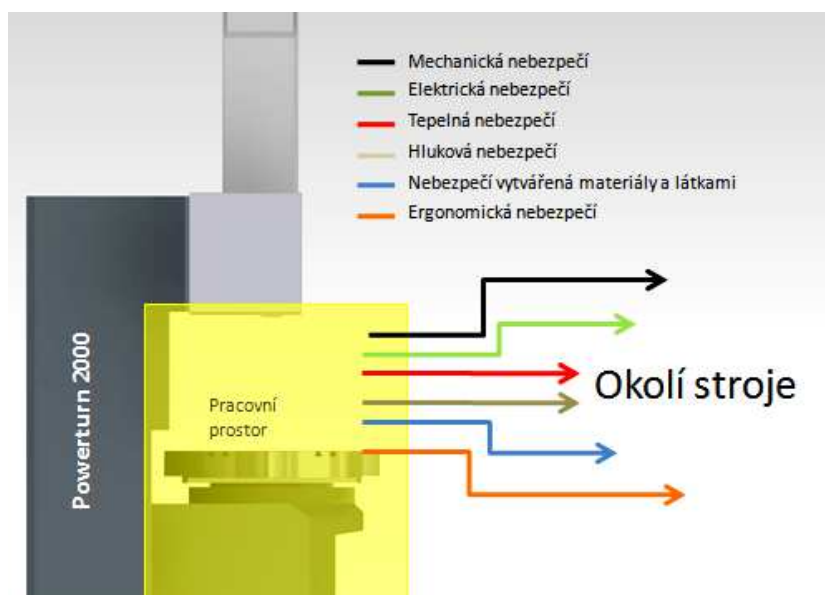
Rozbor krytu z hlediska bezpečnosti navazuje na kapitolu 2.4, která se zabývá bezpečnostními požadavky na kryty obráběcích strojů. V této kapitole jsou vyjmenovány veškeré důležité normy typu A a B. Je zde zmíněna také stěžejní norma typu C ČSN EN ISO 23125 věnující se bezpečnosti soustruhů, včetně popisu zkoušky nárazem.

Základní normou typu A v oblasti identifikace nebezpečí, hodnocení rizika a návrhu bezpečnostních opatření je norma ČSN EN ISO 12100. Tato norma definuje základní druhy nebezpečí plynoucí z užívání strojů. Jsou to tyto[42]:

- mechanická nebezpečí;
- elektrická nebezpečí;
- tepelná nebezpečí;
- hluková nebezpečí;
- nebezpečí radiace;
- nebezpečí vytvářené materiály a látkami;
- ergonomická nebezpečí;
- nebezpečí způsobená prostředím, ve kterém je stroj používán.

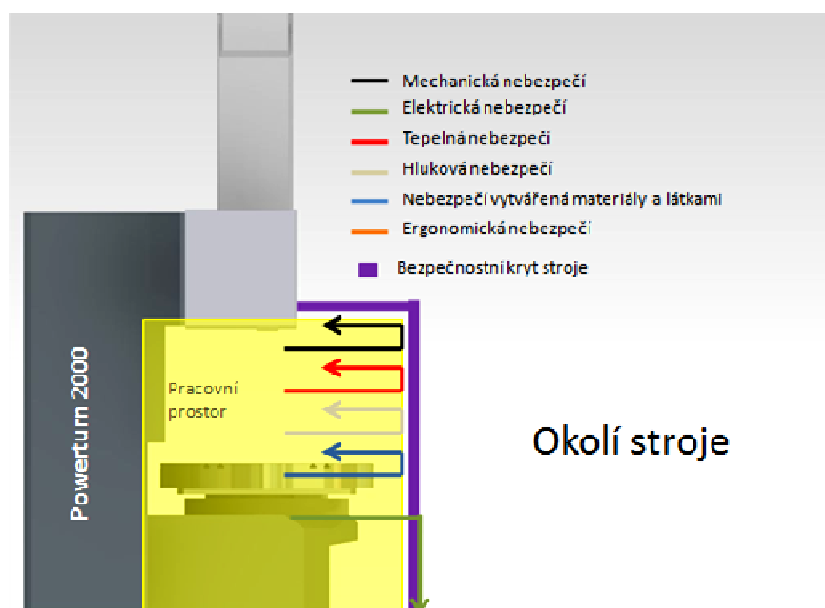
Pro pracovní prostor stroje Powerturn 2000 se jedná především o nebezpečí plynoucí z technologického procesu třískového obrábění. Nebezpečným jsou pro obsluhu odletující třísky, řezná kapalina, vznikající aerosoly, pohyby nástroje, pohyby obrobku, pohyby jednotlivých os, uvolnění obrobku při obrábění, atd. Krytování stroje má za úkol eliminaci rizik vzniku těchto nebezpečí. Riziko vzniku nebezpečí ale nelze vždy eliminovat úplně. V těchto případech se provádí snížení rizika na snesitelnou mez (zbytkové riziko), která je definována normou. Příkladem takové situace může být nebezpečí stlačení od pohybových os stroje při seřizovacích a servisních činnostech, kdy musí mít servisní technik přístup do

pracovního prostoru stroje, a zároveň je žádoucí, aby byl stroj v chodu. V takových případech se snížení rizika na snesitelnou mez provádí snížením rychlosti pohybujících se os obráběcího stroje a doplňkovým opatřením, jako například, že seřizovací činnosti může provádět pouze proškolená obsluha, popřípadě stroj opatřit varovnými štítky. Provedení analýzy rizik je povinností výrobce strojního zařízení. V mém případě se pouze omezím na eliminaci rizik přímo plynoucích z obráběcího procesu.

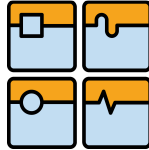


Obrázek 54 – Působení nebezpečí plynoucího z obráběcího prostoru stroje bez krytu

Ideálně provedené krytování zamezí působení nebezpečí na okolí stroje, v případě ergonomického nebezpečí pak dojde k jeho úplné eliminaci. Tuto situaci zobrazuje Obrázek 55. V praxi se bohužel vlivem zbytkového rizika tomuto stavu pouze přibližujeme.



Obrázek 55 – Působení nebezpečí pro ideálně krytovaný stroj

Str. 64	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

V praxi může nastat ještě jeden případ, kdy krytování sice zamezí působení nebezpečí vznikajícího vlivem obráběcího procesu, samo o sobě ale začne nebezpečně působit na svoje okolí. Taková situace může nastat, pokud se na krytech vyskytují ostré hrany, nebezpečná místa stříhu atd. Této situaci bychom se měli vyhnout při dodržení příslušných norem typu B a C.

Stěžejní normou v případě krytů stroje Powerturn 2000 je výše zmíněná norma ČNS EN ISO 23125. Součástí normy je názvosloví, popis a definice jednotlivých částí soustruhu, rozdělení soustruhů, identifikace základních nebezpečí, definice pracovních režimů a požadavky na bezpečnostní krytování, včetně popisu výše zmíněné zkoušky nárazem.[41]

### 5.5.1 ZKOUŠKA NÁRAZEM

Volba materiálu a jeho tloušťky se provádí na základě zkoušky nárazem uvedené v normě ČSN EN ISO 23125, a to pomocí následujících bodů[41]-

- 1) Stanovení maximální nárazové rychlosti pro rotační obrobek (17)

$$v_i = 1,25 \cdot B \cdot \pi \cdot n \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (17)$$

$$v_i = 1,25 \cdot 2,5 \cdot \pi \cdot \frac{315}{60} = 51,54 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Kde:  $v_i$  [m.s<sup>-1</sup>] - maximální rychlost otáčení obrobku;  
1,25 [-] - bezpečnostní faktor;  
B [m] - maximální průměr nástroje frézovacího stroje;  
 $\pi$  [-] - Ludolfovo číslo;  
n [s<sup>-1</sup>] - maximální otáčky nástroje.

- 2) Stanovení třídy odolnosti

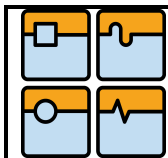
Na základě tabulky A.2 (určení třídy odolnosti) bylo zjištěno, že rotujícímu obrobku, který je větší než 500 mm odpovídá zkušební projektil o hmotnosti 2,5 kg a rozměrech D x a = 50 mm x 30 mm. Z tabulky dále vyplývá, že stanovení třídy odolnosti je v našem případě možné i pouze na základě parametru projektilu a maximální nárazové rychlosti, vypočtené pomocí rovnice (17). Na základě této tabulky, zjištěná třída odolnosti je tedy **C2**. Stanovení energie nárazu, která se vypočítá pomocí rovnice (18), uvádím pouze pro úplnost.[41]

$$J_c = \frac{m \cdot v_i^2}{2} \text{ [J]} \quad (18)$$

$$J_c = \frac{2,5 \cdot 51,54^2}{2} = 3320,46 \text{ [J]}$$

Kde:  $J_c$  [W] - energie nárazu;  
m [kg] - hmotnost zkušební vzorku.





## 3) Volba materiálu a tloušťky stěny podle tabulky B.1

**Table B.1 — Examples of materials**

Material	Thickness <i>d</i> mm	Tensile strength <i>R<sub>m</sub></i> N/mm <sup>2</sup>	Elongation at rupture <i>A</i> %	Impact resistance class								
				A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Steel sheet	2	370	28	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	2,5	370	28	+	+	-	+	-	-	+	-	-
	3	400	28	+	+	-	+	+	-	+	-	-
	4	340	25	+	+	+	+	+	+	+	+	-
	5	300	40	+	+	+	+	+	+	+	+	-
	6	340	25	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Al Mg 3	5	240	18	+	+	-	+	-	-	+	-	-
Polycarbonate	6	68	80	+	+	-	+	-	-	+	-	-
	8	68	80	+	+	-	+	+	-	+	-	-
	10	68	80	+	+	+	+	+	-	+	+	-
	12	68	80	+	+	+	+	+	-	+	+	-
	Polycarbonate compound	2 × 8	68	80	+	+	+	+	+	+	+	+
	2 × 12	68	80	+	+	+	+	+	+	+	+	
	19	68	80	+	+	+	+	+	+	+	+	
Safety glass + polycarbonate compound	Glass + PC 6 + 18			+	+	+	+	+	+	+	+	+

+ Requirements fulfilled.  
- Requirements not fulfilled.

Tabulka 5 – Tabulka B.1- příklady materiálů [41]

Na základě této tabulky předběžně volím ocelový plech tloušťky 4 mm s mezí pevnosti v tahu  $R_m=340$  MPa a tažností 25%. Materiálu s těmito vlastnostmi, značeném dle ČSN odpovídá ocel 11 373.1. Jako materiál průhledů volím polykarbonát o tloušťce 12 mm.

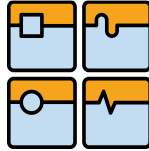
### 5.5.2 BLOKOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Volba blokovacího zařízení musí být provedena v souladu s normami uvedenými v tabulce (Tabulka 1), týkajících se bezpečnostních prvků. Zpravidla existují dva základní druhy mechanického blokování: blokování bez jištění ochranného krytu a blokování s jištěním ochranného krytu.

V případě stroje Powerturn 2000, kde maximální hmotnost obrobku dosahuje 20 000 kg, nepřichází v úvahu okamžité zastavení stroje. Uvedení do bezpečného stavu zde trvá mnohem déle, než je rychlost přiblížení částí lidského těla. Z tohoto důvodu navrhuji použít blokování s jištěním ochranného krytu, plus pro snímání koncových poloh dveří odpovídající koncové spínače. Zvoleným bezpečnostním zámkem je bezpečnostní zámek se signalizací uzavření dveří EUCHNER TZ s blokovací silou až 2000N. [36]

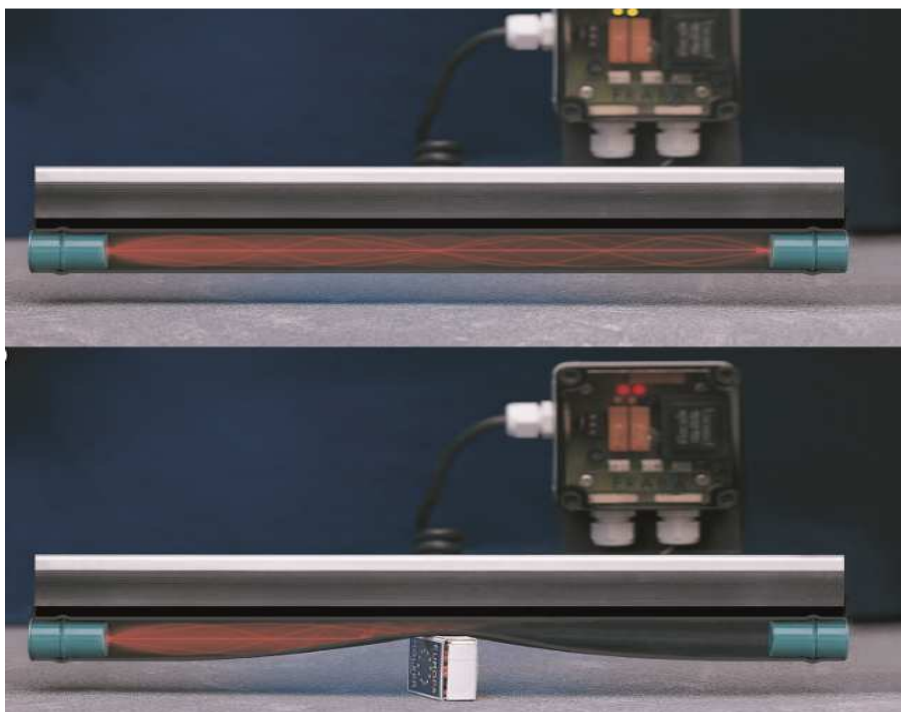


Obrázek 56 - Bezpečnostní zámek EUCHNER TZ [36]

Str. 66	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 5.5.3 DALŠÍ POŽADAVKY NA BEZPEČNOST KRYTŮ

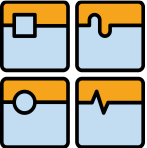
V případě, že je kryt vybaven strojním otevíráním dveří, udává norma ČSN EN ISO 23125 maximální sílu, která může působit při otevírání a zavírání dveří. Stejně tak je normalizovaná i hodnota maximální kinetické energie těchto dveří. Tohle omezení má za cíl zmírnit následky stlačení těla, popřípadě zmírnit následky srážky těla s pohyblivými se částmi krytu. Při použití obyčejných dveří bez dalších ochranných opatření může být tato síla 75 N a maximální kinetická energie 4 J. V případě použití tlakových senzorů, které v součinnosti s řídicím systémem zastaví další stlačování a umožní znovuotevření dveří, může být tato síla až 150 N a kinetická energie 10 J.[41] Pro lepší dynamiku a větší bezpečnost dveří navrhuji jejich čela vybavit optickými bezpečnostními lištami firmy FRABA VITECTOR.



Obrázek 57 – Optická bezpečnostní lišta FRABA VITECTOR [37]

U stroje Powerturn 2000 může obsluha vstoupit do pracovního prostoru stroje. V okamžiku neočekávaného uzavření dveří v důsledku poruchy nebo vlivem chyby lidské obsluhy by mohlo dojít k uzavření osoby uvnitř tohoto prostoru a vzniku nebezpečí vážné újmy na zdraví. Proto navrhuji umístit uvnitř pracovního prostoru bezpečnostní tlačítko, které odolá nepříznivým vlivům obráběcího procesu.

Norma ČSN EN ISO 14120 klade důraz na spoje jednotlivých částí ochranných krytů. Ty mají být provedeny tak, aby odolaly předpokládanému zatížení, zajistily dostatečnou stabilitu a dostatečnou tuhost celého krytu. V případě použití lepených spojů musí být lepicí prostředky aplikovány podle správných postupů a kompatibilní s lepenými materiály.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 67
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 5.6 ROZBOR KRYTU Z HLEDISKA VIBRACÍ

Rozbor krytu z hlediska vibrací je nedílnou součástí při procesu odhlučňování. Vliv vibrujících součástí tvoří nemalý podíl na celkové hlučnosti zařízení hlavně proto, že přenášejí svoji energii přes svůj povrch přímo do vzduchu. Tyto vibrace zvuku potom pozorujeme jako zvýšenou hladinu akustického tlaku. Důležitá je identifikace zdrojů mechanických vibrací. V případě stroje Powerturn se jedná o:

- 1) vibrace způsobené obráběcím procesem;
- 2) vibrace způsobené nevyváhou obrobku;
- 3) vibrace způsobené nevyváhou rotujících částí pohonů lineárních os;
- 4) vibrace způsobené zubovou frekvencí ozubených kol;
- 5) vibrace způsobené narážejícími teleskopickými kryty;
- 6) vibrace způsobené nevyváhou kompresorů, čerpadel a jejich pohonů;
- 7) vibrace způsobené nevyváhou jiných rotujících přidružených zařízení.

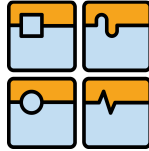
Přenos těchto vibrací je umožněn prostřednictvím rámu stroje a prostřednictvím společné základové desky. Eliminace šíření vibrací od celého strojního zařízení je umožněna díky základu, který je speciálně navržený a vibračně odizolovaný od svého okolí. Vibrace samotného obráběcího stroje eliminovat většinou z podstaty nelze. Lze je pouze omezit například volbou materiálu rámu (litina lépe tlumí než ocel), kvalitních pohonů, kuličkových šroubů, nebo například použitím tlumičů vibrací u teleskopických krytů. V případě přidružených zařízení, jako jsou dopravník třísek, čerpadla chladící a hydraulické kapaliny, popřípadě kompresory stlačeného vzduchu, vibrace eliminovat lze docela podstatně zvolením jiné technologie nebo aplikací tlumičů vibrací. Bohužel příspěvek těchto zařízení k celkové vibrační situaci nebývá tak podstatný.

Pro zamezení šíření vibrací se jako podstatné jeví vibrační odizolování krytu od stroje a základu. Toho lze dosáhnout zanesením materiálů s velkým vnitřním tlumením (pryže apod.) mezi nosnou konstrukcí krytu a stroj (základ). Jako další opatření, které může pomoci při redukci vibrací, je aplikace antivibračních nátěrů (pouze pro tenké plechy) nebo antivibračních vrstev, které se aplikují na plochy plechových dílců. Omezení chvění výrazně přispívá i použití tzv. hradících hmot (ocelová žebra).

## 5.7 ROZBOR KRYTU Z HLEDISKA HLUČNOSTI

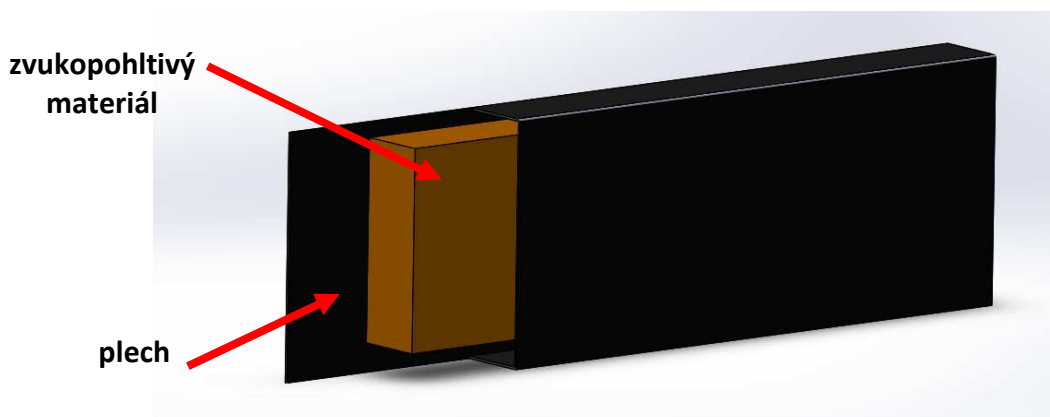
Legislativa nařizuje výrobcům strojních zařízení deklarovat jejich hlučnost neboli určit deskriptory hluku (ekvivalentní hladina akustického tlaku a hladina akustického výkonu). Tímto tématem se zabývá kapitola 3.4, věnující se měření hlučnosti obráběcích strojů. V případě stroje Powerturn 2000 bez krytů dosahuje emisní hladina akustického tlaku měřená v místě obsluhy hodnoty 92 dB. Do této hodnoty ale přispívá svým podílem i hlučnost okolí stroje, která není známá. Dále proto budu uvažovat nejméně výhodnou variantu, kdy se ekvivalentní hladina akustického tlaku měřená v místě obsluhy rovná celkové hlučnosti zařízení  $L_{peqo}=L_p$ . Hodnota hlučnosti stroje, které má být dosaženo, je určena zadáním diplomové práce jako  $L_p=75$  dB.

Důležitým parametrem v návrhu odhlučnění je identifikace zdrojů hluku. V případě stroje Powerturn 2000 jsou to zejména tyto:

Str. 68	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- obráběcí proces;
- pohony jednotlivých os;
- teleskopické kryty;
- zásobník nástrojů;
- dopravník třísek;
- ostatní funkčně obslužné agregáty.

Největším zdrojem hluku je obráběcí proces. Tento hluk nelze odstranit ani výrazněji snížit z důvodu principu používané technologie obrábění. Proto na základě kapitoly 3.2.2 volím pro redukcii hluku metodu izolace v kombinaci s aplikací materiálů pohlcujících zvuk, kterým se věnuje kapitola 3.3. Z uvedené literatury vyplývá, že nejvhodnější je umístění tohoto materiálu z vnitřní strany krytu, kde ale nesmí dojít ke styku s řeznou kapalinou. Ta působí uvnitř porézního materiálu jako vodič akustického vlnění a materiál ztrácí svoje akustické vlastnosti. Proto navrhuji použít dvouplášťovou variantu krytování, kde je vnitřní strana pokryta akustickým, zvuk pohlcujícím materiálem. Možná je i varianta krytu vyplněného zvukoizolačním sendvičem.



Obrázek 58 – Řez zvukoizolačním panelem

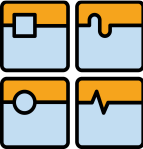
## 5.8 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ

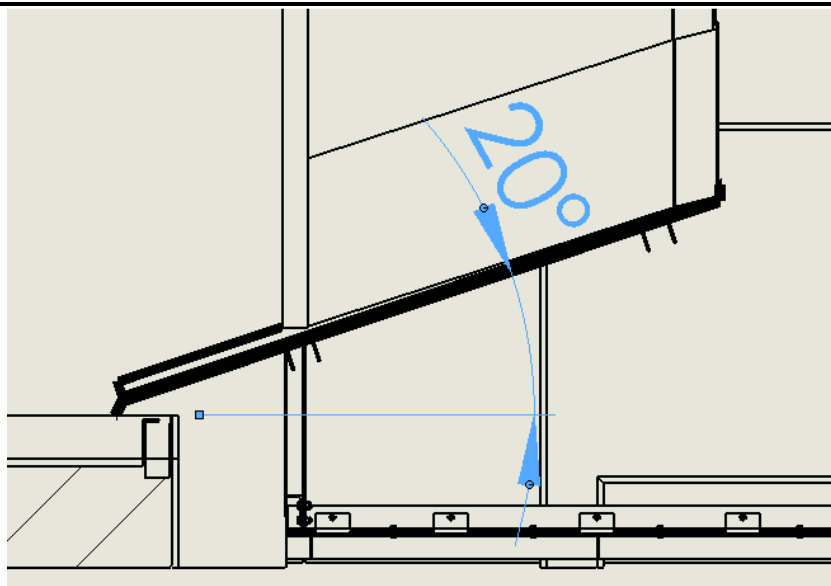
Volím následující koncepci krytu:

- rámová konstrukce, vibračně oddělená od stroje a základu;
- dvojitý plášť krytu uvnitř vyplněný zvukově pohltivým materiálem;
- materiál průhledu Lexan tl. = 12mm;
- dvoje posuvně uložené dveře;
- těsnění pohyblivých částí pracovního prostoru pomocí kartáčových těsnících lišt.

### 5.8.1 SKLUZY

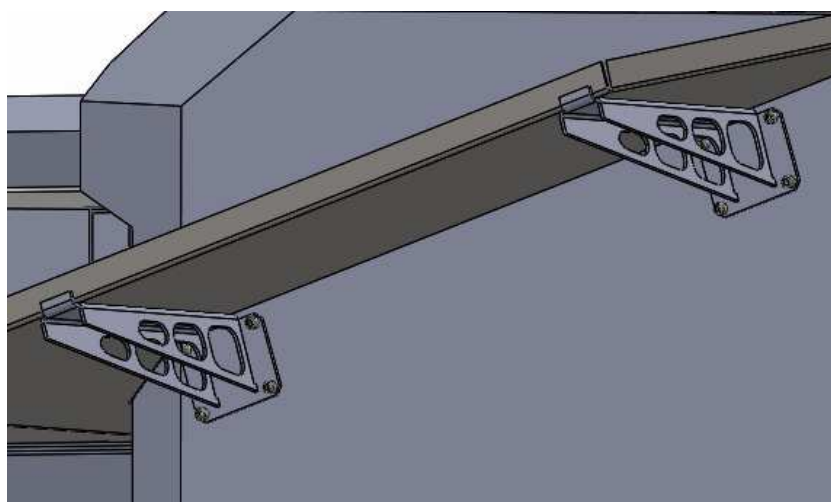
Skluzy jsou nedílnou součástí krytu stroje. Rozměry skluzů pro odvod třísek a řezné kapaliny volím na základě rozměrů lože a dopravníku třísek. Úhel sklonu skluzu je zásadní pro dobrý odvod třísek a řezné kapaliny. V případě konfigurace stroje Powerturn 2000 s dopravníkem třísek firmy ASTOS Machinery a.s. může být maximální úhel sklonu skluzu okolo 20°. Tuto situaci ilustruje Obrázek 59.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 69
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	



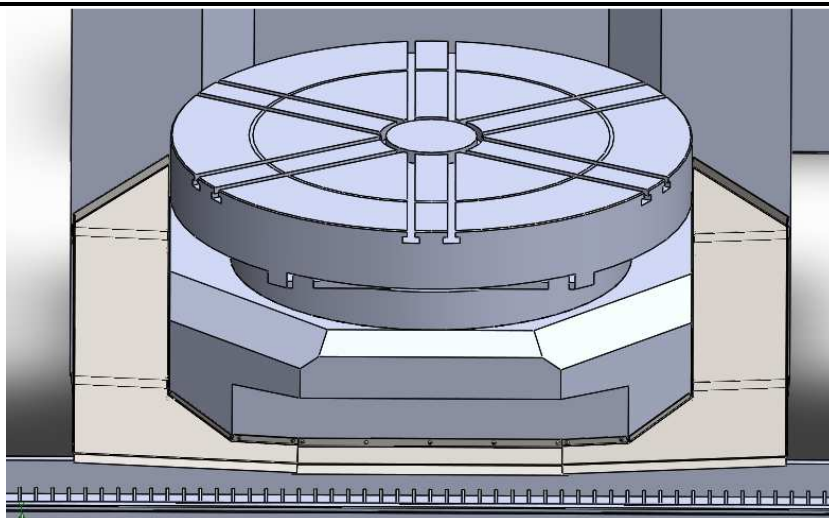
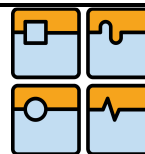
Obrázek 59 – Úhel sklonu skluzu pro třísky a řeznou kapalinu

Většina výrobců a prodejců obráběcích strojů ale udává hodnoty sklonu skluzu vhodných pro samovolný odvod třísek větší než  $45^\circ$ . Z tohoto důvodu navrhuji jako řešení proplach skluzu pomocí směrovaného přívodu chladicí kapaliny. Materiálem skluzu je ocelový plech o síle 3mm. Z důvodu otěru od třísek vznikajícím při jejich pohybu po skluzu navrhuji provedení bez povrchové úpravy v nerezovém provedení. Skluz je připevněn k loži pomocí dvojice konzol, ke kterým je pevně svařen. Ty jsou dostatečně masivní a bez problémů vydrží i nášlap od obsluhy.



Obrázek 60 – Připevnění skluzu ke stroji pomocí konzol

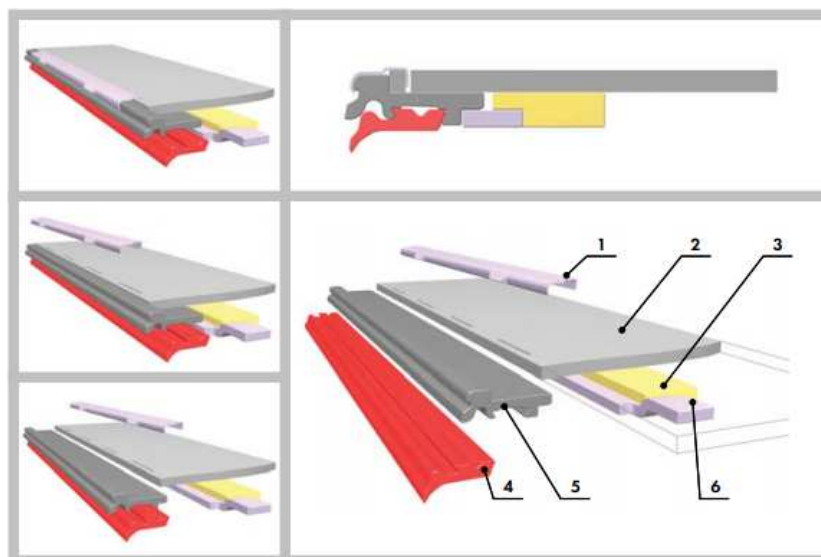
Celkové provedení skluzů je řešeno ze tří částí. Dvě symetrické ohýbané součásti a spojovací člen na čele lože (Obrázek 61). Levá i její symetrická pravá část je řešena ve tvaru žlabu, který při správném napojení teleskopických krytů a dalších navazujících plechů zamezí úniku chladicí kapaliny. Na straně přilehlé ke stroji navrhuji pro dostatečnou těsnost použít lepicí a těsnící tmel. Celkový pohled na skluzu ilustruje následující Obrázek 61.



Obrázek 61 – Skluzy pro odvod třísek a řezné kapaliny

### 5.8.2 TELESKOPICKÉ KRYTY

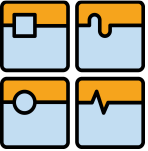
Teleskopické kryty obráběcího prostoru jsou stěžejní částí celé konstrukce. S kvalitou jejich provedení úzce souvisí těsnost celého pracovního prostoru. Té je potřeba docílit jinak než pouze použitím vodících mosazných lišt, které netvoří dostatečnou ochranu před chladicí kapalinou, která by mohla proniknout na druhou stranu krytování. Z toho důvodu navrhuji použití stíracího systému Hestego viz. Obrázek 62.



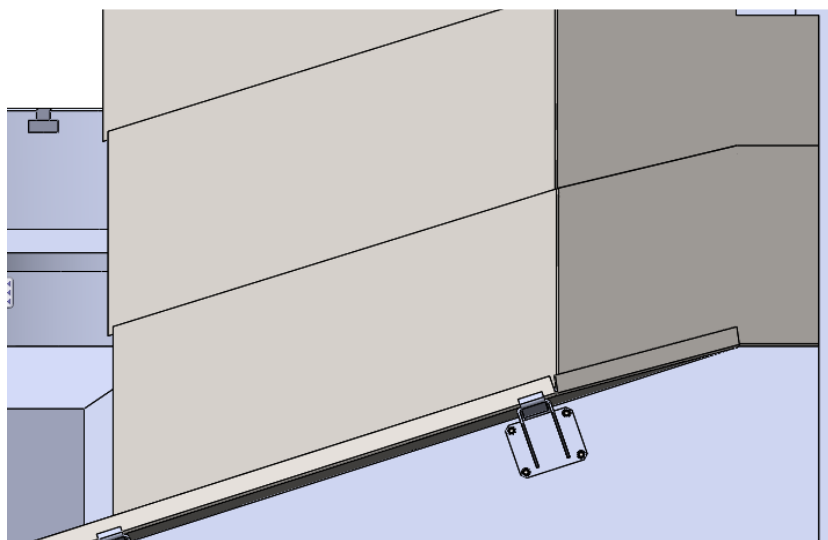
Obrázek 62 – Stírací systém Hestego [11]

- 1) pružinová spona, 2) plech krytu, 3) tlumení, 4) stírací profil, 5) nosný profil, 6) pevný držák.

Výška mezi příčnickem a ložem stroje je nejužší místo teleskopických krytů. V horní poloze příčnicku je tato hodnota 1800 mm a v dolní poloze příčnicku 1000 mm. Z tohoto plyne, že teleskopický kryt by mohl být složen pouze ze dvou částí (jedna pohyblivá, jedna stojící).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 71
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

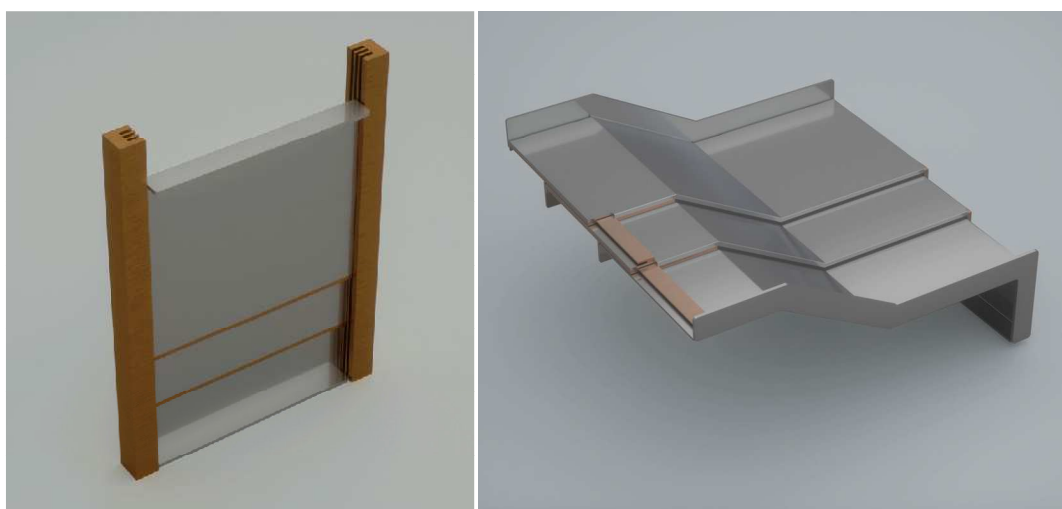
Toto řešení by bylo podstatně levnější a jednodušší než varianta složená ze tří částí. V pravé části teleskopického krytu zde ale vystupuje nutnost umístění okna pro průjezd smykadla do oblasti výměny nástrojů, které musí zajistit i průjezd poháněné nástrojové hlavy s největším nástrojem. Z tohoto důvodu volím teleskopický kryt složený ze tří částí. Rozměry okna volím 600 x 350 mm (výška x šířka). Při jednoduché úvaze zjistíme, že plechy teleskopického krytu ve složeném stavu kolidují s tímto oknem. Z tohoto důvodu volím prostorově nejúspornější řešení, kdy teleskopické kryty kopírují svým tvarem šikminu skluzu (Obrázek 63). Rozměr okna zůstává nezměněn.



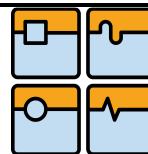
Obrázek 63 – Šikmé plechy teleskopického krytu

Vedení teleskopického krytu může být řešeno dvěma způsoby (Obrázek 64):

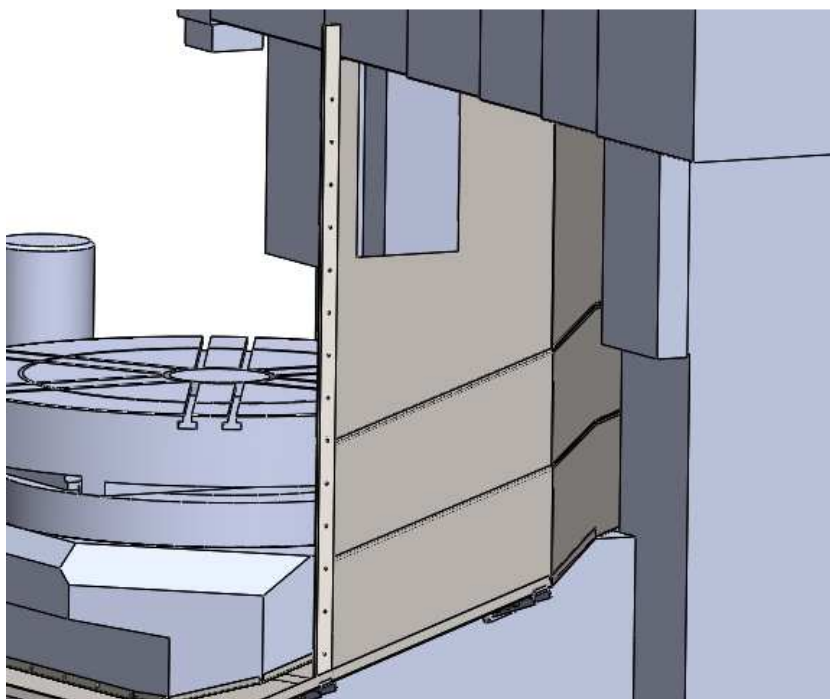
- vedení integrované do teleskopického krytu;
- vedení vně teleskopického krytu.



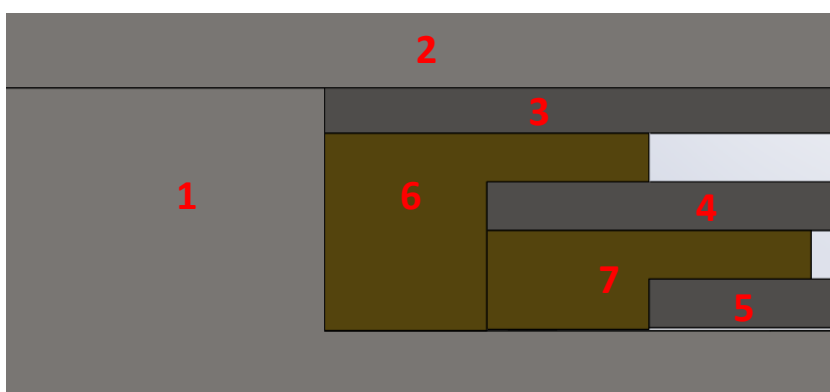
Obrázek 64 – Vedení vně teleskopického krytu a integrované do teleskopického krytu [9]



Vnější vedení teleskopického krytu je možné pouze v případě, že to dovoluje kinematika a prostorové rozložení pohybujících se částí stroje. (Vnější vedení nemění svoji velikost, a je tedy prostorově náročné.) Výhodou tohoto řešení je ale větší stabilita a tuhost celé konstrukce. V případě stroje Powerturn lze vnější vedení úspěšně využít. Jedna část pevného vedení je připevněna v zadní části k rámu stroje a druhá část je pevně uchycena na později zmiňovaný podpůrný rám krytů. Vedení jednotlivých částí je řešeno pomocí jednoduchých kluzných lišt, které jsou přiletovány nebo přišroubovány k plechu teleskopického krytu (Obrázek 66).



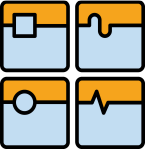
Obrázek 65 – Teleskopický kryt vedený pomocí vnějších lišt



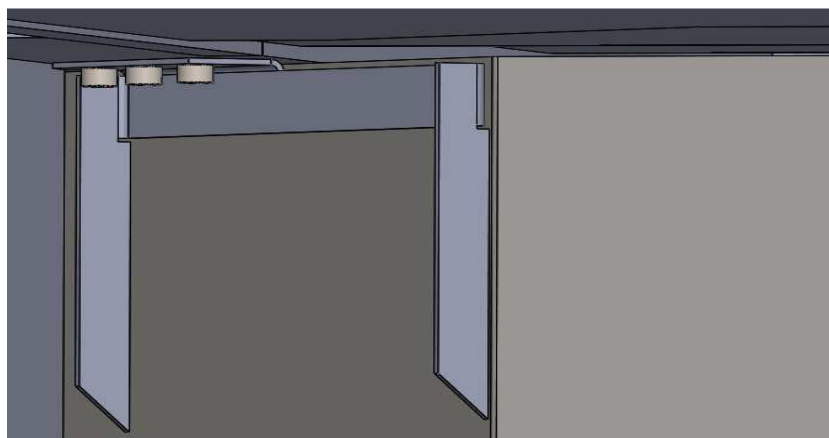
Obrázek 66 – Detail vedení teleskopického krytu

1) spodní část vnějšího vedení, 2) horní část vnějšího vedení, 3,4,5) horní, prostřední, spodní plech teleskopického krytu, 6) mosazná vodící lišta horního teleskopického plechu, 7) mosazná vodící lišta prostředního teleskopického plechu.



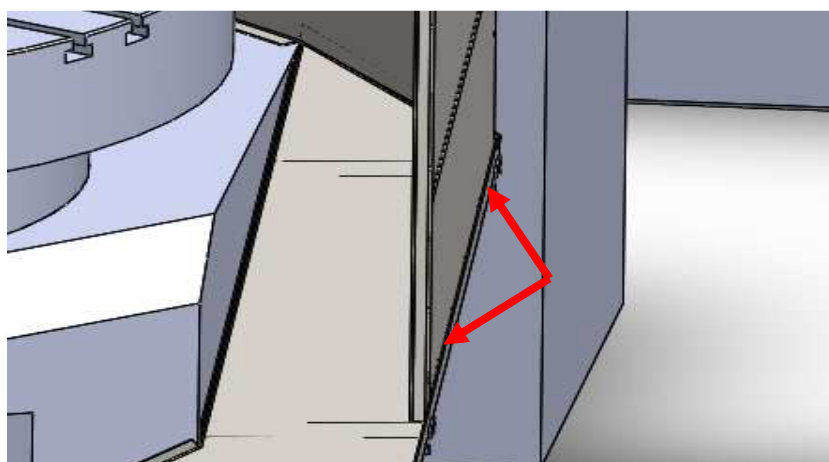
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 73
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Horní část teleskopického krytu musí být pevně spojena s pohybující se částí stroje (v našem případě pohybující se příčník). Vhodné místo uchycení teleskopického krytu je spodní část příčníku. Napojení je realizováno pomocí podpůrné součásti, která je navařena na horní teleskopický plech a přišroubována pomocí šroubů k příčníku stroje. Teleskopický kryt by měl být správně uchycen po celém čele. To v našem případě ale bohužel není možné, a z toho důvodu zde vzniká riziko deformace a následného přičení. Proto navrhuji dodatečná opatření ve formě volby větší tloušťky plechu (3 mm) a vyztužení celého dílce pomocí žeber. Ke snížení deformací a následného přičení přispívá i fakt, že uchycení je téměř nad těžištěm celého plechového dílce.



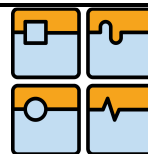
Obrázek 67 – Držák a výztuha teleskopického plechu

Spodní nepohyblivý plech je pevně spojen s vedením a dosedá na vnitřní stranu skluzu, a tak nedojde k proniknutí tekoucí rezné kapaliny za kryt. V případě nasměrovaného paprsku tlakové kapaliny na místo spoje k tomuto proniknutí dojít může. Jako opatření navrhuji do spáry mezi nepohyblivým plechem teleskopického krytu a plechem skluzu nanést těsnící tmel.

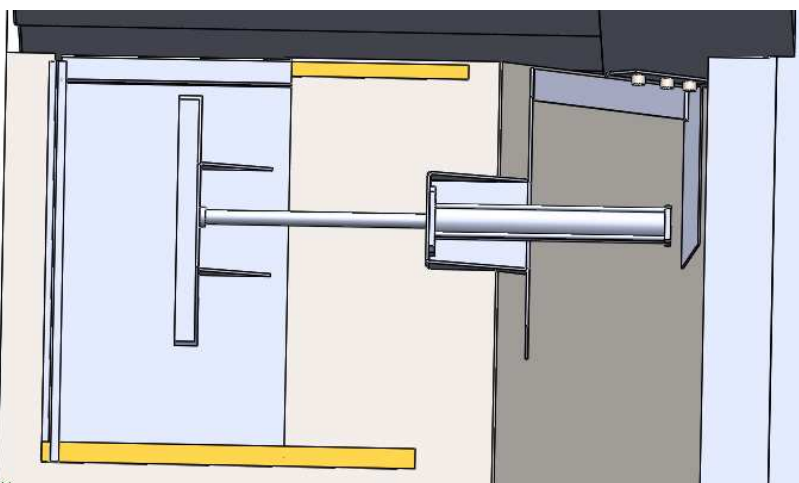


Obrázek 68 – Oblast aplikace těsnícího tmelu do spáry

Dvířka okna pro průjezd smykadla do prostoru pro výměnu nástrojů jsou řešena jako ohybek z plechu o síle 3 mm. Vedení těchto dvířek je navrženo pomocí dvou mosazných lišt

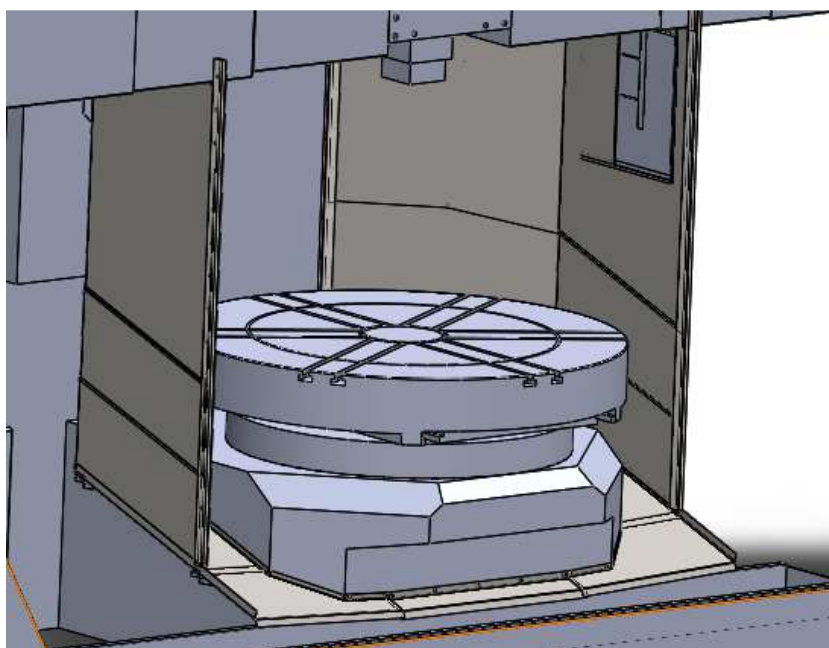


přípevněných pomocí šroubů k hornímu teleskopickému plechu. Dvířka jsou těsněna pomocí kartáčových těsnících lišt. Jako pohonnou jednotku jsem zvolil pneumatický válec (možné i řešení pomocí hydrauliky). Při klasickém uložení pneumatického válce za oblast pohybu okna zde vzniká problém kolidování válce s vedením osy  $q$ . Tento problém neřeší ani uložení válce pod vedení okna, kde opět vzniká problém kolize s další součástí teleskopického plechu. Z tohoto důvodu vybírám konstrukční řešení, které přesazuje pneumatický válec částečně nad oblast pohybu okna (Obrázek 69).



Obrázek 69 – Řešení pohonu dvířek teleskopického krytu

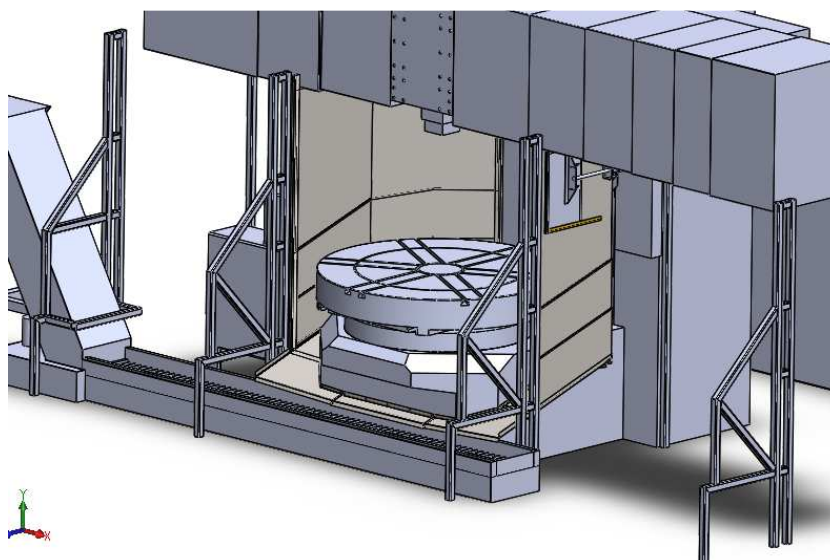
Celkové provedení teleskopického krytu včetně skluzů potom zobrazuje následující obrázek.



Obrázek 70 – Teleskopické kryty a skluzy

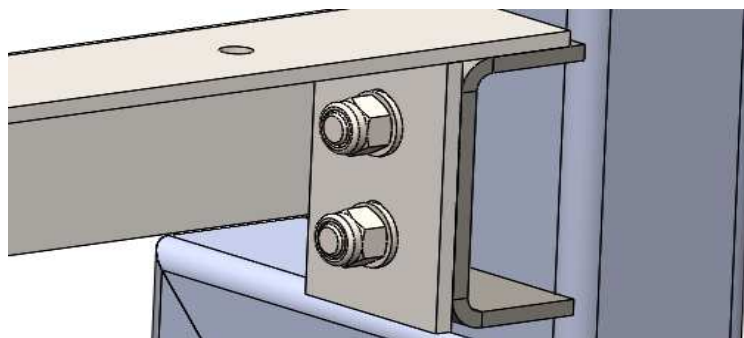
### 5.8.3 RÁMOVÁ KONSTRUKCE

Při volbě zda bude krytování provedeno samonosně, nebo využije podporu v podobě rámu, hraje důležitou roli velikost stroje, a popřípadě ještě technologické vybavení firmy. Samonosné konstrukce se zpravidla provádí u menších strojů, protože jsou většinou přepravovány v jednom celku. U větších strojů je transport ve smontovaném stavu většinou nemožný, a proto se stroj i s krytem po transportu jednotlivých částí kompletuje přímo u zákazníka. Toto je případ i stroje Powerturn 2000. Z tohoto důvodu volím podporu krytů ve formě částečně svařovaného a částečně šroubovaného rámu. Základní částí mé rámové konstrukce je svařovaný prvek z čtvercového profilu 60 mm x 60 mm x 5 mm. Tento prvek vychází tvarově částečně z kinematického rozboru a částečně z prostorové náročnosti různých částí krytu jako jsou dopravník třísek a zásobníky nástrojů. Po celé délce krytu jsou použity čtyři tyto svařované prvky zobrazené na následujícím obrázku (Obrázek 71).

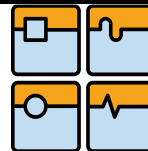


Obrázek 71 – Svařované prvky rámové konstrukce

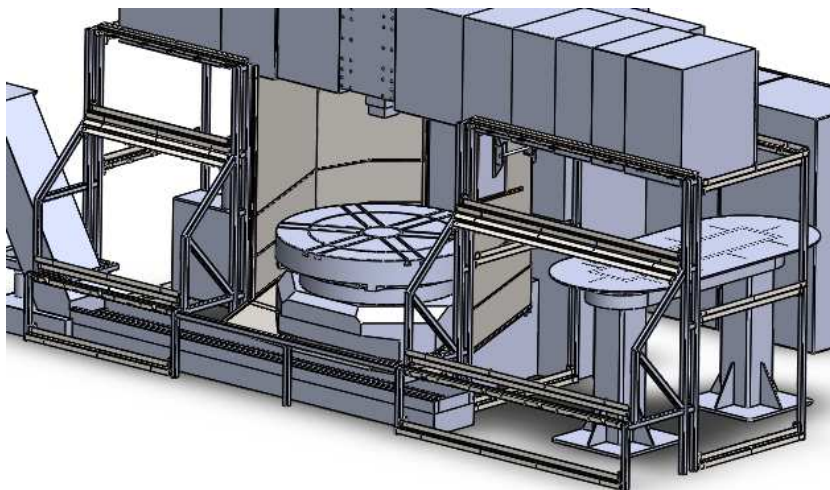
Spojení svařovaných prvků následně vznikne přišroubováním tzv. „mezikusů“, které slouží zároveň jako držáky pro krycí plechové dílce. Šroubový spoj je proveden pro každý mezikus pomocí čtyř šroubů M10. Z důvodu vibrací jsou šrouby opatřeny pojistnými maticemi. Montáž vnějšího i vnitřního plechového dílce je následně provedena pomocí šroubů přes tento mezikus.



Obrázek 72 – Přichycení spojovacího prvku k rámu krytu stroje



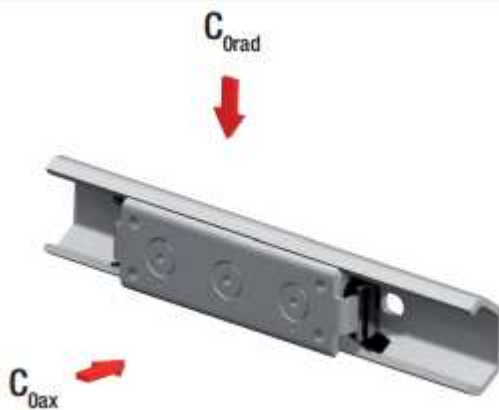
Celková rámová konstrukce okolo pracovního prostoru včetně přípojných prvků plechů následně vypadá takto.



Obrázek 73 – Rámová konstrukce

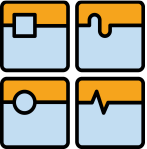
#### 5.8.4 VEDENÍ A POHON DVEŘÍ

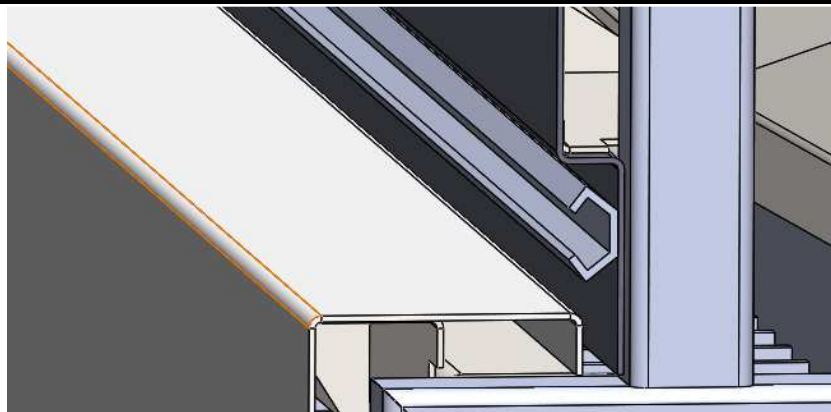
Pro vedení dveří navrhuji použít lineární valivá ložiska ROLLON. Konkrétně typ TES-45 – CES45. Vedení má dostatečnou únosnost v radiálním i axiálním směru ( $C_{0rad} = 1740N$ ,  $C_{0ax} = 935N$ ) a zabezpečí ochranu proti vypadnutí dveří v případě havárie.



Obrázek 74 – Lineární ložisko TES-CES Rollon [38]

Lineární dráhy jsou přišroubovány přes krycí plech do spojovací části rámu, ložiskové vozíky pak na nosný profil dveří. Vedení jsou z důvodu bezpečnosti a estetického hlediska zasazena do oplechování stroje.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 77
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	



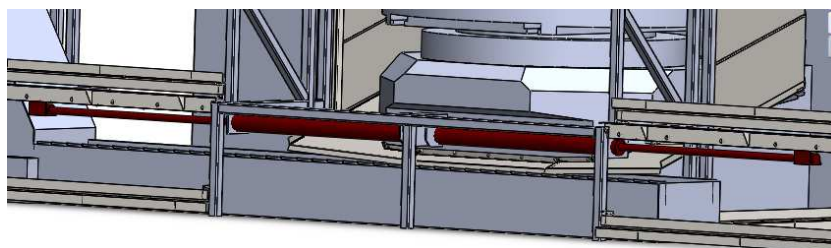
Obrázek 75 – Umístění lineární dráhy

Pohon dveří může být řešen mnoha způsoby. Základní způsoby jsou ale v podstatě stejné jako při pohonu pohybových os stroje:

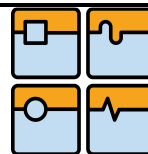
- pohon pomocí hydraulického válce;
- pohon pomocí pneumatického válce;
- pohon pomocí elektromotoru a kuličkového šroubu;
- pohon pomocí elektromotoru- systém pastorek-hřeben;
- pohon lineárním motorem.

Z důvodu rámového charakteru krytování, a tím pádem problémového uchycení například kuličkového šroubu, nebo ozubeného hřebene, volím variantu pohonu pomocí hydraulického (popřípadě pneumatického) válce. Tato varianta pohonu odpovídá všem požadavkům na bezpečnost (okamžité zastavení v případě systémové identifikace nebezpečí) a požadavkům na spolehlivost systému. Nevýhodou tohoto řešení je nízká dynamika a vyšší pořizovací cena. Dynamika pohonu dveří je ale svázána s již výše zmiňovaným požadavkem na maximální sílu a maximální kinetickou energii působení dveří.

V případě návrhu pohonu dveří je důležitým parametrem jejich dráha. Ta byla určena na začátku této kapitoly v kinematickém rozboru, a je určena polovinou šířky pracovního prostoru + rezerva. Je tedy 1450 mm. V případě návrhu válce je nutné znát působící sílu nutnou k otevření dveří. Ta je částečně dána zmiňovanou normou a hodnotou 150N. Tato hodnota ale musí být zvětšena o odpory, které působí v lineárních ložiscích a v důsledku tření kartáčových těsnících lišt. Hydraulické válce jsem umístil do prostřední části stroje a pro průchod pístnice jsem vytvořil díry v plechových stěnách. Samotný převod síly na dveře se děje pomocí spojovacího členu, který prochází mezerou mezi plechy v oblasti vedení.

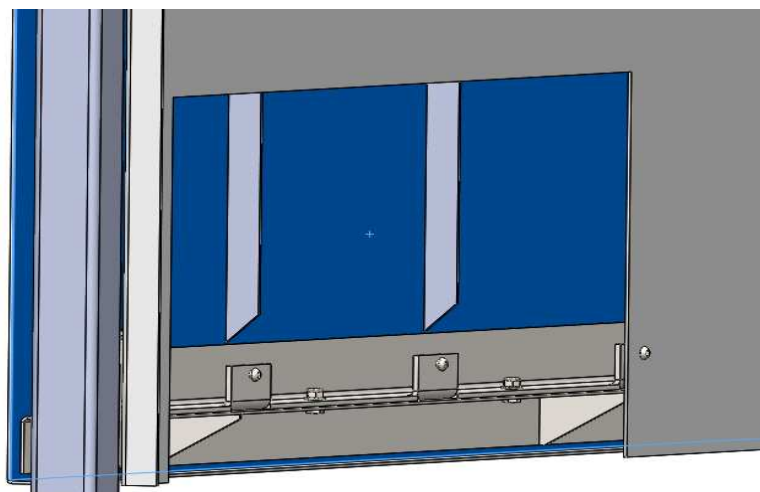


Obrázek 76 – Pozice pohonu dveří



### 5.8.5 OPLECHOVÁNÍ

Na základě hlukového rozboru krytu volím dvouplášťové provedení oplechování stroje. Materiálem plechů je ocel značená podle ČSN 11 373.1. Tloušťka materiálu volena 4 mm podle výpočtu v kapitole věnující se bezpečnostnímu rozboru. Pokud ale tuto tloušťku rozdělíme na materiál 2 mm + 2 mm, nejedná se o ten samý testovaný materiál. Z tabulky A.5 normy ČSN EN 12417+A2 věnující se bezpečnosti frézovacích strojů vyplývá, že dva materiály o rozdílných tloušťkách vydrží minimálně stejnou energii nárazu jako je součet energií pro každý z těchto materiálů zvlášť.[40] Z tohoto důvodu, a také protože se v obou případech jedná o materiál stejného charakteru, můžeme uvažovat stejnou hodnotu bezpečnosti pro zmiňovaný plech jednoplášťový a plech dvouplášťový. Z důvodu větší tuhosti plechových dílů ale navýším tuto hodnotu na 3 mm + 2 mm (3mm z vnější strany), materiál plechů zůstává stejný. Oplechování je navrženo tak, že dovoluje pojmout zvukoizolační materiál v tloušťce až 90 mm. Dvouplášťový kryt stroje zobrazuje následující obrázek. Na tomto obrázku můžete vidět žebrovaní plechů, které zvyšuje jeho tuhost, a modře je značena oblast nalepení zvukoizolačního materiálu.

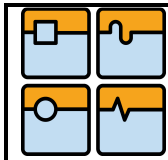


Obrázek 77 – Řez dvouplášťovým krytem

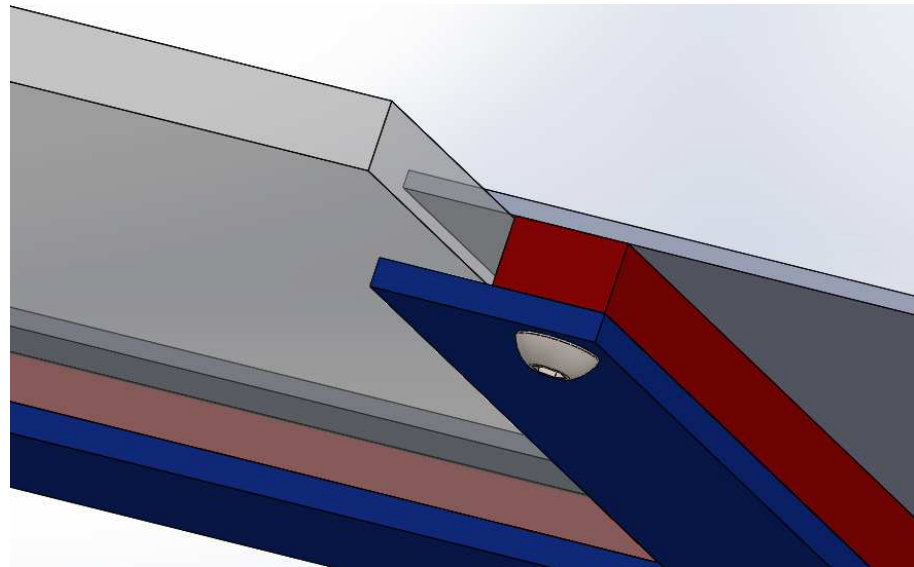
Na obrázku si můžete všimnout připojení plechů k rámu stroje. Toto připojení je provedeno pomocí šroubových spojení. V případě, že budeme uvažovat vibrace celého zařízení, je nutné šrouby pojistit proti povolení např. speciálním lepidlem na závity.

### 5.8.6 KONSTRUKCE DVEŘÍ

Konstrukce dveří je podmíněna jejich funkcí. Dveře musí dostatečně oddělit pracovní prostor od okolí stroje, tzn. musí zabránit proniknutí všech produktů řezného procesu a zároveň být zhotoveny z materiálů, které zabrání proniknutí tělesa podle výše zmiňované zkoušky nárazem. Dalším požadavkem je přehled obsluhy stroje o dění v pracovním prostoru. Na dveřích by měly být umístěny velké průhledy, které se dají v případě potřeby ještě vybavit zařízením jako RotoClear (Obrázek 22), nebo kamerovým systémem. Materiálem průhledů je polykarbonát o tloušťce 12 mm určený na základě výpočtu a tabulky B.1 (Tabulka 5) testovaných materiálů, které jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 23125. Důležité je také upevnění těchto průhledů. To je provedeno podle bezpečnostních pokynů a



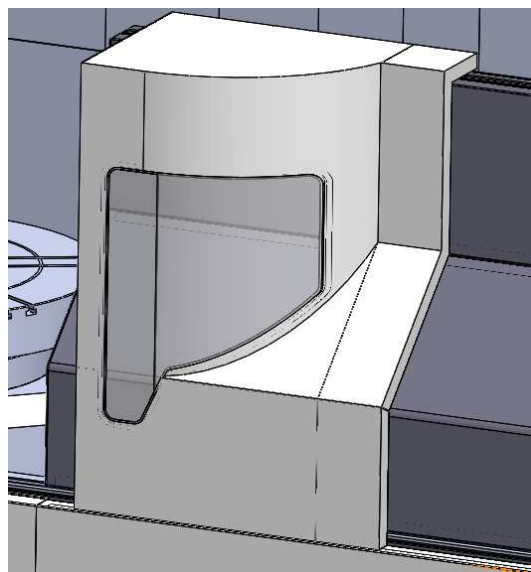
překrytí rámečku přes průhled je voleno 35 mm. Při uchycení musíme uvažovat i teplotní roztažnost polykarbonátu, a proto uchycení navrhnout s vůlí.



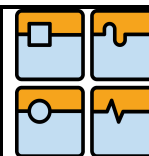
Obrázek 78- Překrytí průhledů

Posuvné dveře krytu jsou zhotoveny jako svarek z ocelových výpalků. Dveře jsou vyžebrovány a vzniklé mezery mezi žebry vyplněny zvuk-pohltivým materiálem. Součástí dveří je upevnění již zmiňovaných ložiskových vozíků a spojovacího členu s pohonem dveří.

Na zadní stranu dveří je přišroubována další vrstva plechu, která zabrání pronikání produktů rezného procesu do vnitřního prostoru dveří, aby nemohlo dojít ke znehodnocení zvuk-pohltivého materiálu. Celkový tvar dveří je volen s ohledem na co největší přehled obsluhy o dění v obráběcím prostoru.



Obrázek 79 – Celkový tvar dveří



### 5.8.7 ANTIVIBRAČNÍ OPATŘENÍ

Antivibrační opatření jsou volena na základě rozborů provedených v kapitole 5.6. Jak již bylo výše zmíněno, důležité je vibračně odizolovat stroj a vibrující základ od rámu krytování. Na základě tohoto zjištění bylo provedeno několik konstrukčních opatření, které mají pozitivní vliv na celou vibrační situaci. Nohy rámu jsou v místě styku se zemí opatřeny polohovacími prvky Elesa-ganter LW.A, tlumícími vibrace. V místě styku rámu stroje a podpůrného rámu krytu jsou aplikovány silentbloky stejné firmy.

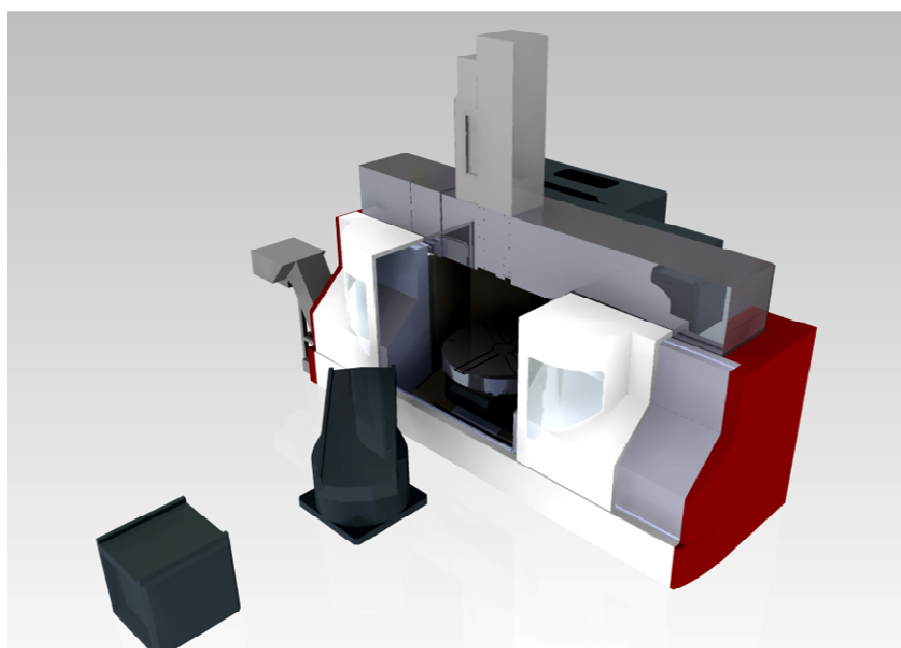


Obrázek 80 – Antivibrační nohy (vlevo), silentbloky (vpravo) [39]

Dalším opatřením přispívajícím k redukci vibrací je možnost provést montáž čelních pohledových plechů pomocí technologie lepení. Lepící a pružné tmely mají dobré antivibrační vlastnosti a při správném použití zajistí i požadovanou pevnost spojení. Tato technologie je často používána v automobilovém průmyslu, např. pro lepení výztuhy ke kapotě automobilu. U starších automobilů ale můžeme pozorovat, že pevnost tohoto spojení časem klesá. Otázkou proto zůstává jejich bezpečnost použití z dlouhodobého hlediska.

### 5.8.8 CELKOVÉ KRYTOVÁNÍ

Následující obrázek zobrazuje čelní stranu navržených krytů stroje Powerturn 2000.



Obrázek 81 - Čelní strana krytů stroje Powerturn 2000

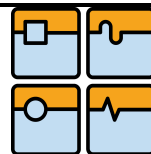




Obrázek 82 – čelní pohled na kryt



Obrázek 83 - Detail dveří



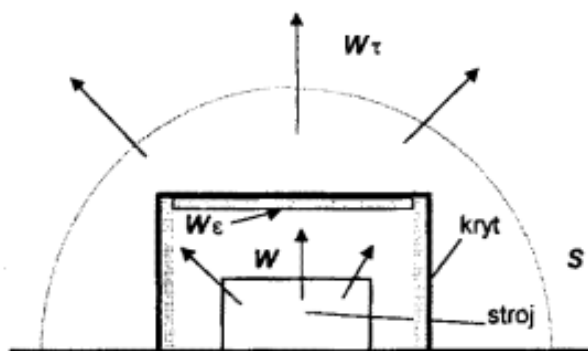
## 6 VÝPOČET ZVUKOVÉHO ÚTLUMU

### 6.1 TEORIE VÝPOČTU

Výpočet vložného útlumu krytu bude proveden na základě odvození z rovnic rozdílu akustického výkonu stroje bez krytu a stroje s krytem. Náš stroj vyzařuje do okolí akustický výkon  $W$ . Při umístění pod kryt se tento celkový výkon rozdělí na dvě složky [2]:

$$W = W_{\tau} + W_{\varepsilon} \quad (19)$$

Kde:  $W_{\varepsilon}$  [W] - akustický výkon přeměněný stěnou krytu na teplo;  
 $W_{\tau}$  [W] - akustický výkon vyzářený stěnou krytu do svého okolí.



Obrázek 84 – Schéma zvukoizolačního krytu[2]

Výkon přeměněný krytem na teplo lze vypočítat pomocí následujícího vztahu[2]:

$$W_{\varepsilon} = I \cdot \sum_{i=1}^n S_i \cdot \varepsilon_i \quad (20)$$

Kde:  $I$  [W/m<sup>2</sup>] - intenzita zvuku dopadajícího na kryt;  
 $S_i$  [m<sup>2</sup>] - dílčí plocha krytu;  
 $\varepsilon_i$  [-] - činitel přeměny dílčí plochy.

Výkon vyzářený krytem do svého okolí ilustruje rovnice[2]:

$$W_{\tau} = I \cdot \sum_{i=1}^n S_i \cdot \tau_i \quad (21)$$

Kde:  $\tau_i$  [-] - činitel průzvučnosti dílčí plochy.

Vyjádřit vložný útlum zvukoizolačního krytu lze jako logaritmus poměru akustického výkonu stroje a akustického výkonu vyzářovaného krytem [2]:

$$D_W = 10 \cdot \log \frac{W}{W_{\tau}} \quad (22)$$

Kde:  $D_W$  [dB] - útlum vyzářeného výkonu zvukoizolačního krytu.

Dosadíme-li do tohoto vztahu celkový akustický výkon a výkon vyzářený krytem odvozený na základě předcházejících rovnic, dostaneme [2]:

$$D_W = 10 \cdot \log \left( 1 + \frac{\sum \varepsilon_i \cdot S_i}{\sum \tau_i \cdot S_i} \right) \quad (23)$$

Tato rovnice vyjadřuje decibelový útlum celkového akustického výkonu vyzářeného krytem.

Hodnota  $\varepsilon$  se získá na základě následujícího vztahu [5]:

$$\varepsilon = \alpha - \tau \quad (24)$$

Kde:  $\alpha$  [-] - činitel zvukové pohltivosti.

Hodnota činitele neprůzvučnosti  $\tau$  je řádově  $10^{-3}$  až  $10^{-6}$ , což je o mnoho méně než je hodnota činitele zvukové pohltivosti  $\alpha$ . Proto ji můžeme při výpočtu činitele přeměny  $\varepsilon$  zanedbat. Hodnotu  $\alpha$  zjistíme na základě podkladů k zvukopohltivým materiálům v kapitole 3.3. [5]

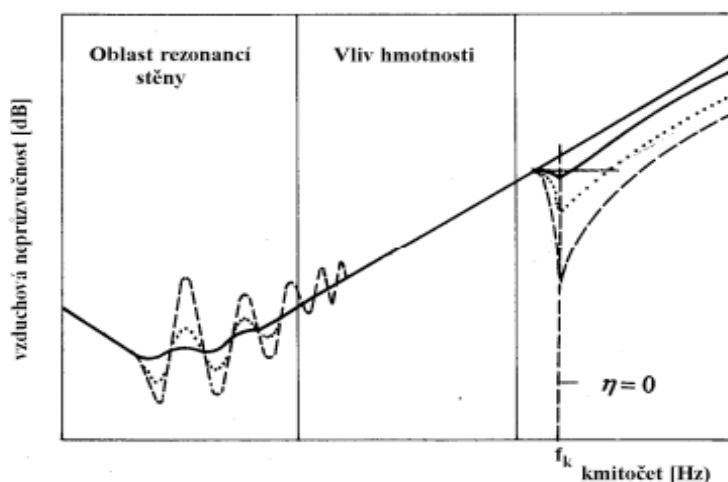
Výpočet činitele neprůzvučnosti je proveden na základě vyjádření z dříve uvedené rovnice zvukové neprůzvučnosti. Její vyjádření je následující [2]:

$$\tau = \frac{1}{10^{0,1 \cdot R}} \quad (25)$$

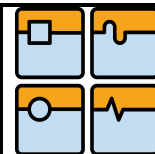
Kde:  $R$  [dB] - vzduchová neprůzvučnost.

Hodnota vzduchové neprůzvučnosti má své charakteristické vlastnosti a lze ji vypočítat pomocí následujících vztahů. Předpokladem pro správnost výsledků je, že tloušťka stěny krytu musí být malá a splňuje následující podmínku  $h = \lambda/4$ . Tato podmínka bude splněna s velkou rezervou (pro ocel  $h_{\max} = 0,456$  m).[5]

### 6.1.1 VZDUCHOVÁ NEPRŮZVUČNOST JEDNODUCHÉ STĚNY



Obrázek 85 – Vzduchová neprůzvučnost jednoduché stěny [2]



Předcházející obrázek ilustruje průběh zvukové neprůzvučnosti jednoduché stěny. Můžeme jej rozdělit na tři oblasti. V první oblasti se na neprůzvučnosti nepříznivě projevují rezonanční kmity desky a průběh výrazně závisí na tuhosti a tlumení. První oblast se v praxi neuvažuje jako zvukoizolační. Vzduchová neprůzvučnost v druhé oblasti je závislá na plošné hmotnosti desky. Pro kolmý dopad akustických vln je průběh neprůzvučnosti v této oblasti určen následujícím vztahem [2]:

$$R = 20 \log m'' + 20 \log f - 47,5 \quad (26)$$

Kde:  $m''$  [kg.m<sup>-2</sup>] - plošná hmotnost desky;  
 $f$  [Hz] - frekvence akustického vlnění.

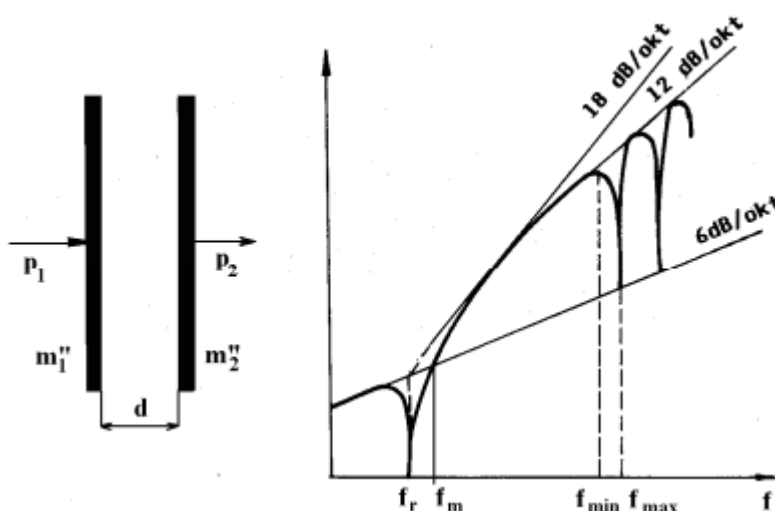
V třetí oblasti se projeví tzv. koincidenční jev, kdy se vlnové délky volných ohybových vln v desce rovnají vlnové délce vynuceného ohybového kmitání. Frekvence koincidenčního jevu pro kolmý dopad akustických vln se zjistí na základě následující rovnice [2]:

$$f_k = \frac{c^2}{1,8 \cdot c_L \cdot h} = f_{kr} \quad (27)$$

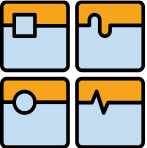
Kde:  $f_k$  [Hz] - koincidenční kmitočet;  
 $c$  [m.s<sup>-1</sup>] - rychlost šíření zvuku ve vzduchu;  
 $c_L$  [m.s<sup>-1</sup>] - rychlost šíření podélných vln v desce;  
 $h$  [m] - tloušťka desky;  
 $f_{kr}$  [Hz] - kritický kmitočet.

Vlivem koincidenčního kmitočtu dojde k poklesu neprůzvučnosti o cca 10 až 20 dB. Hodnotu poklesu může příznivě ovlivnit činitel vnitřního tlumení  $\eta$ . [2]

### 6.1.2 VZDUCHOVÁ NEPRŮZVUČNOST DVOJITÉ STĚNY



Obrázek 86 – Vzduchová neprůzvučnost dvojité stěny [2]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 85
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Dvojitá stěna je stěna skládající se ze dvou desek oddělených od sebe vzduchovou mezerou. U této konstrukce je dosahováno vyšších neprůzvučností z důvodu sériového útlumu jednotlivých vrstev včetně vzduchu v mezeře. Pro správnost uvedených výpočtů je důležité, aby desky nebyly spojené mezi sebou a ani po obvodu. Průběh vzduchové neprůzvučnosti můžeme rozdělit do čtyř oblastí. V první oblasti nízkých kmitočtů se soustava chová jako jednoduchá stěna o plošné hmotnosti dané součtem plošných hmotností  $m_1''$  a  $m_2''$ . Neprůzvučnost potom popisuje rovnice [2]:

$$R = 20 \log(m_1'' + m_2'') + 20 \log f - 47,5 \quad (28)$$

Kde:  $m_1'', m_2''$  [kg.m<sup>-2</sup>] - plošné hmotnosti desek;  
 $f$  [Hz] - frekvence akustického vlnění.

Druhou oblastí je oblast rezonance. Ta začíná od rezonančního kmitočtu, kde dojde k výraznému poklesu neprůzvučnosti. Obvykle se u dvojitě stěny navrhuje vzduchová mezeru dostatečně široká, aby rezonanční pásmo bylo pod oblastí slyšitelnosti. Rezonanční kmitočet se určí podle následujícího vztahu [2]:

$$f_r = \frac{60}{\sqrt{d}} \cdot \sqrt{\frac{1}{m_1''} + \frac{1}{m_2''}} \quad (29)$$

Kde:  $m_1'', m_2''$  [kg.m<sup>-2</sup>] - plošné hmotnosti desek;  
 $f_r$  [Hz] - rezonanční frekvence;  
 $d$  [m] - mezeru mezi deskami.

Poté neprůzvučnost opět roste a neprůzvučnosti jednoduché stěny dosáhne na kmitočtu [5]:

$$f_m = \sqrt{2} \cdot f_r \quad (30)$$

Kde:  $f_m$  [Hz] - frekvence dosažení neprůzvučnosti jednoduché stěny.

Od hodnoty frekvence  $f_m$  následuje třetí oblast průběhu vzduchové neprůzvučnosti. Tato je nejdůležitější, neboť se zde příznivě projevuje vliv konstrukce s dvojitou stěnou a mezerou. Průběh neprůzvučnosti pro  $m_1''=m_2''=m''$  je popsán rovnicí [5]:

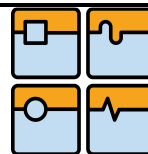
$$R = 60 \log f + 40 \log m'' + 20 \log d - 113,5 \quad (31)$$

Kde:  $m''=m_1''=m_2''$  [kg.m<sup>-2</sup>] - plošné hmotnosti desek.

Poslední je oblast stojatých vln, kde dochází k interferenci mezi vyzářenou a odraženou vlnou ve vzduchové mezeře. Zde vyjadřujeme dvě rovnice neprůzvučnosti pro oblast minim a oblast maxim. Rovnice mají následující tvar [5]:

$$R_{max} = 40 \log f + 20 \log m_1'' + 20 \log m_2'' - 85 \quad (32)$$

Kde:  $R_{max}$  [dB] - maxima vzduchové neprůzvučnosti ve čtvrté oblasti.



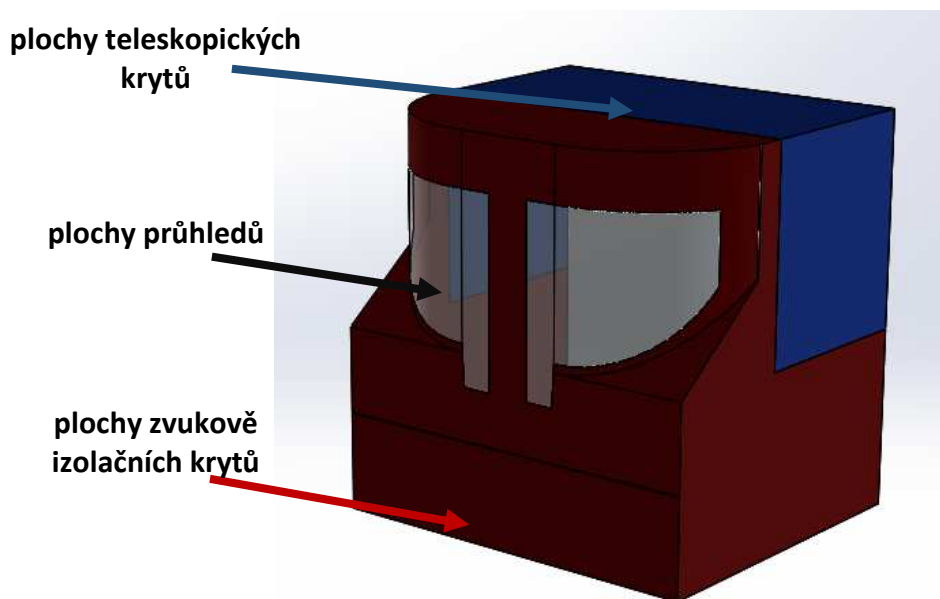
$$R_{min} = 20 \log f + 20 \log m_1'' + 20 \log m_2'' - 42,1 \quad (33)$$

Kde:  $R_{min}$  [dB] - minima vzduchové neprůzvučnosti ve čtvrté oblasti.

## 6.2 VÝPOČTOVÝ MODEL

Na začátku výpočtového modelu je dobré zmínit parametry výpočtu. Z důvodu toho, že výrobci zvukopohltivých materiálů uvádí pouze hodnoty neprůzvučnosti  $\alpha$  pro hodnoty 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz a 4000 Hz měřené dle DIN 52212, budu se dále věnovat pouze těmto hodnotám spektra. Na základě níže uvedené literatury můžeme zjistit, že se jedná o běžný rozsah hodnot odhlučňovaného pásma ve stavební akustice.

Pro zjednodušení celé situace provedeme následující úvahu. Jako nejvíce hlukově exponovaným místem celého stroje byl určen pracovní prostor. Pokud se na základě předchozí teorie podaří snížit hladinu akustického výkonu pracovního prostoru na požadovanou úroveň, je vytvořen předpoklad, že stejné protihlukové opatření aplikované po celém obvodu stroje bude dostatečné. Na základě tohoto předpokladu byl vytvořen následující zjednodušený model pracovního prostoru, který slouží pro určení ploch s rozdílnými zvukoizolačními schopnostmi (Obrázek 87).



Obrázek 87 – Zjednodušený model ploch pracovního prostoru

Byly zvoleny tři základní druhy ploch:

1. plochy teleskopických krytů;
2. plochy průhledů;
3. plochy zvukově izolačních krytů.

- Plochy teleskopických krytů, reprezentují část stroje vybavenou teleskopickými kryty. Na tuto část se z důvodu kinematiky nedají umístit materiály pohlcující hluk. Materiálem je uvažován plech o tloušťce 3 mm. Pro výpočet neprůzvučnosti je použit model jednoduché stěny.

- Plochy průhledů reprezentují polykarbonátovou výplň o tloušťce 12mm. Výpočet neprůzvučnosti je proveden podle modelu jednoduché desky.

- Plochy zvukově izolačních krytů jsou plochy dvouplášťového krytu, který je složen ze dvou plechů o tloušťce 3 mm + 2 mm (3mm na vnější straně). Tloušťka vzduchové mezery mezi kryty může být až 85 mm. Modelem výpočtu neprůzvučnosti ale nebude model dvojité desky z důvodu, že vnější i vnitřní kryt mají společný držák (Obrázek 77), a nesplňují tudíž podmínky výpočtu. Z tohoto důvodu volím výpočtový model jednoduché desky, který lze počítat podle vztahu (26).

Základní charakteristiky materiálů uvádí Tabulka 6, pro srovnání uvádím i plechy o tloušťce 4 mm a 5 mm. Obsahy ploch vypočtených pomocí CAD softwaru jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 7).

Parametry materiálů					
Materiál	h [m]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	E [Pa]	$m''$ [kg.m <sup>-2</sup> ]	$c_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]
ocel 2 mm	0,002	7850	2,60E+11	15,7	5755,1
ocel 3 mm	0,003	7850	2,60E+11	23,55	5755,1
ocel 4 mm	0,004	7850	2,60E+11	31,4	5755,1
ocel 5 mm	0,005	7850	2,60E+11	39,25	5755,1
polykarbonát 12 mm	0,012	1190	2,40E+09	14,28	1420,1

Tabulka 6 – Parametry materiálů

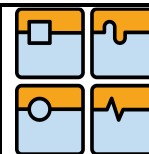
Plošný obsah [m <sup>2</sup> ]	
Teleskopické kryty	8,643
Průhledy	2,749
Zvukoizolační kryty	17,380

Tabulka 7 – Obsahy ploch zjednodušeného pracovního prostoru

Před výpočtem vzduchové neprůzvučnosti podle výše uvedených vztahů je třeba zjistit kritickou frekvenci, při které dojde k výraznému poklesu neprůzvučnosti. Hodnoty ovlivněné tímto faktorem upravím odečtením hodnoty 20 dB, kterou jsem zvolil na základě uvedené literatury [5].

Kritická frekvence	
Materiál	$f_{kr}$ [Hz]
ocel 2 mm	5711,7
ocel 3 mm	3807,8
ocel 4 mm	2855,8
ocel 5 mm	2284,7
polykarbonát 12 mm	3857,7

Tabulka 8 – Kritické frekvence zvolených materiálů



Na základě uvedených hodnot můžeme pozorovat trend klesání kritické frekvence v závislosti na zvětšující se tloušťce materiálu  $h$ . Zároveň pozorujeme, že kritické kmitočty u oceli tloušťky 3 mm, 4 mm, 5 mm a polykarbonátu 12 mm zasahují do námi sledovaného kmitočtového pásma.

Neprůzvučnost jednoduché stěny R [dB], $\tau$ [-]										
f [Hz]	Plech 2 mm		Plech 3 mm		Plech 4 mm		Plech 5 mm		Polykarbonát 12 mm	
	R	$\tau$	R	$\tau$	R	$\tau$	R	$\tau$	R	$\tau$
125	18,4	1,46E-02	21,9	6,49E-03	24,4	3,65E-03	26,3	2,34E-03	17,5	1,76E-02
250	24,4	3,65E-03	27,9	1,62E-03	30,4	9,13E-04	32,3	5,84E-04	23,6	4,41E-03
500	30,4	9,13E-04	33,9	4,06E-04	36,4	2,28E-04	38,4	1,46E-04	29,6	1,10E-03
1000	36,4	2,28E-04	39,9	1,01E-04	42,4	5,70E-05	44,4	3,65E-05	35,6	2,76E-04
2000	42,4	5,70E-05	46,0	2,53E-05	48,5	1,43E-05	30,4	9,13E-04	41,6	6,89E-05
4000	48,5	1,43E-05	32,0	6,34E-04	34,5	3,56E-04	36,4	2,28E-04	27,6	1,72E-03

Tabulka 9 – Vzduchové neprůzvučnosti a činitele průzvučnosti uvedených materiálů

Červeně označené hodnoty odpovídají korigovaným hodnotám materiálů zasažených kritickou frekvencí. Ve výpočtu budu uvažovat materiál složený ze dvou desek  $h=2$  mm a  $h=3$  mm. Po porovnání rovnic (26) a (28) zjistíme, že výsledky budou stejné jako pro materiál  $h=5$  mm s tím rozdílem, že kritická frekvence zasáhne do výsledků až ve vyšších hodnotách kmitočtů. Tento rozdíl je způsoben výhodnějšími vlastnostmi užších materiálů v oblasti rezonančních kmitočtů, které zobrazuje Tabulka 8.

Jako zvukově pohltivý materiál volím melaminovou pěnu a polyuretanovou desku. Hodnoty součinitele zvukové pohltivosti  $\alpha$  zobrazuje následující tabulka.

Zvuková pohltivost $\alpha$ [-]									
f [Hz]	Melaminová deska [32]				Polyuretanová deska [30]				
	30 mm	40 mm	50 mm	80 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	80 mm
125	0,12	0,12	0,16	0,31	0,09	0,11	0,15	0,19	0,36
250	0,31	0,44	0,56	1,00	0,14	0,23	0,39	0,53	0,98
500	0,66	0,87	0,96	1,00	0,28	0,53	0,69	0,81	1,00
1000	0,86	0,96	1,00	1,00	0,59	0,92	0,92	1,00	1,00
2000	0,87	0,97	1,00	1,00	0,87	0,90	0,90	0,94	1,00
4000	0,92	0,97	1,00	1,00	0,86	0,99	1,00	1,00	1,00

Tabulka 10 – Součinitele zvukové pohltivosti  $\alpha$

Z tabulky je jasné patrné, že čím větší je tloušťka pohltivé vrstvy, tím bude lepší výsledný útlum v nižších frekvencích. Ve vysokých frekvencích naopak předpokládám podobné hodnoty vložného útlumu pro zmíněné materiály mimo nejužších variant.



Před výpočtem vložného útlumu zde uvádím ještě poslední rovnici nutnou pro správnost vypočtených hodnot. Jedná se o rovnici převodu útlumu akustického výkonu na útlum akustického tlaku. V případě nezavedení tohoto vzorce se dopustíme závažné chyby a výsledky by byly neúměrně nadnesené.

$$D_p = D_w - 10 \log S \quad (34)$$

Kde:  $D_p$  [dB] - útlum akustického tlaku;  
 $D_w$  [dB] - útlum akustického výkonu;  
 $S$  [m<sup>2</sup>] - plocha krytu;

Na základě všech výše uvedených vztahů, hodnot a předpokladů jsou určeny následující hodnoty. Důležitá je požadovaná hodnota útlumu akustického tlaku  $D_{pp}=17$  dB





Útlum $D_p$ [dB]									
f [Hz]	Melaminová deska				Polyuretanová deska				
	30 mm	40 mm	50 mm	80 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	80 mm
125	2,60	2,60	3,83	6,67	1,38	2,23	3,55	4,57	7,32
250	12,67	14,19	15,23	17,75	9,23	11,37	13,66	14,99	17,66
500	21,96	23,16	23,59	23,77	18,24	21,01	22,16	22,85	23,77
1000	29,13	29,61	29,79	29,79	27,50	29,43	29,43	29,79	29,79
2000	35,20	35,68	35,81	35,81	35,20	35,35	35,35	35,54	35,81
4000	21,47	21,70	21,83	21,83	21,17	21,79	21,83	21,83	21,83

Tabulka 11 – Útlum akustického tlaku v krytu

Z předcházející tabulky vyplývá, že se stávajícím řešením krytů nemůžeme dosáhnout požadovaného útlumu v celém frekvenčním spektru. Pro hodnoty 125 Hz nedosahuje požadovaného útlumu ani jeden z uvažovaných materiálů a pro 250 Hz jsou hodnoty požadovaného útlumu dosaženy jen při maximálních tloušťkách výplňového materiálu. Pokud by byla známa oktávová analýza hluku stroje, bylo by možné určit, zda-li je navržené řešení dostatečné, což na základě hodnoty ekvivalentního akustického tlaku prohlásit nelze. Může se stát, že stroj bude účinně vyzařovat akustickou energii v nízkých kmitočtech (oblast do 250 Hz), kde je útlum krytu nejmenší, a navržené řešení tudíž nebude splňovat požadavky na vložený útlum. Pokud by bylo rozložení akustického tlaku v uvedeném spektru rovnoměrné, výsledek celkového vložného útlumu pro uvedené materiály by byl následující.

Útlum $D$ pro rovnoměrné rozložení spektra v rozsahu 125 Hz až 4000 Hz [dB]									
$D_{rov}$ [dB]	Melaminová deska				Polyuretanová deska				
	30 mm	40 mm	50 mm	80 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	80 mm
		17,36	17,91	18,35	19,13	15,90	17,09	17,77	18,28

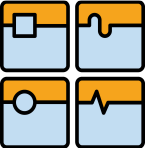
Tabulka 12 – Výsledné útlumy pro rovnoměrné rozložení spektra

Str. 90	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky		
	DIPLOMOVÁ PRÁCE		

Z tabulky útlumu pro rovnoměrné rozložení akustického tlaku na uvedeném spektru je zřejmé, že výsledné útlumy budou vyhovovat pro všechny uvedené materiály s výjimkou polyuretanové desky s tloušťkou 20mm. Nejlepšího útlumu dosáhneme při použití melaminové desky s tloušťkou 80 mm. Rozdíly mezi materiály jsou ale minimální.

### 6.3 ZHODNOCENÍ VÝPOČTU

Na základě rozboru řešení je zřejmé, že zásadní vliv na výsledek výpočtu mají plochy, které nejsou tlumené (teleskopické kryty, průhledy). Plochy teleskopických krytů jsou pevné a nelze do výpočtu uvažovat jejich zmenšení, což ale lze v případě průhledů za cenu snížení ergonomického komfortu obsluhy. Vypočtené hodnoty se od reálného měření mohou lišit. Vlivem netěsností krytu by pokles neprůzvučnosti mohl tvořit i několik dB. Ve prospěch tohoto výpočtu ale hovoří fakt, že byl proveden pro nejméně výhodnou situaci prostoru, který má z hlediska stroje největší hlučnost a je nejméně hlukově stíněný. Na boční uvažované plochy pracovního prostoru navíc navazují další kryty, které mohou být vyplněny stejným zvukopohltivým materiálem, a parametr výsledného útlumu by byl tedy větší. Na základě vypočtených hodnot ale nejsem schopen určit, zdali bude splněna podmínka hlučnosti stroje nepřekračující hodnotu 75 dB. Jak již bylo výše zmíněno, není známo rozložení zvukového vlnění ve frekvenčním spektru, a z toho důvodu není možné výsledný teoretický útlum určit. Pro čistě teoretické rovnoměrné rozložení akustického tlaku v uvažovaném spektru jsou ale výsledné hodnoty útlumů dostatečné. Jako variantu, která by celé situaci mohla pomoci, vidím použití zvukoizolačního sendviče s antivibrační vrstvou, díky které se zlepší hodnota neprůzvučnosti. Z tohoto důvodu volím právě tuto variantu jako řešení, které má nejlepší předpoklady uspět i v reálném provozu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 91
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

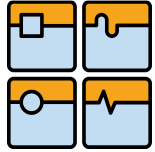
## 7 ZÁVĚR

Úvodní část diplomové práce byla věnována seznámení s kryty obráběcích strojů. Přehledně je uvedené jejich základní rozdělení a popis funkcí. Dále se práce zabývá rešerší v oblasti pohyblivého vnitřního krytování, kde je proveden podrobný rozbor všech jejich druhů, včetně popisu jejich vlastností a základních částí. Na tuto kapitolu navazuje část věnující se vnějšímu krytování, která je zpracována stejně obsáhle. Zvláštní kapitola je zde věnována i bezpečnosti krytů obráběcích strojů, do které byla zapracována tabulka se všemi důležitými normami typu A a typu B věnující se bezpečnosti strojních zařízení. Další část diplomové práce se věnuje rozboru v oblasti hluku obráběcích strojů. Kromě zpracované kapitoly věnující se základům akustiky, zde můžeme najít i kapitolu věnující se teorii hluku, účinkům hluku na člověka a metodám redukce hluku. Na tuto kapitolu plynule navazuje pojednání o zvukoizolačních materiálech a jejich základních vlastnostech. Samostatná kapitola je také věnována měření hlučnosti obráběcích strojů.

Stěžejní částí diplomové práce jsou ale následující kapitoly věnující se konstrukčnímu řešení krytů stroje POWERTURN 2000 firmy TOSHULIN. Jednotlivé konstrukční kroky jsou přehledně popsány a odůvodněny. Výstup konstrukčního procesu by se dal shrnout do několika bodů:

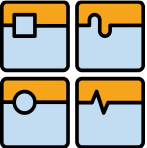
- Kryty jsou provedeny těsně a nedovolí úniku chladicí kapaliny.
- Kryty svojí kinematikou a funkčními rozměry umožňují automatickou výměnu obrobku maximálních rozměrů pomocí paletizace.
- Kryty splňují bezpečnostní požadavky dané normou ČSN EN ISO 23125.
- Útlum krytů pro uvažované rovnoměrné rozložení akustického tlaku ve frekvenčním spektru 125 Hz – 4000 Hz, zjištěný za pomoci zjednodušeného modelu, dosahuje až 19 dB.

Cenová relace zvukoizolačních krytů se bude lišit v závislosti na zvoleném materiálu a jeho vlastnostech, z důvodu nejistého výsledku zvukového útlumu, který je silně závislý na rozložení akustického vlnění ve frekvenčním spektru, nemá smysl hodnotit navržené varianty z ekonomického hlediska. Navržená varianta použití zvukově izolačního sendviče patří k těm nejdražším, ale má nejlepší předpoklady pro splnění potřebného zvukového útlumu.

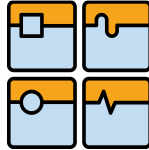
Str. 92	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1- Struktura ochranných krytů stroje [1].....	17
Obrázek 2- Typy krytů pracovního prostoru obráběcího stroje ve vztahu k obsluze a okolí [1] .....	18
Obrázek 3- Teleskopický kryt [9] .....	19
Obrázek 4- Teleskopický kryt s tlumiči rázů [9] .....	20
Obrázek 5- Teleskopický kryt s nůžkovým mechanismem [9].....	20
Obrázek 6- Teleskopický kryt s pochozím segmentem [9] .....	20
Obrázek 7- Různá provedení teleskopických krytů Hennlich [9].....	21
Obrázek 8- 2D teleskopická stěna [22] .....	21
Obrázek 9 – Krycí měch [10] .....	22
Obrázek 10 – Vybavení krycích měchů firmy Hennig [12].....	23
Obrázek 11 – Základní tvary krycích měchů Hennlich [9] .....	23
Obrázek 12- Běžné svinovací rolety Hestego [11]    Obrázek 13- Článeková svinovací roleta Hestego [11].....	24
Obrázek 14- Druhy spojení jednotlivých článků [14].....	24
Obrázek 15- Článekové zástěny [14] .....	25
Obrázek 16- Teleskopické pružiny a příklad použití [11].....	25
Obrázek 17- Stěrač nečistot [14] .....	26
Obrázek 18- Krytování obráběcího centra Toshulin [18].....	27
Obrázek 19- Kryt obráběcího centra sestavený z plechových dílců [21].....	28
Obrázek 20- Porovnání tuhosti ocelového plechu a sendviče [17] .....	28
Obrázek 21- Tvarovaný kryt z polykarbonátu Lexan [23].....	29
Obrázek 22- Otočné okno RotoClear [24] .....	29
Obrázek 23- Svítidla pro osvětlení pracovního prostoru [11] .....	30
Obrázek 24- Ochranné ploty frézovacího a vyvrtávacího stroje [26] .....	30
Obrázek 25- Příklad použití optické závory [20] .....	31
Obrázek 26 – Horizontální obráběcí centrum s kabinou operátora [27] .....	32
Obrázek 27- Struktura rozdělení norem [25] .....	33
Obrázek 28- Šíření akustického vlnění ve vlnoplochách[2] .....	36
Obrázek 29 – Frekvenční a amplitudová oblast citlivosti lidského ucha[7] .....	40
Obrázek 30 – Průběh frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti pro uvedené materiály[5] .....	42
Obrázek 31 – Stupeň zvukové pohltivosti pro různé tvary PUR akustických panelů[31].....	44
Obrázek 32 – Stupeň zvukové pohltivosti pro různé tloušťky PUR akustických desek[30].....	45
Obrázek 33 – Činitel zvukové pohltivosti pro různé tloušťky melaminových akustických panelů [32].....	45
Obrázek 34 – Graf zvukové pohltivosti pro různé tloušťky melaminových akustických panelů[32].....	45
Obrázek 35 – Zvukově izolační sendvič [34] .....	46
Obrázek 36 - Definice akustických polí[7] .....	48
Obrázek 37 – Křivky rovnoměrného rozložení hlasitostí (vlevo) a kmitočtová charakteristika váhových filtrů (vpravo)[7] .....	49
Obrázek 38 – Průběh celkových hodnot vibrací pro integrační konstanty „fast“ a „slow“[7] .50	
Obrázek 39 – CBP spektrum – Třetinooktávová analýza[7] .....	50

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 93
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Obrázek 40 – Blokové schéma zapojení hlukoměru[7] .....	51
Obrázek 41 – Příklad měření emisní hladiny akustického tlaku v místě obsluhy[7] .....	52
Obrázek 42 – Měřící plochy a realizace měření akustického výkonu [7] .....	53
Obrázek 43 – Příklad FFT spektra akustického tlaku [7] .....	53
Obrázek 44- Stroj Powerturn 2000 .....	54
Obrázek 45- Řetězový a diskový zásobník nástrojů [33] .....	55
Obrázek 46- Stroj Powerturn 2000 s paletizací .....	56
Obrázek 47- Situační schéma.....	57
Obrázek 48 – Rozpojené teleskopické kryty stroje Powerturn 4000 [35] .....	58
Obrázek 49 – Kinematika stroje a manipulátoru palet.....	59
Obrázek 50 – Stěna oddělující pracovní prostor od výměny nástrojů .....	60
Obrázek 51 – Předběžný návrh pracovního prostoru.....	61
Obrázek 52 – Rozměrová náročnost dvoukřídlého provedení dveří.....	61
Obrázek 53 – Kolize dveří a manipulátoru.....	62
Obrázek 54 – Působení nebezpečí plynoucího z obráběcího prostoru stroje bez krytu .....	63
Obrázek 55 – Působení nebezpečí pro ideálně krytovaný stroj .....	63
Obrázek 56 - Bezpečnostní zámek EUCHNER TZ [36] .....	65
Obrázek 57 – Optická bezpečnostní lišta FRABA VITECTOR [37].....	66
Obrázek 58 – Řez zvukoizolačním panelem.....	68
Obrázek 59 – Úhel sklonu skluzu pro třísky a řeznou kapalinu .....	69
Obrázek 60 – Připevnění skluzu ke stroji pomocí konzol .....	69
Obrázek 61 – Skluzu pro odvod třísek a řezné kapaliny .....	70
Obrázek 62 – Stírací systém Hestego [11] .....	70
Obrázek 63 – Šikmé plechy teleskopického krytu .....	71
Obrázek 64 – Vedení vně teleskopického krytu a integrované do teleskopického krytu [9]...71	
Obrázek 65 – Teleskopický kryt vedený pomocí vnějších lišt.....	72
Obrázek 66 – Detail vedení teleskopického krytu .....	72
Obrázek 67 – Držák a výztuha teleskopického plechu .....	73
Obrázek 68 –Oblast aplikace těsnícího tmelu do spáry.....	73
Obrázek 69 – Řešení pohonu dvířek teleskopického krytu .....	74
Obrázek 70 – Teleskopické kryty a skluzu.....	74
Obrázek 71 – Svařované prvky rámové konstrukce .....	75
Obrázek 72 – Přichycení spojovacího prvku k rámu krytu stroje .....	75
Obrázek 73 – Rámová konstrukce .....	76
Obrázek 74 – Lineární ložisko TES-CES Rollon [38].....	76
Obrázek 75 – Umístění lineární dráhy .....	77
Obrázek 76 – Pozice pohonu dveří .....	77
Obrázek 77 – Řez dvouplošným krytem .....	78
Obrázek 78- Překrytí průhledů .....	79
Obrázek 79 – Celkový tvar dveří .....	79
Obrázek 80 – Antivibrační nohy (vlevo), silentbloky (vpravo) [39] .....	80
Obrázek 81 - Čelní strana krytů stroje Powerturn 2000.....	80
Obrázek 82 – čelní pohled na kryt .....	81
Obrázek 83 - Detail dveří .....	81
Obrázek 84 – Schéma zvukoizolačního krytu[2] .....	82
Obrázek 85 – Vzduchová neprůzvučnost jednoduché stěny [2] .....	83

Str. 94	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

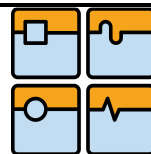
Obrázek 86 – Vzduchová neprůzvučnost dvojitě stěny [2] .....	84
Obrázek 87 – Zjednodušený model ploch pracovního prostoru .....	86

## 9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 13	– Bezpečnostní normy typu A a B pro strojní zařízení
Tabulka 14	– Normy pro měření akustického tlaku a akustického výkonu, rozdělené podle metody měření.[7]
Tabulka 15	– Souhrn hygienických limitů stanovených v Nařízení vlády č. 272 ze dne 24. srpna 2011[7]
Tabulka 16	– Parametry krytovaného stroje Powerturn 2000 [33]
Tabulka 17	– Tabulka B.1- příklady materiálů [41]
Tabulka 18	– Parametry materiálů
Tabulka 19	– Obsahy ploch zjednodušeného pracovního prostoru
Tabulka 20	– Kritické frekvence zvolených materiálů
Tabulka 21	–Vzduchové neprůzvučnosti a činitele průzvučnosti uvedených materiálů
Tabulka 22	– Součinitele zvukové pohltivosti $\alpha$
Tabulka 23	– Útlum akustického tlaku v krytu
Tabulka 24	– Výsledné útlumy pro rovnoměrné rozložení spektra

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CBP spektrum	Constant Percentage Bandwidth analýza konstantní procentuální pásmové šířky
FFT spektrum	Fast Fourier transformation Rychlá Fourierova transformace
GFK laminát	sklem vyztužený plast
MDF desky	středně tlustá vláknitá deska
OS	obráběcí stroj
PUR	polyuretanová pěna
VCSVTT	Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii

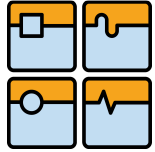


## 11 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

$c$	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost šíření zvuku v kapalinách a plynech
$c_L$	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost šíření podélných vln
$c_T$	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost šíření příčných vln
$c_B$	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost šíření ohybových vln
$v$	$[m \cdot s^{-1}]$	akustická rychlost
$v_i$	$[m \cdot s^{-1}]$	maximální rychlost otáčení obrobku
$u$	$[m]$	akustická výchylka
$u_o$	$[m]$	amplituda akustické výchylky
$x$	$[m]$	vzdálenost od zdroje akustického vlnění
$h$	$[m]$	tloušťka desky
$d$	$[m]$	tloušťka vzduchové mezery
$B$	$[m]$	maximální průměr obrobku stroje
$t$	$[s]$	čas nutný k uražení dráhy $x$ rychlostí zvuku $c$
$T$	$[s]$	perioda
$n$	$[s^{-1}]$	maximální otáčky stroje
$f$	$[Hz]$	kmitočet (frekvence) akustického vlnění
$f_r$	$[Hz]$	rezonanční frekvence
$f_{max}$	$[Hz]$	frekvence, při níž dochází k maximu např. neprůzvučnosti
$f_{min}$	$[Hz]$	frekvence, při níž dochází k minimu např. neprůzvučnosti
$f_m$	$[Hz]$	frekvence dosažení neprůzvučnosti jednoduché stěny
$f_{kr}$	$[Hz]$	kritická frekvence
$f_k$	$[Hz]$	koincidenční frekvence
$m$	$[kg]$	hmotnost
$m'$	$[kg \cdot m^{-1}]$	hmotnost jednotkové délky
$m''$	$[kg \cdot m^{-2}]$	plošná hmotnost
$m''_1, m''_2$	$[kg \cdot m^{-2}]$	plošné hmotnosti dílčích stěn desek
$S$	$[m^2]$	plocha
$S_i$	$[m^2]$	dílčí plocha
$W$	$[W]$	akustický výkon
$W_\epsilon$	$[W]$	akustický výkon přeměněný stěnou (krytem) na teplo
$W_t$	$[W]$	akustický výkon vyzářený stěnou (krytem) do svého okolí
$J_c$	$[J]$	energie nárazu
$W_{pohlčený}$	$[W]$	akustický výkon pohlcený materiálem
$W_{dopadající}$	$[W]$	akustický výkon dopadající na materiál
$E$	$[Pa]$	dynamický modul pružnosti v tahu
$K$	$[Pa^{-1}]$	modul objemové pružnosti
$R_m$	$[Pa]$	mez pevnosti v tahu
$C_{orad}, C_{oax}$	$[N]$	únosnost ložiska v radiálním a axiálním směru
$p$	$[Pa]$	akustický tlak
$p_0$	$[Pa]$	amplituda akustického tlaku
$p_b$	$[Pa]$	barometrický tlak
$L_p$	$[dB]$	hladina akustického tlaku
$L_{Aeq,T}$	$[dB]$	ekvivalentní hladina akustického tlaku
$D_w$	$[dB]$	vložný útlum vyzářeného výkonu (např. zvukoizolačního krytu)

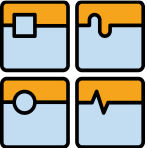


$D_p$	[dB]	vložný útlum vyzářeného tlaku (např. zvukoizolačního krytu)
$R$	[dB]	vzduchová neprůzvučnost
$R_w$	[dB]	vážená vzduchová neprůzvučnost
$R_{max}$	[dB]	maxima vzduchové neprůzvučnosti
$R_{min}$	[dB]	minima vzduchové neprůzvučnosti
$I_{pohlčená}$	[W.m <sup>-2</sup> ]	intenzita zvuku pohlcená materiálem
$I_{dopadající}$	[W.m <sup>-2</sup> ]	intenzita zvuku dopadající na materiál
$\alpha$	[-]	činitel zvukové pohltivosti
$\beta$	[-]	činitel zvukové odrazivosti
$\eta$	[-]	činitel vnitřního tlumení
$\varepsilon$	[-]	činitel přeměny akustické energie na teplo
$\varepsilon_i$	[-]	činitel přeměny dílčí plochy
$\lambda$	[m]	vlnová délka
$\lambda_B$	[m]	vlnová délka ohybové vlny
$\mu$	[-]	Poissonův poměr
$\pi$	=3,14159	Ludolfovo číslo
$\rho$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	hustota
$\tau$	[-]	činitel zvukové průzvučnosti
$\tau_i$	[-]	činitel průzvučnosti dílčí plochy
$\omega$	[rad.s <sup>-1</sup> ]	úhlový kmitočet


Str. 98	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 2009. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [3] MIŠUN, Vojtěch. *Vibrace a hluk*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2005. ISBN 80-214-3060-5.
- [4] BERAN, Vlastimil. *Chvění a hluk*. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2010. ISBN 978-80-7043-916-6.
- [5] ŠTASTNÍK, Stanislav; ZACH, Jiří. *Stavební akustika a zvukoizolační materiály*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2002. ISBN 80-214-2117-7.
- [6] TOMAŠOVIČ, Peter; DLHÝ, Dušan; GAŠPAROVIČOVÁ, Viera; RICHTÁRIKOVÁ, Monika. *Akustika budov, stavebná a urbanistická akustika*. Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Bratislava, 2009. ISBN 978-80-227-3019-8.
- [7] CHVOJKA, Petr; VYROUBAL, Jiří [online pdf]. *Měření hlučnosti obráběcích strojů – metodika, normativy*. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 2013. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://jis.uvssr.fme.vutbr.cz/PDF/11/Měření%hlučnosti%20OS.pdf>>.
- [8] HUDEC, Jan. *Krytování pohybových os obráběcích strojů*. MM Průmyslové spektrum. 2005, 12, s. 34. ISSN :1212-2572.
- [9] HENNLICH INDUSTRIETECHNIK spol. s.r.o. [online]. [cit. 2016-03-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.hennlich.cz>>.
- [10] JONÁŠ, Martin. *Krycí měchy - účinná ochrana pohyblivých částí strojů*. MM Průmyslové spektrum. 2013, 3, s. 79. ISSN :1212-2572.
- [11] HESTEGO a.s. [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z WWW: <[http://www.hestego.cz/krytovani\\_stroju](http://www.hestego.cz/krytovani_stroju)>.
- [12] HENNIG CZ s.r.o. [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.hennig-cz.com>>.
- [13] KNOFLÍČEK, Radek; HAMPL, Štěpán. *Vlastnosti a konstrukce krytování pohyblivých částí obráběcích strojů*. MM Průmyslové spektrum. 2005, 11, s. 54. ISSN :1212-2572.
- [14] KABELSCHLEPP SYSTEMTECHNIK spol. s r. o. [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z WWW:<<http://kabelschlepp.de/produkte/fuehrungsbahnschutz/gliederschuerzeg/gliederschuerz/index.html>>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 99
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [15] VEEM Trading spol. s r.o. [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z WWW:<<http://veemtrading.cz/18-teleskopicke-ochrann-pruziny>>.
- [16] VOSOLSOBĚ, Josef. Dirty Beauty – Popelka v říši strojů, část 1. MM Průmyslové spektrum. 2015, 10, s. 56. ISSN :1212-2572.
- [17] VOSOLSOBĚ, Josef. Dirty Beauty – Popelka v říši strojů, část 2. MM Průmyslové spektrum. 2015, 11, s. 56. ISSN :1212-2572.
- [18] RŮŽIČKA, Vlastimil. *Kultivovaná řešení pro krásné nové stroje*. MM Průmyslové spektrum. 2013, 6, s. 14. ISSN :1212-2572.
- [19] HUDEC, Jan; SULITKA, Matěj. Krytování, kapotáže, design a ergonomie strojů, Odborný článek dostupný z WWW: <[http://www.czspos.cz/akce/20100225.emo2009/18\\_krytovani-kapotaze-design\\_a\\_ergonomie\\_stroju.pdf](http://www.czspos.cz/akce/20100225.emo2009/18_krytovani-kapotaze-design_a_ergonomie_stroju.pdf)>.
- [20] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závorami, Odborný článek dostupný z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>>.
- [21] ALTEYCO [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z WWW:<<http://www.alteyco.com/machine-guards>>.
- [22] PEI. s.r.l. [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z WWW:<<http://www.pei.it/index.php/en/products/telescopic-steel-covers-special-products/square-sliding-cover>>.
- [23] R-DESIGN PLAST s.r.o. [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z WWW:<<http://www.r-designplast.cz/>>.
- [24] ALL CNC [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z WWW:<[http://allcnscs.com/Spare\\_Parts\\_Accessories/Autz\\_und\\_Herrmann.html](http://allcnscs.com/Spare_Parts_Accessories/Autz_und_Herrmann.html)>.
- [25] SICK [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z WWW:<[www.sick.com/cz/cs/functional-safety/w/safetyplus/](http://www.sick.com/cz/cs/functional-safety/w/safetyplus/)>.
- [26] TOS VARNSDORF a.s. [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z WWW:<<http://www.strojeobrabeci.cz/galerie/>>.
- [27] LUCAS PRECISION [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z WWW:<<http://lucasprecision.com/table-type/wft-13-cnc/>>.
- [28] JILANA a.s. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW:<[www.jilana.cz/about/technologie.html](http://www.jilana.cz/about/technologie.html)>.
- [29] DARTE s.r.o. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW:<[www.darte.cz/tepelne-izolace/cediicova-vata](http://www.darte.cz/tepelne-izolace/cediicova-vata)>.

Str. 100	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [30] EUROFOAM TP s.r.o. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW:<[www.eutofoam-tp.cz/snizeni-hluku-strojnich-zarizeni](http://www.eutofoam-tp.cz/snizeni-hluku-strojnich-zarizeni)> .
- [31] GREIF-AKUSTIKA s.r.o. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW:<[www.greif.cz/vyroby/akusticke-materialy.html?detail=1](http://www.greif.cz/vyroby/akusticke-materialy.html?detail=1)>.
- [32] MAAD Sp. z o.o. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW:<[www.maadpoland.cz/prodcz/stavebnivti/#melaminova-pena](http://www.maadpoland.cz/prodcz/stavebnivti/#melaminova-pena)>.
- [33] TOSHULIN - Produktový katalog [pdf]. Dostupné z WWW:<[www.toshulin.cz/zakaznickontakt.asp?mapa=32&l=CZ](http://www.toshulin.cz/zakaznickontakt.asp?mapa=32&l=CZ)>.
- [34] VESTIN s.r.o. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW:<[www.vestin.cz/stroje](http://www.vestin.cz/stroje)>
- [35] MACHINETOOLS [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z WWW:<<https://www.machinetools.com/en/for-sale/377911-toshulin-powerturn-4000-vertical-turret-lathes-vtl>> .
- [36] EUCHNER [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW:<[www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-spinace/tz/](http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-spinace/tz/)> .
- [37] REM-TECHNIK s.r.o. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW:<[www.rem-technik.cz/bezpecnostni-systemy/opticke-bezpecnostni-listy/opticke-bezpecnostni-listy-24.html](http://www.rem-technik.cz/bezpecnostni-systemy/opticke-bezpecnostni-listy/opticke-bezpecnostni-listy-24.html)>.
- [38] ROLLON [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW:<[www.rollon.com/CZ/cs/produkty/linear-line/2-x-rail/](http://www.rollon.com/CZ/cs/produkty/linear-line/2-x-rail/)>.
- [39] ELESA-GANTER [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z WWW:<[www.elesaganter.com/cz/32/icat/produkty/88/polohovaci-nastavitelne-nohy](http://www.elesaganter.com/cz/32/icat/produkty/88/polohovaci-nastavitelne-nohy)>.
- [40] ČSN EN 12417+A2. Bezpečnost obráběcích strojů a tvářecích strojů – Obráběcí centra. Český normalizační institut, září 2009, Praha. 44s. Dostupné z WWW:<<http://csnonline.unmz.cz/vyhledavani.aspx>> .
- [41] ČSN EN ISO 23125. Obráběcí stroje - bezpečnost - soustruhy. Český normalizační institut, září 2015, Praha. Dostupné z WWW:<<http://csnonline.unmz.cz/vyhledavani.aspx>> .
- [42] ČSN EN ISO 12100 – Bezpečnost strojních zařízení – všeobecné zásady pro konstrukci – posouzení rizika a snižování rizika. Český normalizační institut, červen 2011, Praha. Dostupné z WWW:<<http://csnonline.unmz.cz/vyhledavani.aspx>> .