



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

12120 ÚSTAV AUTOMOBILŮ, SPALOVACÍCH MOTORŮ A KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Výpočet kotoučových brzd

Calculation of disc brakes

Bakalářská práce

Studijní program: Teoretický základ strojího inženýrství
Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

Petr Klejch

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Klejch** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **438296**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Výpočet kotoučových brzd

Název bakalářské práce anglicky:

Calculation of disc brakes

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s teorií výpočtu třecího momentu a oteplení kotoučových brzd.
2. Výpočet a návrh kotoučové brzdy pro průmyslovou aplikaci zpracujte formou Excelovského formuláře. Dbejte na přehlednost, výběr variant, a úpravu tisku důležitých vstupních a výstupních parametrů.
3. Proveďte nástin výpočtu oteplení.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová, ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **27.04.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **12.07.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

18.5.2017

Datum převzetí zadání

Klejch

Podpis studenta

Poděkování

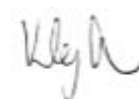
Rád bych touto cestou poděkoval především vedoucí bakalářské práce Doc. Dr. Ing. Gabriele Achtenové za cenné rady a věcné připomínky k práci. Dále bych rád poděkoval Ing. P. I. V. Kociánovi za projevenou důvěru a možnost podílet se na realizaci firemní aplikace.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci s názvem Výpočet kotoučových brzd vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze podklady, které uvádím v seznamu, přiloženém k práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 29. 5. 2017



.....
Petr Klejch

Název práce: Výpočet kotoučových brzd

Jméno autora: Petr Klejch

Rok: 2017

Studijní obor: Teoretický základ strojního inženýrství

Ústav: Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá kotoučovými brzdami pro průmyslové použití. V úvodu je shrnuta obecná teorie třecích brzd, jejich kategorizace a principy. Cílem práce je vytvoření programu pro tepelný výpočet, kontrolu použití brzdy a následné kompletace s pohonem brzdy.

Klíčová slova

Kotoučová brzda, třecí moment, oteplení kotouče, oteplení stykové plochy, brzdová destička

Title: Calculation of disc brakes

Author: Petr Klejch

Year: 2017

Branch: The theoretical basis of the Mechanical Engineering

Department: Department of Automotive, Combustion Engine and Railway Engineering

Document type: Bachelor thesis

Thesis advisor: doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

Abstract

This bachelor thesis deals with calculation of disc brakes for industrial application. In the first part general theory of frictional brakes is described, including their classification and principles. The aim of the thesis is to create a programme for heat calculation, inspection of brakes and final completion with brake actuation.

Keywords

Disc brake, frictional moment, heating of disc, heating of contact area, brake pad

Obsah

1. Úvod	1
2. Obecná část.....	2
2.1. Teorie třecích brzd	2
2.2. Rozdělení dle účelu použití.....	2
2.2.1. Regulační brzda	3
2.2.2. Zpomalovací brzda	3
2.2.3. Zádržná brzda	3
2.2.4. Výkonová brzda.....	4
2.3. Rozdělení dle konstrukce	4
2.3.1. Špalíková brzda	4
2.3.2. Pásová brzda.....	5
2.3.3. Bubnová brzda.....	6
2.3.4. Kotoučová brzda.....	7
2.4. Kotoučové brzdy.....	7
2.4.1. Rozdělení kotoučových brzd dle třmenu	8
2.4.2. Konstrukce kotoučové brzdy	9
2.5. Definice potřebných veličin pro výpočet kotoučových brzd	10
2.5.1. Třecí moment.....	10
2.5.2. Moment setrvačnosti	11
3. Kotoučové brzdy PIVKO	13
3.1. Obecný popis brzdy „C“ a „H“	13
3.2. Brzda „C“	14
3.3. Brzda „H“	15
3.4. Brzdové destičky.....	16
3.5. Brzdový kotouč.....	17

3.6.	Druhy brzdění a přehled motorů	18
3.7.	Použití kotoučových brzd	19
4.	Výpočetní program	21
4.1.	Seznámení s problémem a jeho řešení	21
4.2.	Vstupní a výstupní parametry	21
4.3.	Definování rovnic pro výpočet	23
4.4.	Původní stav – manuální operace a zastaralé programy	25
4.5.	Nový stav – automatický výpočetní program	27
4.5.1.	Chybová hlášení	32
4.6.	Příkladný výpočet	33
5.	Závěr	36
	Seznam obrázků	37
	Seznam tabulek	39
	Seznam použité literatury:	40
	Seznam elektronických příloh	41
	Seznam tištěných příloh	42
	Příloha 1: Data pro určení parametru motoru	I
	Příloha 2: Manuál k programu Výpočet kotoučových brzd	IX

Seznam označených veličin

F	[N]	obecná síla
N	[N]	přítlačná síla
T	[N]	třecí síla
P	[W]	výkon
Q	[J]	teplo
E_{kin}	[J]	kinetická energie brzděného soustrojí
μ	[-]	součinitel smykového tření
J_S	[kg . m ²]	moment setrvačnosti brzděného soustrojí
J	[kg . m ²]	moment setrvačnosti kotouče
m	[kg]	hmotnost kotouče
m'	[kg]	hmotnost redukovaného kotouče o ploše S'
M_b	[N . m]	třecí (brzdny) moment
R	[m]	velký poloměr kotouče
r	[m]	malý poloměr kotouče
D	[m]	velký průměr kotouče
d	[m]	malý průměr kotouče
D'	[m]	velký průměr kotouče s odsazením z
d'	[m]	malý průměr kotouče s odsazením z
t	[m]	tloušťka kotouče
a	[m]	střední poloměr třecího obložení
n	[min ⁻¹]	otáčky kotouče
S'	[m ²]	celková styková plocha na kotouči na jedné straně
S''	[m ²]	celková styková plocha na kotouči na obou stranách
S_1	[mm ²]	styková plocha destičky „C“
S_2	[mm ²]	styková plocha destičky „H“
z_1	[mm]	odsazení destičky „C“
z_2	[mm]	odsazení destičky „H“
V	[m ³]	objem
ω	[rad . s ⁻¹]	úhlová rychlost
f	[Hz]	frekvence
T	[s ⁻¹]	perioda

τ	[s]	čas brzdění
ΔT_1	[°C]	oteplení kotouče
ΔT_2	[°C]	oteplení stykové plochy
q	[W . m ⁻²]	hustota tepelného toku
Z	[m ² . W ⁻¹]	zatížení povrchu
x	[mm]	pracovní zdvih pružiny
p_p	[MPa]	tlak vzduchu
p_h	[MPa]	tlak hydraulického média
ρ	[kg . m ⁻³]	hustota materiálu
c	[J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita materiálu
λ	[W . m ⁻¹ . K ⁻¹]	tepelná vodivost materiálu

1. Úvod

Předmětem této bakalářské práce je vytvoření programu Výpočet kotoučových brzd pro průmyslové použití pro firmu PIVKO brakes. Jedná se o firmu specializující se zejména na výrobu spojek k přenosu kroutícího momentu, průmyslových brzd a kloubových spojek. Firma do teď pro výpočet používala zastaralé programy v kombinaci s ručním počítáním a odečítáním z grafů. Programy firma již nadále nemůže využívat vlivem modernizace a celkově je tento postup výpočtu velmi zdlouhavý a neefektivní.

Pro bližší seznámení se s touto problematikou, jsou v úvodu práce nejprve shrnuty obecné vlastnosti, kategorizace a principy třecích brzd. Pro porozumění principu vytvořeného programu je navíc celá jedna kapitola věnována brzdám vyráběných firmou PIVKO brakes. Další část již popisuje samotný program a jeho použití.

Program by měl být používán ve výrobní praxi, z toho důvodu musí být snadno dostupný a uživatelsky intuitivní. Na základě vstupních údajů zadaných uživatelem by měl program automaticky realizovat výpočet, provést kontrolu použití brzdy a následně stanovit charakteristický parametr pro vybraný pohon brzdy.

2. Obecná část

Tato kapitola seznamuje se základními pojmy a konstrukčním řešením týkající se brzdění a brzdové soustavy. Jelikož je bakalářská práce zaměřena na kotoučové brzdy pro průmyslové použití, jsou v teorii zmíněny pouze třecí brzdy.

2.1. Teorie třecích brzd

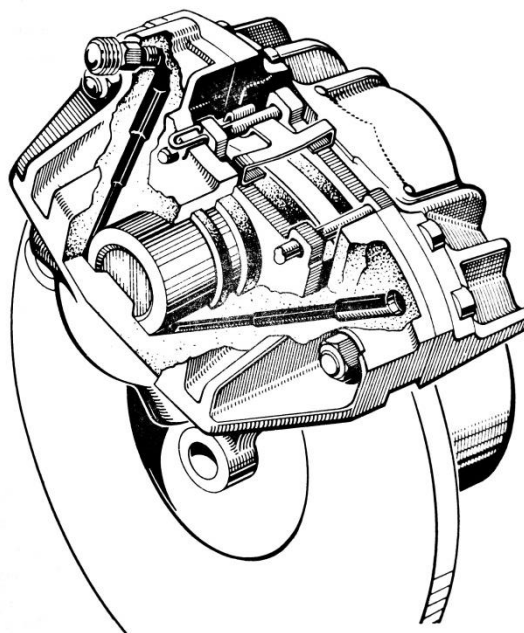
Brzdou vyvolaná činnost se nazývá brzdění, jejíž účelem je zpomalovat, případně regulovat rotační nebo posuvný pohyb setrvačných hmot, popřípadě zamezit opětovné rozběhnutí pohybu (udržení klidového stavu). V současnosti nejpoužívanější typ brzdy, se kterou se člověk dennodenně setkává, je brzda fungující na principu tření, tedy třecí brzda.

Brzdný moment se zde realizuje pomocí tření mezi rotačními a pevnými částmi stroje. Při brzdění třecí brzdou se mění mechanická energie pohybujících se hmot na teplo, které je pak vhodným způsobem předáváno do okolí buď přímo do okolního vzduchu, nebo prostřednictvím teplotnosného média. Při provozu může vznikat i značné množství tepla, které může ohrozit funkci brzdy z hlediska poškození jejího ovládacího zařízení nebo materiálu brzdového obložení. Brzdy tak mohou být i přidavně chlazeny.

Třecí brzdy lze rozdělovat do mnoha kategorií. Pro účely této práce postačí dělení na základě průmyslové aplikace, a to z hlediska účelu použití a následně podle konstrukce.

2.2. Rozdělení dle účelu použití

Brzdy se mohou dle Češpíra [2] dělit podle účelu, ke kterému je brzda používána, na čtyři druhy:



Obrázek 1: Příklad třecí brzdy - Kotoučová brzda [1]

- regulační brzda,
- zpomalovací brzda,
- zádržná brzda,
- výkonová brzda.

Reálná brzda pak při provozu plní obvykle i více úloh. Příkladem může být automobilová brzda, která v sobě spojuje činnost brzdy regulační, zpomalovací i zádržné.

2.2.1. Regulační brzda

Tento druh brzdy se používá pro regulaci rychlosti pohybu hmot, které ji zatěžují. Regulační brzda je dimenzována na dlouhodobý provoz, při kterém může vznikat i velké množství tepla, proto je zde počítáno s velkým odvodem tepla z brzdy. Z hlediska dlouhodobého používání je důležitá i životnost brzdy a to zejména její nejvíce namáhané části – třecí dvojice¹. Její opotřebenění je tak pro brzdu stěžejní faktor. Brzdy jsou ale navrhovány, aby se třecí dvojice dala snadno po konci životního cyklu vyměnit.[2]

2.2.2. Zpomalovací brzda

Zpomalovací brzda, často označována i jako doběhová nebo stavicí, je dimenzována pro opakované zpomalování zatěžujících hmot, které vede až k úplnému zastavení a pak následného udržení dosaženého klidového (nehybného) stavu při stálém působení určitého vnějšího zatížení. Jelikož se zde bere v úvahu faktor opakovaného brzdění, stačí se brzda mezi brzdícími cykly chladit a tak u tohoto druhu brzd není kladen vyšší důraz na odvod tepla. Důležitým parametrem je například velikost momentu, který způsobí proklouznutí brzdy v klidovém stavu. [2]

2.2.3. Zádržná brzda

Tato brzda se používá pouze k udržení klidového (nehybného) stavu zařízení. Důležitým parametrem je proto dostatečná bezpečnost na zatížení vnějším momentem v nehybném stavu. Musí se zde počítat s velikostí statického součinitele tření při nulové relativní rychlosti mezi povrchy třecí dvojice. [2]

¹ Třecí dvojicí je rozuměna soustava na sebe působících elementů brzdy, na jejichž stykové ploše vzniká tření.

2.2.4. Výkonová brzda

Výkonová brzda se účelem blíží brzdě regulační. Úkolem této brzdy je dlouhodobě vyvozovat stanovený brzdňý moment s malými odchylkami, který zatěžuje zkoušené zařízení. Je tedy logické, že tato brzda musí snášet větší zátěž než regulační a proto je zde kladen velký důraz na odvod tepla. [2]

2.3. Rozdělení dle konstrukce

Brzdy se dále dělí dle své konstrukce, kde je vidět rozdílně řešené uspořádání třecí dvojice.

- Špalíková brzda
- Pásová brzda
- Bubnová brzda
- Kotoučová brzda

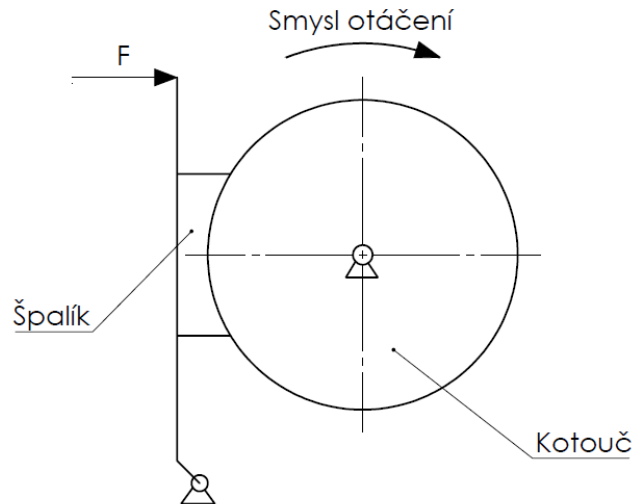
Kotoučové brzdy se dle Vlka [3] mohou rozdělit podle způsobu uchycení.

- Kotoučová brzda s pevným třmenem
- Kotoučová brzda volným (plovoucím) třmenem
- Kotoučová brzda s výkyvným třmenem

Konstrukce brzdy také závisí na směru, jakým jsou plochy třecí dvojice na sebe přitlačovány. Směr působení přítlaku může být radiální nebo axiální vzhledem k poloze hřídele brzděného stroje. Radiální směr přítlaku brzdového obložení na rotující část brzdy se používá u brzd špalíkových, bubnových a pásových. Axiální směr je možné vidět u brzd kotoučových. [2]

2.3.1. Špalíková brzda

Princip špalíkové brzdy je velmi jednoduchý. Na Obrázku 2 je vidět, že činnost třecí dvojice se realizuje přitlačením brzdového špalíku k valivé ploše pohybujícího se dílu, kde vzniká tření. Špalík tak musí mít odpovídající tvarový rádius jako brzděný protikus. Z hlediska koncepce jde už o zastaralou technologii, která byla ale v historii hojně využívána. Avšak se špalíkovými brzdami se můžeme setkat i dnes a to u železniční dopravy, například u těžkých nákladních kolejových vozů.

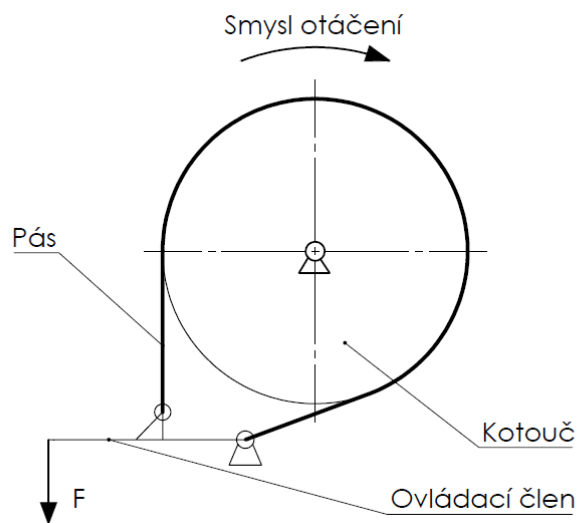


Obrázek 2: Špalíková brzda

2.3.2. Pásová brzda

Třecí dvojice pásové brzdy se skládá z pásu a kotouče (viz Obrázek 3). Pás je napnut na vnější válcovou plochu brzdového kotouče. Poté je pás přitahován ovládacím členem a tím i přitlačován na válcovou plochu. Mezi pásem a kotoučem tak vzniká tření, které způsobí brzdný účinek.

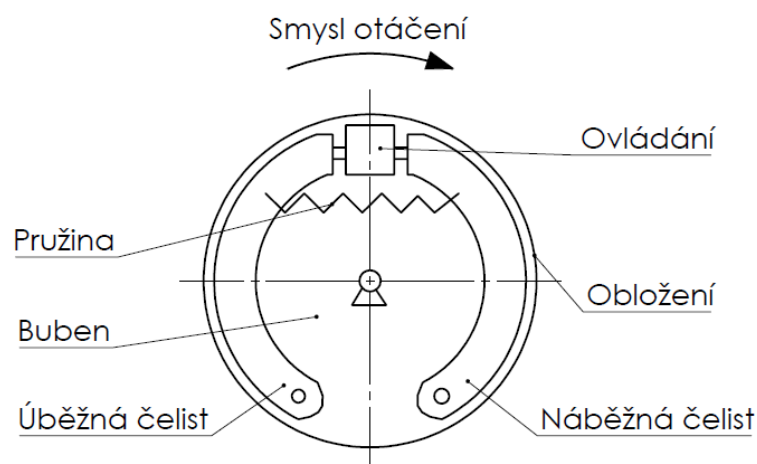
Výhodou této brzdy je velká dotyková plocha třecí dvojice daná velkým úhlem opásání, který se pohybuje okolo 200° až 250° . Naopak mezi nevýhody patří namáhání hřídele na ohyb, které je způsobeno napnutým pásem. Celkově je tato brzda omezena pevností pásu v tahu. Tento druh se v současnosti používá zejména u pevně umístěných strojů, například u lanové dráhy, ale je možné se s ní setkat i u motorových vozidel.



Obrázek 3: Pásová brzda

2.3.3. Bubnová brzda

Třecí účinek u bubnové brzdy zajišťuje rotační část, nazývaná buben, a čelist s brzdovým obložením. Principem je bubnová brzda velice podobná špalíkové brzdě. Zde se ale využívá jako třecí plocha vnitřní obvodová plocha brzděného dílu. Obložení se při brzdění na tuto plochu přitlačují a vzniká tření. Schéma je uvedeno na Obrázku 3. Bubnové brzdy se nejčastěji používají v provedení dvoučelistovém. Čelisti jsou vůči sobě pootočené o 180° , aby se tak mohly eliminovat radiální síly, které zatěžují hřídel brzděného stroje.



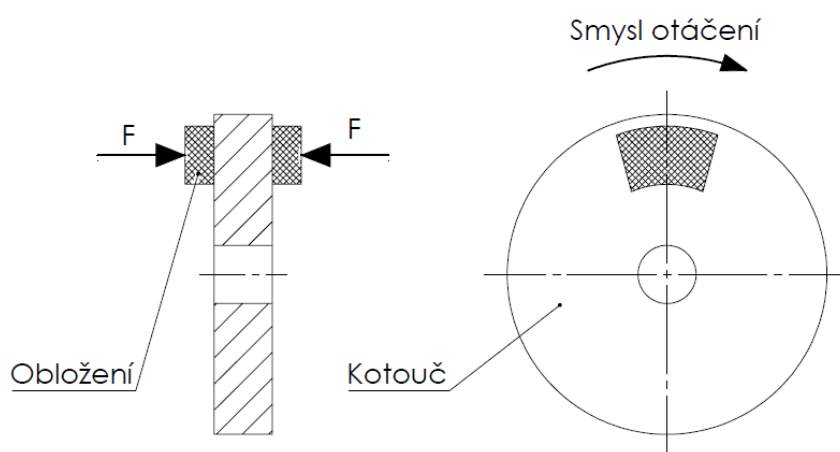
Obrázek 4: Bubnová brzda

Velkou výhodou bubnové brzdy je velký vnitřní převod, kde na vyvolání velkého brzděného momentu stačí pouze malá ovládací síla. Výhodou, ale zároveň i nevýhodou,

je uzavřenost celého systému. Brzdu je možné používat ve znečištěném prostředí, protože se zanáší pouze nepatrně. Kvůli její uzavřenosti je ale náchylná na teplotu, neumožňuje dobrý odvod tepla, špatně se chladí a může tak snadno dojít k jejímu přehřátí. Z tohoto důvodu se v dnešní době používají v průmyslu k práci ve znečištěném prostředí a například na zadních nápravách motorových vozidel. Zde se také zachovávají pro svou jednoduchost při realizaci parkovací brzdy.

2.3.4. Kotoučová brzda

Brzdný účinek kotoučové brzdy je realizován pomocí brzdových čelistí s obložením, které jsou přitlačovány na čelní plochy rotujícího kotouče. Schematicky je brzda zobrazena na Obrázku 5. Aby se kompenzovaly síly od brzdy, které zatěžují rotující hřídel stroje ohybem, jsou čelisti umístěny na stejném místě kotouče ale na jeho protějších stranách. Pro zvýšení efektivity je možné použít více čelistí, kterými se zvýší styková plocha brzdění.



Obrázek 5: Kotoučová brzda

Protože se bakalářská práce primárně zabývá právě kotoučovými brzdami, je tomuto typu brzd věnována detailně celá následující kapitola.

2.4. Kotoučové brzdy

Kotoučové brzdy jsou v současnosti nejvíce využívanými brzdami. Výhodou je velice dobrý odvod tepla, který je dosažen zejména velkou plochou kotouče. Proto je možné tento druh brzdy použít pro dosažení vysokých brzdných momentů, které jsou zapotřebí k zastavení

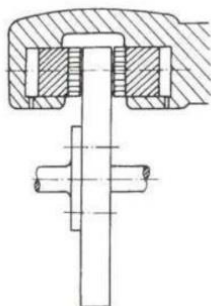
velkých setrvačných hmot z vysokých rychlostí. Výhodou kotoučové brzdy je její snadná montáž. Průměrná životnost je zde kvůli menšímu opotřebení vyšší. Za zmínku stojí také krátká reakční doba ovládacího mechanismu. [3]

2.4.1. Rozdělení kotoučových brzd dle třmenu

Jak už bylo uvedeno výše, kotoučová brzda se dá dle Vlka [3] rozdělit následovně.

- Kotoučová brzda s pevným třmenem

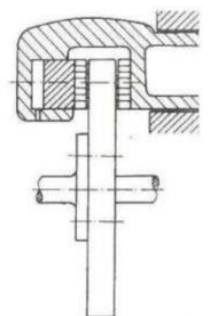
Ovládací prvky (například hydraulický píst) brzdy jsou umístěny po obou stranách kotouče a těleso třmene je nepohyblivé. [4]



Obrázek 6: Kotoučová brzda s pevným třmenem [3]

- Kotoučová brzda volným (plovoucím) třmenem

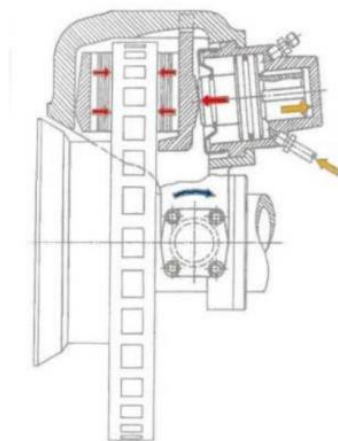
Ovládací prvek je pouze na jedné straně kotouče a těleso třmene je posuvné na čepech ve směru osy ovládacího prvku. Třmen je rozdělen na dvě části: pevný rám a posuvné tělo třmenu. Na jedné straně je přitlačná síla vyvolána ovládacím prvkem a na druhé působí reakce na tuto sílu. [4]



Obrázek 7: Kotoučová brzda s volným třmenem [3]

- Kotoučová brzda s výkyvným třmenem

Ovládací prvek je pouze na jedné straně umístěn na výkyvném rámu a tlačí na posuvný držák brzdové destičky. Přítlačná síla druhé destičky je vyvolána reakcí na sílu ovládacího prvku. [4]



Obrázek 8: Kotoučová brzda s výkyvným třmenem [3]

2.4.2. Konstrukce kotoučové brzdy

- Brzdové destičky

Základní destičky (někdy označováno jako brzdové obložení) jsou tvořeny z kovového plátu a brzdné látky. Základním parametrem brzdné látky je její koeficient tření a maximální povolená teplota použití. Vyšší koeficient tření zvyšuje brzdný moment, ale zároveň zvyšuje opotřebení třecí dvojice a teplotu při brzdění. Proto se v praxi musí volit optimální hodnoty pro použití brzdy. [4]

- Brzdový kotouč

Kotouč se vyrábí zejména z litin a ocelolitín, ale pro průmysl jsou vhodné samozřejmě i levnější materiály, například hliník. Extrémně namáhané kotouče se kvůli nízké hmotnosti a odolnosti proti vysokým teplotám vyrábí z keramiky zesílené uhlíkovými vlákny. Plochy kotouče se obvykle brousí, aby se snížilo opotřebení obložení. Existuje mnoho různých tvarových provedení kotoučů, které se každý používají v jiném odvětví. Vnitřek kotouče může být buď plný, nebo může být opatřen vnitřním žebrováním, které napomáhá chlazení brzdy. Pro další chlazení mohou být stykové plochy kotouče opatřeny otvory. [4]

- Brzdový třmen

Na brzdový třmen je připevněn ovládací prvek brzdy. Jedná se například o pneumatický nebo hydraulický válec. Třmen je opatřen drážkami pro zasunutí brzdové destičky a k zamezení jejímu obvodovému pohybu. Třmeny se dělí podle způsobu upevnění a podle počtu pístků. Nastavování vůle mezi kotoučem a destičkou je realizováno pomocí pryžového těsnícího kroužku, který se při posunutí mírně deformuje a při odbrzdění vrátí pístek o kousek zpět. Vrácení destičky do původní polohy způsobuje mírné házení kotouče. [4]

- Ovládací prvek brzdy

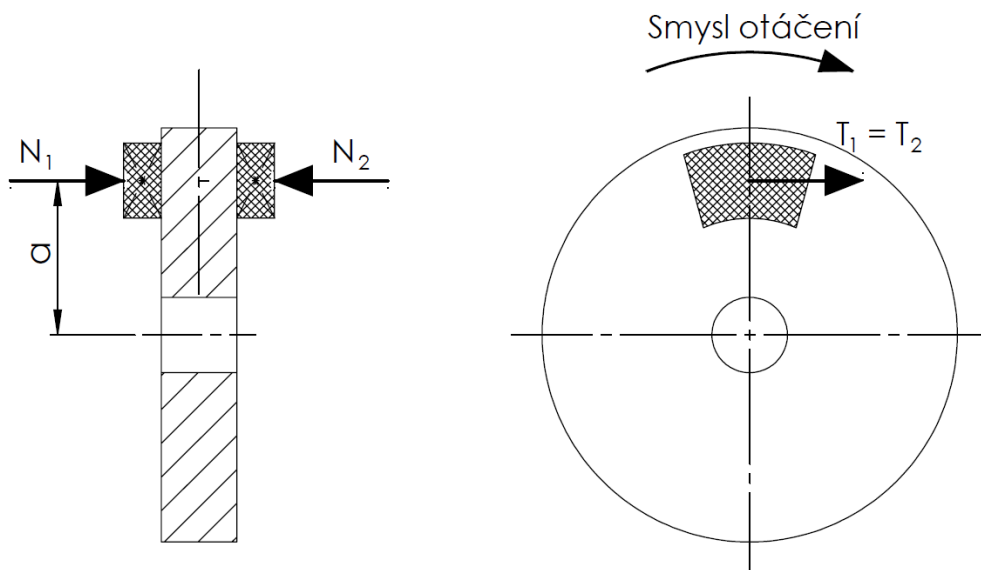
Ovládání brzdy může být realizováno mnoha způsoby, vždy je ale ve výsledku pístkem přivedena síla na brzdové destičky. Mezi nejvíce používané patří již zmíněný pneumatický či hydraulický válec, které pracují s tlakem vzduchu a tlakem hydraulického média. [4]

2.5. Definice potřebných veličin pro výpočet kotoučových brzd

Pro porozumění je nutné si definovat některé veličiny, které jsou pro následný výpočet kotoučových brzd nezbytné.

2.5.1. Třecí moment

Třecí moment M_b je jedna z nejdůležitějších veličin pro brzdy všeobecně. Brzdy se pak mohou hodnotit a rozdělovat podle velikosti brzdného výkonu, který je vyvolán právě třecím momentem (brzdným).



Obrázek 9: Silové schéma kotoučové brzdy

Z Obrázku 9 lze odvodit, že platí:

$$M_b = (T_1 + T_2) \cdot a \quad (2.5.1)$$

$$N_1 = N_2 \quad (2.5.2)$$

$$T_1 = T_2 = N \cdot \mu \quad (2.5.3)$$

kde a je vzdálenost třecích sil od středu kotouče. Přítlačná síla N_1 je stejná, opačně orientovaná jako přítlačná síla N_2 a třecí síla T_1 je stejně velká jako třecí síla T_2 . Platí tedy rovnice:

$$M_b = (T_1 + T_2) \cdot r = 2 \cdot N \cdot \mu \cdot r \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (2.5.4)$$

2.5.2. Moment setrvačnosti

Prvním parametrem, který je pro požadovaný výpočet kotoučových brzd nutný obecně definovat, je moment setrvačnosti J .

Moment setrvačnosti J pro kotouč o vnitřním průměru d , vnějším průměru D a hmotnosti m vzhledem k ose souměrnosti je definován jako:

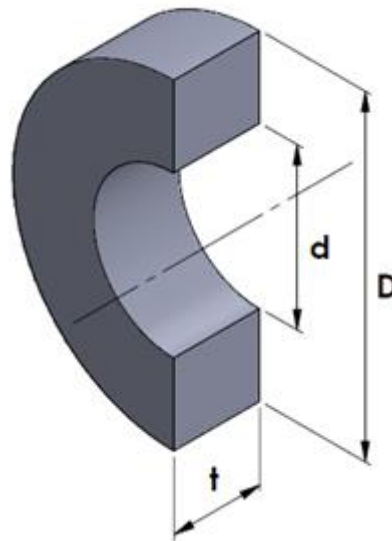
$$J = \frac{m}{2} \cdot \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right) = \frac{m}{2} \cdot (R^2 + r^2) \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (2.5.5)$$

Pro výpočet hmotnosti kotouče se použije rovnice:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \pi \cdot \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right) \cdot t = \rho \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot t \quad [\text{kg}] \quad (2.5.6)$$

Po sloučení dvou předešlých rovnic se získá finální rovnice:

$$J = \frac{\rho \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot t}{2} \cdot (R^2 + r^2) \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (2.5.7)$$



Obrázek 10: Parametry kotouče

3. Kotoučové brzdy PIVKO

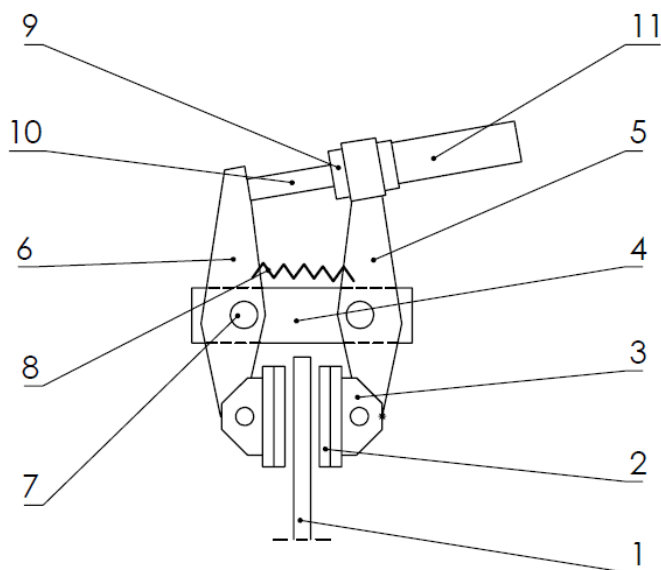
Kotoučové brzdy od firmy PIVKO brakes se nijak neliší od již zmíněných a obecně popsaných kotoučových brzd. Pracovní částí je stále kotouč, který je brzděný přitlakem brzdových destiček. Firma vyrábí dva typy kotoučových brzd pro různé aplikace, které jsou principiálně úplně stejné. Liší se pouze velikostí a tudíž i tvarově jinak řešenými dílci brzdy. Nazývají se kotoučová brzda typu „C“ a kotoučová brzda typu „H“. Jelikož jsou rozdílné jen minimálně, je obecný popis a princip fungování níže vysvětlen pro oba typy brzd společně. Na konkrétní specifika brzd typu „C“ a „H“ jsou pak zaměřeny další podkapitoly.

3.1. Obecný popis brzdy „C“ a „H“

Na Obrázku 11 je schematicky znázorněna brzda „H“.

Části brzdy jsou označeny:

- 1 – Brzdový kotouč
- 2 – Brzdová destička
- 3 – Nosič brzdové destičky
- 4 – Základna
- 5 – Rameno motoru
- 6 – Rameno protější
- 7 – Čep
- 8 – Tažná pružina
- 9 – Matice
- 10 – Nástavec motoru
- 11 – Motor (Ovládání brzdy)



Obrázek 11: Schéma brzdy typ "H"

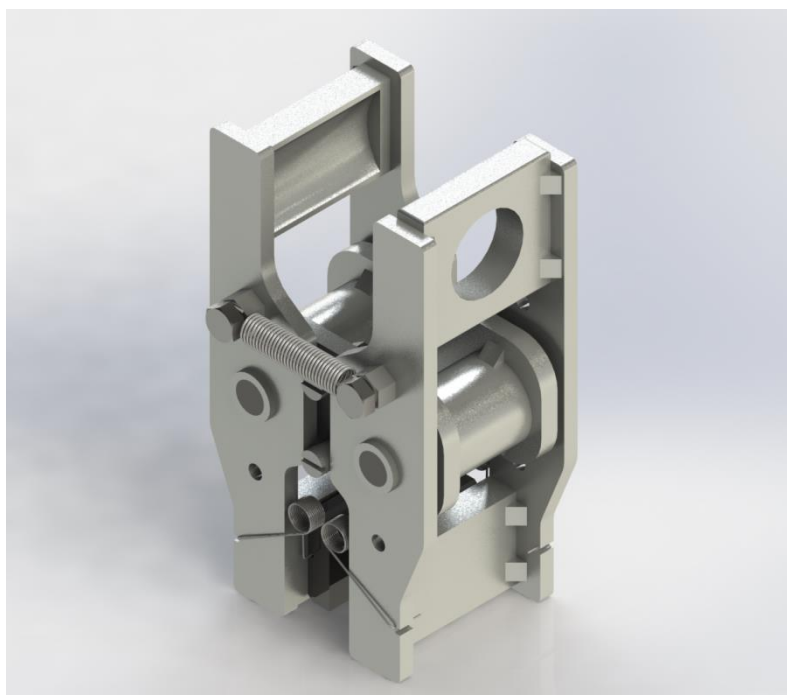
K základně kotoučové brzdy jsou otočně načepována dvojzvrtná ramena (rameno motoru a rameno protější). Jednou stranou ramen pohybuje motor a na protilehlé straně jsou upevněny nosiče brzdových destiček. Destičky jsou na nich přidržovány pružinami, které se ale u obou typů brzd liší a jejich upevnění je také rozdílné - ve schématu na Obrázku 11 proto nejsou uvedeny. Pružiny destiček přidržují destičky v zahloubení nosičů a současně umožňují jejich snadnou výměnu. Tažná pružina vyobrazená na schématu má za úkol v odbrzděném

stavu držet ramena brzdy od sebe. Motor je k rameni motoru připojen maticí. Na pístnici motoru je nasazen nástavec, který přizpůsobuje její délku síle kotouče. [5]

Tyto kompaktní kotoučové brzdy jsou sestavovány na základě stavebnicového systému a jejich velkou výhodou jsou jednoduché instalace i údržby (například výměna destiček). Dále se vyznačují nižším momentem setrvačnosti, kvůli použití menšího průměru brzděného kotouče. Celkové náklady kotoučové brzdy (pořizovací a provozní) jsou velice nízké. Obě brzdy je možné osadit výkonově odstupňovanou řadou motorů. [5]

3.2. Brzda „C“

Brzda typu „C“ je menší a její konstrukce je oproti druhé brzdě novější, protože vznikla až na základě poptávky vlivem přirozeného vývoje trhu. Tato konstrukce zabezpečuje, že teplo vzniklé brzděním neovlivňuje funkci motoru. Pružiny destiček přidržují destičky v zahloubení ramen a současně umožňují jejich snadnou demontáž. Pro upevnění se používají čtyři zkrutné pružiny. K zajištění vzduchové mezery mezi třecí plochou destiček a kotoučem zajišťuje obyčejná tažná pružina. [5]



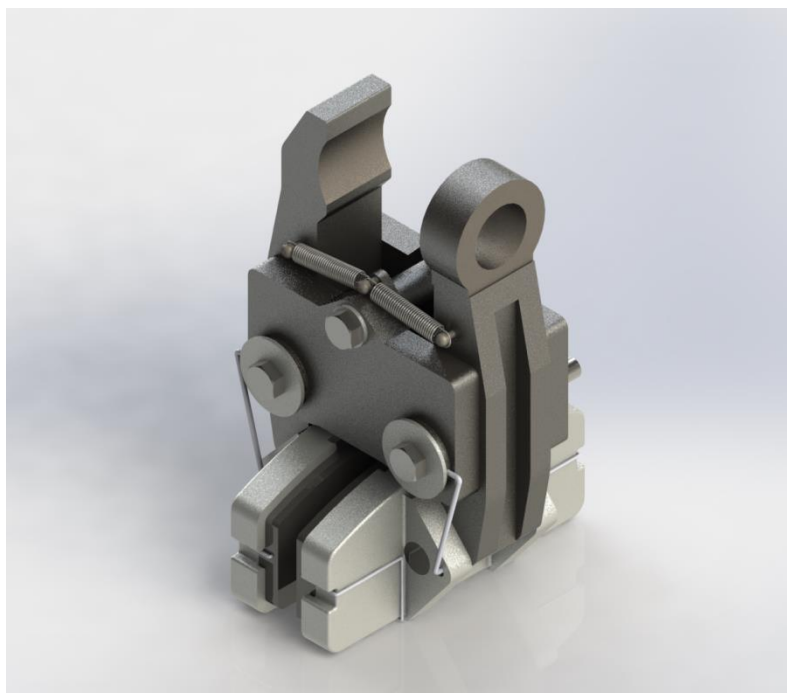
Obrázek 12: Brzda typ "C"

V průmyslu se používá jako regulační, zpomalovací zádržná brzda. Při její výrobě se používají moderní technologie beztržiskového obrábění a galvanizování. K brzdě lze

přimontovat i snímače (brzda rozepnuta / sepnuta, případně max. opotřebenění destiček). Pro kompenzaci ohybového momentu je možné na kotouči brzdy párovat. Řada motorů umožňuje až 6 výkonových kombinací. Brzda s pneumatickým brzděním (motorem - viz Kapitola 3.6) vyvine například na kotouči o průměru 300 mm brzdňý moment až 475 N.m. [5]

3.3. Brzda „H“

Brzda typu „H“ je velikostně větší. Konstrukce této brzdy zabezpečuje, že teplo vzniklé brzděním také neovlivňuje funkci motoru. Na ramenech jsou pomocí kolíků otočně upevněny držáky brzdových destiček. Destičky jsou ukotveny čtyřmi speciálně vyrobenými zkrutnými pružinami. Speciální vedení nosičů destiček a dvě tažné pružiny zajišťují v odbrzděném stavu vzduchovou mezeru mezi brzdňou plochou destiček a kotoučem. [5]

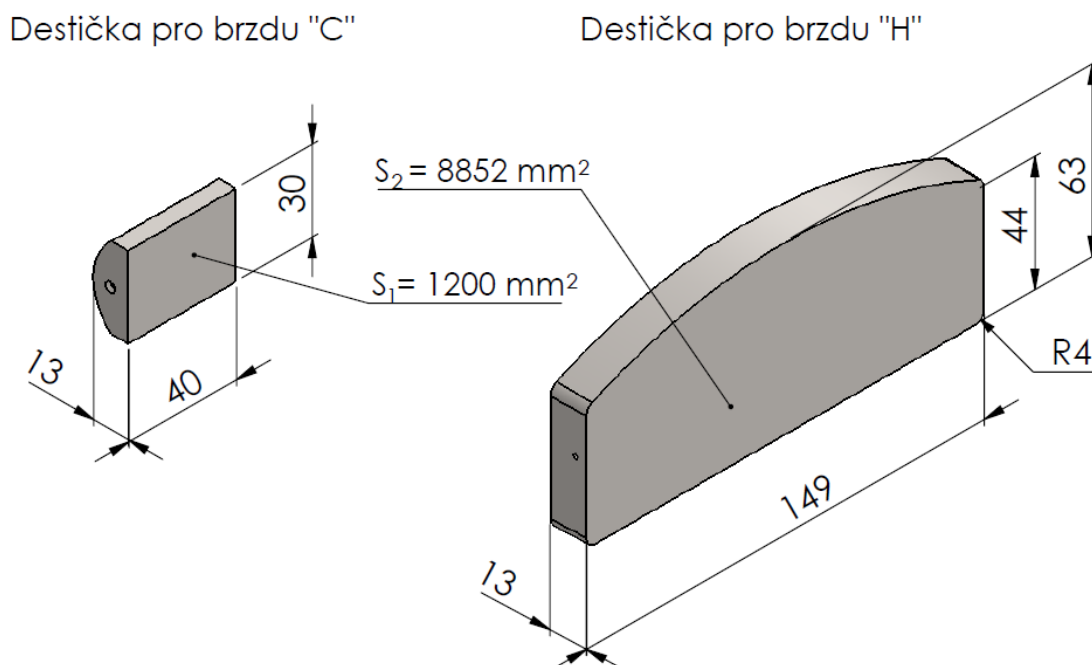


Obrázek 13: Brzda typ "H"

V průmyslu se používá jako regulační, zpomalovací, zádržná i jako výkonová brzda. Pro kompenzaci ohybového momentu je možné na kotouči brzdy také párovat. K brzdě je možné přimontovat snímače (brzda rozepnuta / sepnuta, případně max. opotřebenění destiček). Řada motorů umožňuje až 9 výkonových kombinací. Brzda s pneumatickým brzděním (motorem - viz Kapitola 3.6) vyvine například na kotouči o průměru 600 mm brzdňý moment až 2500 N.m. [5]

3.4. Brzdové destičky

Pro předešlé kotoučové brzdy se používají dva typy bezazbestových brzdových destiček, pro brzdu typ „C“ a typ „H“. Tyto brzdové destičky jsou znázorněny na Obrázku 14, kde jsou pro přehlednost uvedeny pouze jejich nejdůležitější parametry. Z obrázku vyplývá, že se destičky odlišují zejména svou velikostí a tvarem. V prvním případě je styková plocha $S_1 = 1200 \text{ mm}^2$ a ve druhém $S_2 = 8852 \text{ mm}^2$. Tyto brzdové destičky se skládají z kovového plátu a brzdné látky. Jako brzdná látka se používá materiál FERODO OS 3043. Minimální tloušťka jedné destičky je 8 mm. Při nižší tloušťce již není deklarována její stoprocentní účinnost a může dojít i k poškození kotouče brzdy.



Obrázek 14: Brzdové destičky PIVKO

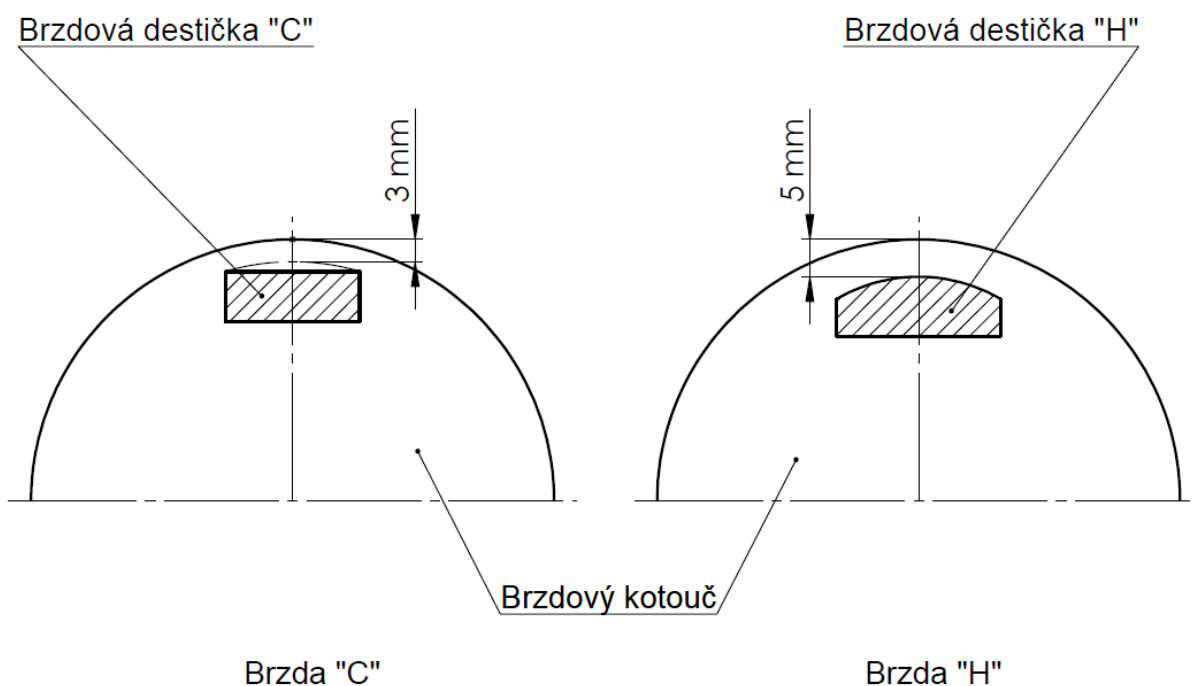
Materiál FERODO OS 3043

Tento materiál je možné použít pouze do maximální teploty 350°C . Oblast stálých pracovních teplot by neměla přesáhnout 300°C . Tento materiál je běžně používán jako materiál pro výrobu průmyslových brzd s širokou oblastí použití. V průběhu provozu se třecí vlastnosti tohoto materiálu nemění, pokud nedojde k mechanickému poškození, průniku oleje do brzdy, nebo nadměrnému opotřebení obložení. Z hlediska provozu v oblasti vysokých teplot, je tento materiál zcela spolehlivý. Pokud dojde k přehřátí třecího materiálu, má sklon

k tvorbě tvrdého zaleštěného prachu, který je nutné odstranit, např. přebroušením. Bezprostředně po přehřátí je patrná i tendence mírného navýšení třecího účinku.

Umístění brzdových destiček na kotouči

Obě brzdové destičky mají své specifické umístění. U brzdy „H“ se horní kraj obložení dotýká kotouče ve vzdálenosti $z_2 = 5$ mm od jeho vnějšího okraje (viz Obrázek 15 vpravo). U druhé brzdy je vzdálenost destičky od kraje kotouče $z_1 = 3$ mm tečně. Vše je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 15: Umístění brzdových destiček na kotouči

3.5. Brzdový kotouč

Tak jako se liší brzdové destičky pro konkrétní brzdu, tak se liší i průměry brzdových kotoučů. Zde se ale objevuje i další faktor, který ovlivňuje velikost kotoučů – druh brzdění. Tento pojem je vysvětlen v následující kapitole Druhy brzdění a přehled motorů.

Pro brzdu typu „H“ je orientace jednoduchá - firma vyrábí kotouče o velikostech $\text{Ø } 350 - \text{Ø } 1000$ mm. Kotouče pro brzdu „C“ se vyrábí o velikostech $\text{Ø } 120 - \text{Ø } 500$ mm, kromě výjimky u jednoho druhu motoru - kotouče používané pro brzdu „C“ na mechanické

brzdění, které má pouze Motor 07 (viz Kapitola 3.6), se vyrábějí ve velikostech Ø 120 – Ø 300 mm. [5]

Tloušťku kotouče si může zákazník zvolit od 8 mm do 28 mm dle konkrétního použití. Na přání lze ale vyrobit i větší (speciální) velikosti. Kotouče jsou také uzpůsobeny jakémukoliv smyslu otáčení. [5]

Materiál kotouče

Pro výrobu brzdových kotoučů se nejvíce používají materiály: litina s lupínkovým grafitem, neušlechtilá konstrukční ocel 11 373 a pevnější jemnozrná jakostní ocel 11 523. Firma nabízí zákazníkovi i možnost definovat si vlastní materiál. Pro výpočet kotoučové brzdy je ale nutné znát vlastnosti materiálu a to definovanými veličinami: hustota, měrná tepelná kapacita a tepelná vodivost materiálu. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty veličin, používaných pro výpočet oteplení brzd.

Tabulka 1: Používané materiály pro kotouče

Název	Norma	ρ [kg . m ⁻³]	c [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	λ [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]	Reference
Litina s lupínkovým grafitem	ČSN 42 2425	7250	500	58	[6]
Ocel 11 373	ČSN 41 1372	7850	460	51	[7]
Ocel 11 523	ČSN 41 1523	7800	460	50	[8]

3.6. Druhy brzdění a přehled motorů

Všechny brzdy jsou charakteristické i způsobem svého ovládání. Zde je ovládání vyřešeno pístem spojeným s dvojitými rameny, se kterými tak hýbe. Píst je tedy vytlačován silou, kterou vyvozuje jiná vnější manuální mechanická síla, tlak vzduchu nebo tlak kapaliny. Druh brzdění se podle toho označuje jako: mechanické, pneumatické a hydraulické. Každý tento druh pohonu má charakteristický parametr, kterého je nutné dosáhnout, aby byla vyvozena plná ovládací síla a následný brzdový moment. U mechanického brzdění je to parametr pracovní zdvih pružiny x udávaný v milimetrech, pro pneumatické brzdění je to tlak vzduchu p_p v pneumatickém válci v MegaPascálech a pro hydraulické

brzdění tlak hydraulického média p_h v hydraulickém válci taktěž v MegaPascálech. Z logiky věci je jasné, že tyto charakteristické parametry jsou pro brzdu typu „C“ menší než u typu „H“, protože s brzdou „C“ se brzdí menší kinetická energie (popřípadě výkon).

Jsou tedy k dispozici i různé typy motorů, kterými je kotoučová brzda ovládána. V Tabulce 2 jsou přehledně uvedeny a rozděleny všechny firmou používané ovládací motory podle druhu brzdění a typu brzdy. Každý takovýto motor má katalogově danou závislost charakteristického parametru motoru na brzdném momentu (současně i pro průměr kotouče). Tyto závislosti jsou nezbytně důležité pro kompletaci brzdy a jsou uvedeny v tištěné příloze.

Tabulka 2: Přehled používaných motorů firmou PIVKO brakes

Druh brzdění	Brzda typ „C“	Brzda typ „H“
Mechanické	Motor 07	Pohon 07 Pohon 10 Pohon 15
Pneumatické	Motor 1 Motor 2 Motor 3	Motor 9 Motor 12 Motor 16
Hydraulické	Motor H2 Motor H3	Motor 03 Motor 04 Motor 05

3.7. Použití kotoučových brzd

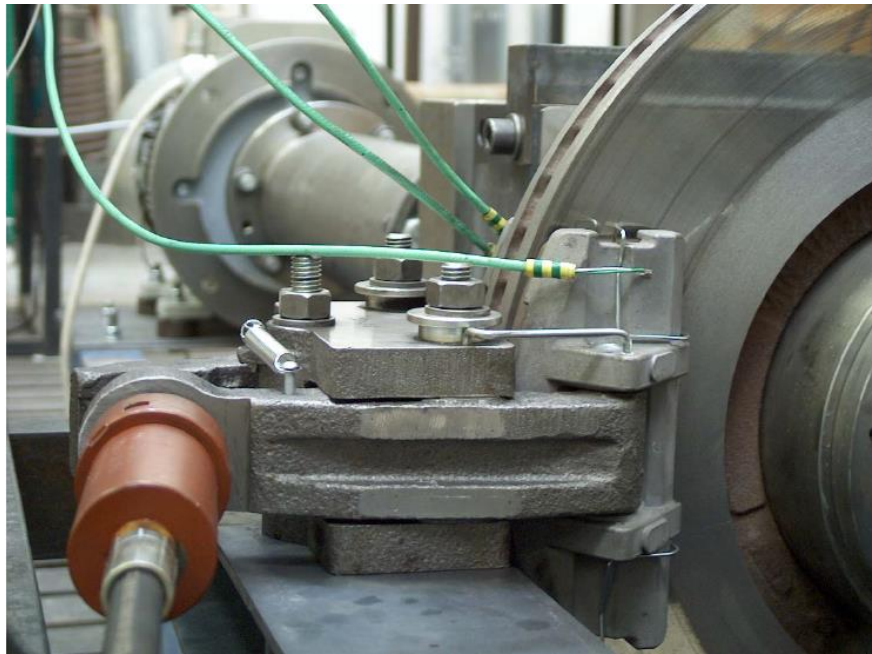
Kotoučové brzdy PIVKO se používají v různých odvětvích průmyslu. Níže jsou uvedeny tři konkrétní příklady použití. Obrázek 16 zachycuje menší mechanickou brzdu „C“ používanou pro brzdění odvíjené fólie. Na Obrázku 17 je hydraulická brzda „H“ namontovaná ve výkonové zkušebně pro brzdění válce. A konečně hydraulická brzda typu „H“ (Obrázek 18), která se používá pro výzkum v laboratoři Odboru částí a mechanismů strojů na Fakultě strojní ČVUT.



Obrázek 16: Brzda "C" - odvíjení fólie [5]



Obrázek 17: Brzda "H" - výkonová zkušebna [5]



Obrázek 18: Brzda „H“ – laboratoř ČVUT [2]

4. Výpočetní program

Hlavním výstupem této bakalářské práce je vytvoření programu Výpočet kotoučových brzd pro průmyslové použití pro firmu PIVKO brakes.

4.1. Seznámení s problémem a jeho řešení

Firma dosud pro výpočet používala zastaralé programy od společnosti WICHITA napsané v programovém prostředí DOS, které doplňovala ručními výpočty a manuálním odečítáním hodnot z grafů. Z důvodu modernizace a přechodu na nová softwarová rozhraní, už firma nadále nemůže tyto programy využívat. Navíc celkový postup výpočtu je velmi zdlouhavý a neefektivní právě použitím ručního výpočtu.

Po získání konkrétního zadání a specifikace funkcí nového programu ze strany firmy, byl primárně z důvodu snadné dostupnosti a rychlosti výpočtu zvolen pro napsání formulářového programu softwarový nástroj MS Excel. Pro základní podmínky a logické funkce jsem použil jeho integrované vývojové prostředí a programovací jazyk Visual Basic. Napsané skripty se pak jednoduše implementovaly do programu MS Excel. Z hlediska nízkých hardwarových požadavků tak lze nový program snadno používat takřka na každém počítači, podmínkou je instalace sady MS Office na daném počítači.

Nově vytvořený program je definován pro situaci, kdy brzda kontinuálně brzdí pohybující se soustrojí až do klidového stavu.

Program umožňuje výpočet parametrů na základě vstupních údajů, kontrolu použití brzdy a následný výpočet charakteristického parametru motoru pro vybraný druh brzdění. Celý program jsem tvořil sám, neměl jsem přístup ke zdrojovým kódům starých výpočetních programů. K dispozici byl pouze výpis několika hodnot pro kontrolu, podle kterého jsem zjišťoval princip a postup výpočtu kotoučových brzd. Za zmínku také stojí, že jsem provedl převedení firmou poskytnutých grafů z papírové do elektronické podoby (viz Příloha 2) za účelem automatického odečtu hodnot z grafu.

4.2. Vstupní a výstupní parametry

Vstupní a výstupní parametry programu závisí na konkrétním zadání uživatele, všechny možné parametry na vstupu a výstupu jsou vyjmenovány níže.

Vstupní parametry jsou:

- typ brzdy,
- druh brzdění,
- motor,
- materiál kotouče,
- hustota materiálu kotouče (není-li zvolen již definovaný materiál),
- měrná tepelná kapacita materiálu kotouče (není-li zvolen již definovaný materiál),
- tepelná vodivost materiálu kotouče (není-li zvolen již definovaný materiál),
- průměr kotouče,
- tloušťka kotouče,
- otáčky,
- čas,
- kinetická energie,
- moment setrvačnosti soustrojí,
- výkon,
- brzdny moment.

Výstupní parametry jsou:

- ohřev kotouče,
- ohřev stykové plochy,
- zátěž,
- pracovní zdvih pružiny (dle zvoleného druhu brzdění),
- tlak vzduchu (dle zvoleného druhu brzdění),
- tlak média (dle zvoleného druhu brzdění),
- brzdny moment,
- hmotnost kotouče,
- moment setrvačnosti kotouče,
- styková plocha obou destiček,

Vstupní i výstupní parametry jsou zobrazovány v jednotkách vhodných pro okamžitou aplikaci, ačkoliv výpočet se samozřejmě provádí v základních jednotkách SI.

4.3. Definování rovnic pro výpočet

Pro výpočet oteplení je stěžejní zjistit celkovou kinetickou energii E_{kin} , kterou je nutné vyvinout při brzdění. Ze známých rovnic:

$$P = M_b \cdot \omega \quad (4.3.1)$$

$$P = \frac{E_{kin}}{\tau} \quad (4.3.2)$$

$$\omega = 2\pi \cdot f \quad (4.3.3)$$

$$f = \frac{n}{60} \quad (4.3.4)$$

se vzájemným dosazením získá následující výpočetní vztah:

$$\frac{E_{kin}}{\tau} = \frac{M_b \cdot 2\pi \cdot n}{60} \quad (4.3.5)$$

Protože má kotoučová brzda dvě stykové plochy, musí se výsledná kinetická energie vydělit dvěma, aby se získala výsledná rovnice pro výpočet kinetické energie.

$$E_{kin} = \frac{M_b \cdot 2\pi \cdot n \cdot \tau}{60} \cdot \frac{1}{2} = \frac{M_b \cdot \pi \cdot n \cdot \tau}{60} \quad [] \quad (4.3.6)$$

Z předešlé rovnice se vyjádří brzdňý moment pro stanovení finální rovnice, která je potřeba pro kompletaci brzdy s motorem.

$$M_b = \frac{E_{kin} \cdot 60}{\pi \cdot n \cdot \tau} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.3.7)$$

Výpočet kinetické energie E_{kin}

Při zadání jiného vstupního parametru než brzdňého momentu M_b je nutné znát i další vztahy. Může být zadán moment setrvačnosti soustrojí J_s nebo brzdňý výkon P . Proto jsou níže uvedeny všechny tři vztahy.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot J_s \cdot \omega^2 = \frac{1}{1800} \cdot J_s \cdot \pi^2 \cdot n^2 \quad [] \quad (4.3.8)$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot \tau \quad [] \quad (4.3.9)$$

$$E_{kin} = \frac{M_b \cdot \pi \cdot n \cdot \tau}{60} \quad [] \quad (4.3.9)$$

Výpočet oteplení (ohřevu) kotouče ΔT_1

Pro výpočet ohřevu kotouče ΔT_1 se použije obyčejná kalorimetrická rovnice, ve které se nahradí teplo Q za kinetickou energii E_{kin} . Počítá se s hmotností redukovaného kotouče o ploše S' . Tato plocha je definována jako obsah mezikruží o průměrech D' a d' .

$$Q = c \cdot m' \cdot \Delta T_1 \quad (4.3.10)$$

$$\Delta T_1 = \frac{Q}{c \cdot m'} = \frac{E_{kin}}{c \cdot m'} \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.3.11)$$

Výpočet oteplení (ohřevu) stykové plochy ΔT_2

Pro výpočet ohřevu stykové plochy ΔT_2 je použita rovnice (4.3.12) [1],

$$\Delta T_2 = \frac{\left(\frac{5}{18}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot q \cdot \sqrt{\tau}}{\sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}} = \frac{\left(\frac{5}{18}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{E_{kin}}{S' \cdot \tau} \cdot \sqrt{\tau}}{\sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}} = \left(\frac{5}{18}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{E_{kin} \cdot \sqrt{\tau}}{S' \cdot \tau \cdot \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.3.12)$$

do které se dosadí rovnice (4.3.13) [1] pro výpočet hustoty tepelného toku q . Plocha S'' je dvojnásobkem plochy S' , protože stykové plochy jsou na obou stranách kotouče.

$$q = \frac{P}{\frac{1}{2} \cdot S''} = \frac{\frac{E_{kin}}{\tau}}{S'} = \frac{E_{kin}}{S' \cdot \tau} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.3.13)$$

Výsledkem je finální rovnice (4.3.14).

$$\Delta T_2 = \frac{\left(\frac{5}{18}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{E_{kin}}{S' \cdot \tau} \cdot \sqrt{\tau}}{\sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}} = \left(\frac{5}{18}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{E_{kin} \cdot \sqrt{\tau}}{S' \cdot \tau \cdot \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.3.14)$$

Výpočet zátěže Z

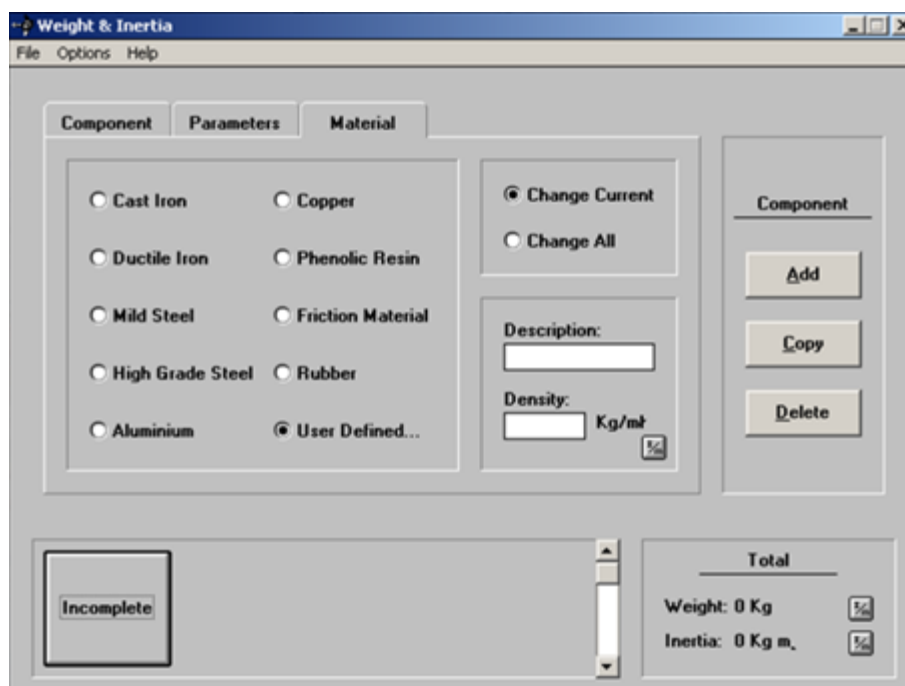
Zátěž Z udává podíl stykové plochy na obou stranách kotouče a výkonu. Rovnice je jednoduchá a má následující tvar:

$$Z = \frac{S''}{P} = \frac{S''}{\frac{E_{kin}}{\tau}} = \frac{S'' \cdot \tau}{E_{kin}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}] \quad (4.3.15)$$

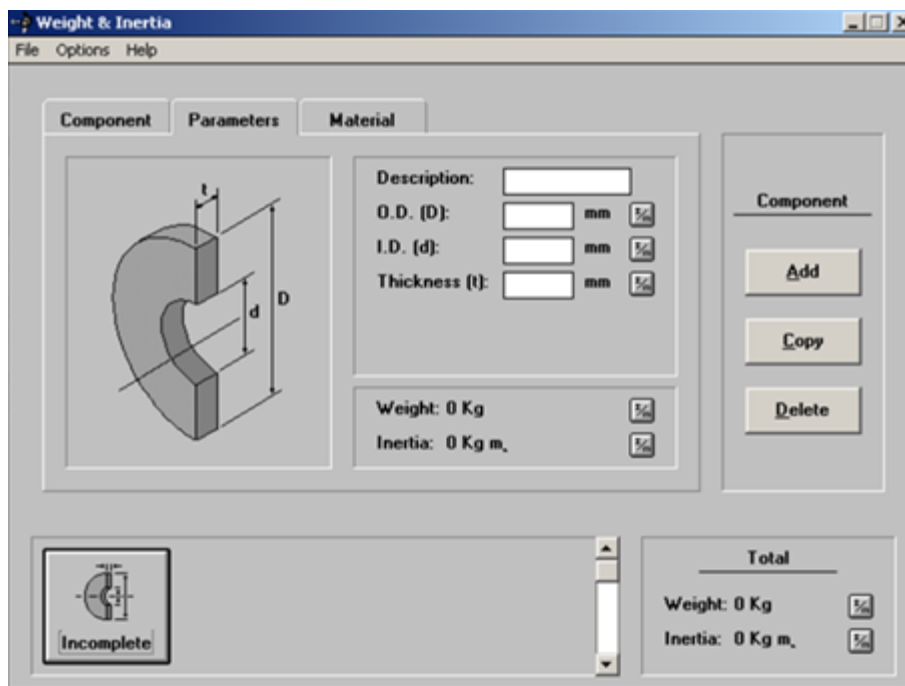
4.4. Původní stav – manuální operace a zastaralé programy

Výpočtář firmy doposud počítal kotoučové brzdy z velké části ručně a to dle postupu, který jde velice těžce schematicky zakreslit, protože se v něm vyskytuje mnoho proměnných a celý postup vykazuje velké známky nestability. Z tohoto ohledu je postup níže vysvětlen slovně.

Výpočtář dostane od zákazníka definované vstupní parametry, které jsou vyjmenovány v předešlé kapitole, je zadán materiál kotouče, typ brzdy a druh brzdění. Nejdříve si ze vstupních parametrů ručně spočte brzděnou kinetickou energii, pokud v parametrech nebyla zahrnuta. Následně v programu *Weight & Inertia* definuje materiál (Obrázek 19), vypočte hmotnost kotouče a jeho moment setrvačnosti (Obrázek 20).

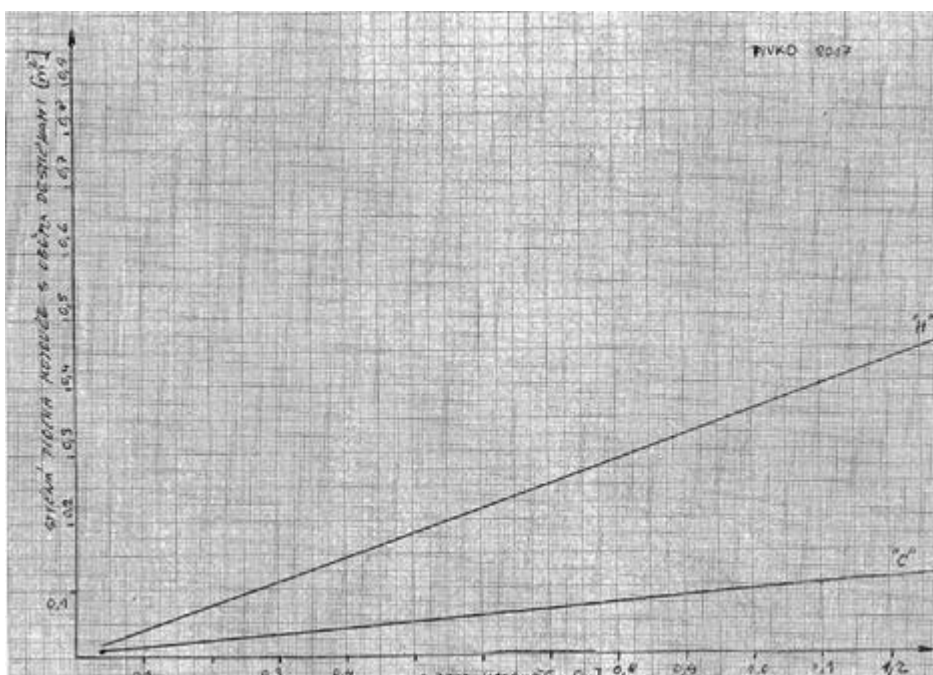


Obrázek 19: Program *Weight & Inertia* – Material



Obrázek 20: Program *Weight & Inertia* – Parameters

Poté se z grafu (Obrázek 21), který je autentickým materiálem firmy PIVKO brakes, odečte velikost celkové stykové plochy mezi kotoučem a brzdovou destičkou pro vybraný typ brzdy. Odečtená hodnota je pouze přibližná z důvodu malého rozlišení měřítka. Na ose x je průměr kotouče v metrech, na ose y celková styková plocha na obou stranách kotouče. v metrech čtverečných.



Obrázek 21: Graf pro odečet velikostí styčných ploch

Všechny vypočtené a z grafů odečtené hodnoty se zanesou do programu *Clutch and Brake Temperature Calculations* (Obrázek 22), který spočte výstupní parametry - oteplení kotouče, oteplení stykové plochy a zátěž. Výpočtář teploty zkontroluje, zda se nacházejí v oblasti bezpečného brzdění. Po kontrole ručně vypočte brzdny moment, pokud nebyl zahrnut ve vstupních parametrech. Ze zjištěného parametru provede odečet hodnot z grafu, který odpovídá vybranému motoru, aby zjistil charakteristický rozměr motoru.

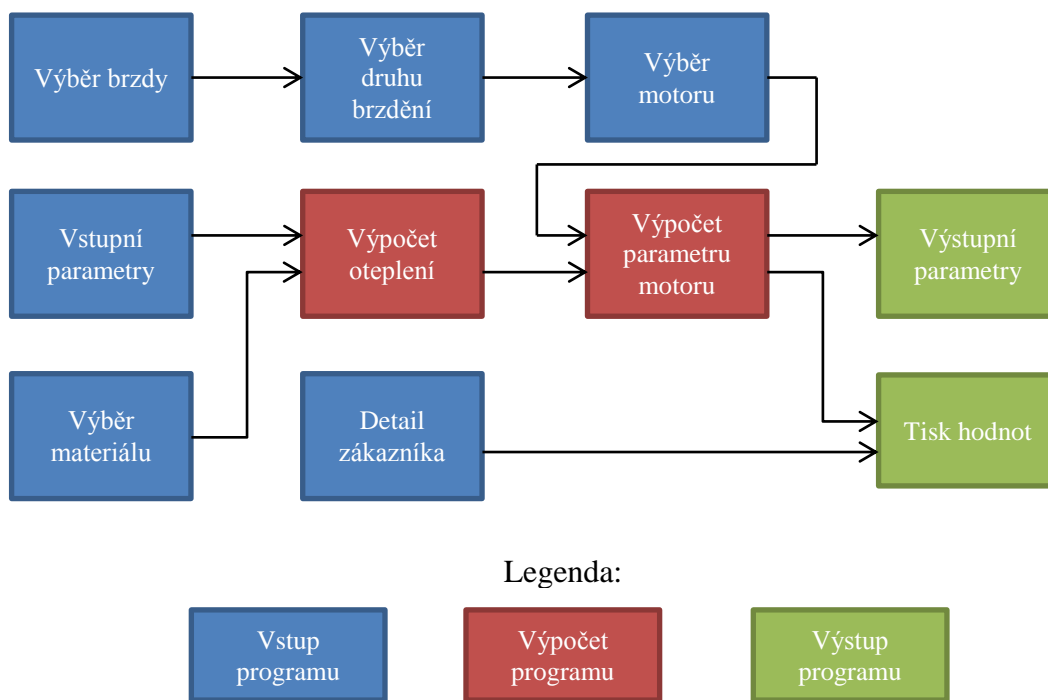
The screenshot shows a software window titled "Clutch And Brake Temperature Calculations". It contains two main calculation sections. The first section, "Bulk Temperature Rise", has a "Material type" dropdown menu (currently showing "Ductile Iron" and "Cast Iron"), input fields for "Weight (Kg)" and "TotalEnergy Input (J)", and a "Calculate" button. Below this section are labels for "Bulk Temperature Rise". The second section, "Surface Temperature Rise", has input fields for "Slip Time (S)", "Centre Plate Thickness (mm)", "Total Swept Area (mm²)", and "Total Energy Input (J)", along with a "Calculate" button. Below this section are labels for "Surface Temperature Rise", "Hot Spot Temperature Rise", and "Surface Loading". At the bottom of the window are five buttons: "Print", "Open", "Customer", "Save", and "Exit".

Obrázek 22: Program *Clutch and Brake Temperature Calculations*

Uvedený postup není vždy striktně dodržován v tomto pořadí, není stabilní a výpočty se mohou lišit. Výpočtář dojde za použití různých postupů k totožnému výsledku.

4.5. Nový stav – automatický výpočetní program

Nový výpočetní program funguje na principu nové verze postupu výpočtu, který byl zjednodušen a stabilizován. Byly do něj také přidány nové funkce, odstraněn byl veškerý ruční výpočet. Byl kladen důraz na jednoduchost a snadnou obsluhu. Na následujícím obrázku je popsán diagram, podle kterého program Výpočet kotoučových brzd nyní pracuje.



Obrázek 23: Diagram programu Výpočet kotoučových brzd

Grafická podoba nového programu je zachycena níže na Obrázku 24. Program funguje následovně: Pro rychlý výběr možností je program vybaven přepínači. Nejprve se provede výběr brzdy a to mezi brzdou „C“ a brzdou „H“ (Obrázek 25). Poté se přejde k výběru typu brzdění (Obrázek 26). Je možné zvolit mechanické, pneumatické či hydraulické brzdění. Okamžitě po výběru se aktualizuje seznam motorů a zobrazí se jen a pouze ty, které jsou pro zvolenou brzdu a zvolený typ brzdění definovány.

VÝPOČET KOTOUČOVÝCH BRZD

Výběr brzdy

Brzda "C" Brzda "H"

Typ brzdění

Mechanické brzdění Pneumatické brzdění Hydraulické brzdění

Motor 07 Pohon 07 Motor 1 Motor 9 Motor H2 Motor 03
 Pohon 10 Motor 2 Motor 12 Motor H3 Motor 04
 Pohon 15 Motor 3 Motor 16 Motor 05

Materiál kotouče

Litina s lupínkovým grafitem ČSN42 2425

Ocel 11 373 (ČSN 41 1373)

Ocel 11 523 (ČSN 41 1523)

Definováno uživatelem

Název materiálu	<input type="text" value=""/>
Hustota	<input type="text" value=""/> [kg/m ³]
Měrná tepelná kapacita	<input type="text" value=""/> [J/Kg.K]
Tepelná vodivost	<input type="text" value=""/> [W/m.K]

Vstupní parametry

Průměr kotouče [mm]

Tloušťka kotouče [mm]

Otáčky [ot/min]

Čas brzdění [s]

Parametr Energie kinetická [J]

Moment setrvačnosti soustrojí
 Výkon
 Brzdňý moment

Výstupní parametry

Ohřev kotouče [°C]

Ohřev stykové plochy [°C]

Zatížení povrchu [mm²/W]

NEZVOLEN

Lze použít
 Lze použít pouze pro havarijní brzdění
 Nelze použít

Obrázek 24: Program Výpočet kotoučových brzd

Dále je možný výběr materiálu kotouče (Obrázek 27). Jsou zde uvedeny všechny, které firma používá, navíc byla přidána i možnost definovat si vlastní materiál stiskem přepínače „Definováno uživatelem“. Po jeho stisknutí se objeví nová nabídka, ve které se musí vyplnit vlastnosti nového materiálu, jako je hustota, měrná tepelná kapacita a tepelná vodivost. Pokud se vlastnosti nevyplní, program brzdu nespočítá. V neposlední řadě je nutné vyplnit pole „Vstupní parametry“ (Obrázek 28) a to průměr kotouče, tloušťka kotouče, otáčky, čas brzdění a zvolit jeden ze čtyř parametrů (energie kinetická, moment setrvačnosti soustrojí, výkon, brzdňý moment). Pokud jsou všechny parametry zadány, program automaticky vypočítá výstupní parametry a vypíše je (Obrázek 29).

Výběr brzdy	
<input checked="" type="radio"/> Brzda "C"	<input type="radio"/> Brzda "H"

Obrázek 25: Program - Výběr brzdy

Typ brzdění					
<input type="radio"/> Mechanické brzdění	<input type="radio"/> Pneumatické brzdění	<input type="radio"/> Hydraulické brzdění			
<input type="radio"/> Motor 07	<input type="radio"/> Pohon 07	<input type="radio"/> Motor 1	<input type="radio"/> Motor 9	<input type="radio"/> Motor H2	<input type="radio"/> Motor 03
	<input type="radio"/> Pohon 10	<input type="radio"/> Motor 2	<input type="radio"/> Motor 12	<input type="radio"/> Motor H3	<input type="radio"/> Motor 04
	<input type="radio"/> Pohon 15	<input type="radio"/> Motor 3	<input type="radio"/> Motor 16		<input type="radio"/> Motor 05

Obrázek 26: Program - Typ brzdění

Materiál kotouče	
<input type="radio"/> Litina s lupínkovým grafitem (ČSN 42 2425)	Název materiálu <input type="text"/>
<input type="radio"/> Ocel 11 373 (ČSN 41 1373)	Hustota <input type="text"/> [kg/m ³]
<input type="radio"/> Ocel 11 523 (ČSN 41 1523)	Měrná tepelná kapacita <input type="text"/> [J/Kg.K]
<input checked="" type="radio"/> Defnováno uživatelem	Tepelná vodivost <input type="text"/> [W/m.K]

Obrázek 27: Program - Materiál kotouče

Vstupní parametry	
Průměr kotouče	<input type="text"/> [mm]
Tloušťka kotouče	<input type="text"/> [mm]
Otáčky	<input type="text"/> [ot/min]
Čas brzdění	<input type="text"/> [s]
Parametr	<input type="text"/> [J]
<input checked="" type="radio"/> Energie kinetická <input type="radio"/> Moment setrvačnosti soustrojí <input type="radio"/> Výkon <input type="radio"/> Brzdňý moment	




Obrázek 28: Program - Vstupní parametry

Výstupní parametry	
Ohřev kotouče	<input type="text"/> [°C]
Ohřev stykové plochy	<input type="text"/> [°C]
Zatížení povrchu	<input type="text"/> [mm ² /W]
Tlak média	<input type="text"/> [MPa]
<input type="radio"/> ●	Lze použít
<input type="radio"/> ●	Lze použít pouze pro havarijní brzdění
<input type="radio"/> ●	Nelze použít

Obrázek 29: Program - Výstupní parametry

Současně s výpočtem se provádí i tepelná kontrola použití brzdy a barevně je indikován výsledek kontroly. Kontrola překročení maximální dovolené teploty materiálu se provádí porovnáním vypočtené hodnoty oteplení s firmou definovanými mezemi materiálu – pro teplotu pod 300°C lze brzdu použít; v rozmezí 300°C až 350°C se dá brzda použít v nouzovém případě pro havarijní brzdění; pokud je teplota nad 350°C, brzda nemůže být použita. V následující tabulce jsou uvedeny významy použitých značek.

Tabulka 3: Význam použitých značek

	Lze použít
	Teplota je v oblasti pracovních teplot materiálu. Kotoučová brzda lze použít.
	Lze použít pouze pro havarijní brzdění
	Teplota se blíží maximální dovolené teplotě materiálu. Kotoučová brzda lze použít pouze pro havarijní brzdění.
	Nelze použít
	Teplota přesáhla maximální bezpečnou teplotu materiálu. Kotoučová brzda nelze použít.

Firma navíc požadovala, aby byla v programu možnost definovat zákazníka a charakterizovat jeho objednávku. Tento požadavek je splněn formulářem pro definování zákazníka, kde se objeví jeho detail pro rychlý výpis (Obrázek 30). Požadovány jsou parametry: jméno zákazníka, reference zákazníka, reference PIVKO, typ stroje a jméno výpočtáře.

Detail zákazníka

Jméno zákazníka	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Reference zákazníka	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Reference PIVKO	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Typ stroje	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Jméno výpočtáře	<input style="width: 90%;" type="text"/>

Obrázek 30: Program - Detail zákazníka

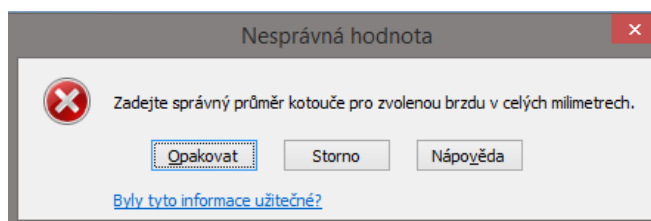
Dalším požadavkem firmy bylo vytvoření souhrnu všech vstupních i výstupních parametrů a některých dalších důležitých parametrů, jako například hmotnost kotouče, moment setrvačnosti kotouče a celková styková plocha, což program splňuje. Vygenerovaný souhrn je navíc možné samostatně vytisknout a to i s hlavičkou zákazníka (Obrázek 31).

Tepelný výpočet brzd PIVKO		Hydraulické brzdění	Motor 03
Jméno zákazníka	---		
Reference zákazníka	---		
Reference Pivko	---		
Typ stroje	---		
Jméno výpočtáře	---		
Kotouč [mm]	360 x 30		
Materiál	Litina s lupínkovým grafitem ČSN 42 2425		
Hmotnost kotouče [kg]	22,14		
Moment setrvačnosti kotouče [kg.m ²]	0,36		
Styková plocha obou destiček [mm ²]	61073		
Otáčky [ot/min]	1500		
Čas brzdění [s]	0,1		
Brzdný moment [N.m]	3437,75		
Energie kinetická [J]	27000		
Ohřev kotouče [°C]	8,13		
Ohřev stykové plochy [°C]	101,62		
Zatížení povrchu [mm ² /W]	0,23		
Tlak média [MPa]	11,90		
Poznámka:			
2.6.2017 22:06			

Obrázek 31: Program - Tisk

4.5.1. Chybová hlášení

Program je ošetřen, proti chybám uživatele, například při zadávání hodnot. Jsou definovány rozsahy platných vstupů, v případě jejich nedodržení či překročení program automaticky generuje chybové hlášení.



Obrázek 32: Chybové hlášení

Mimoto se jako hodnota výstupního parametru může zobrazit další chybové hlášení způsobené příčinami uvedenými v následující tabulce.

Tabulka 4: Význam chybových hlášení v poli Výstupní parametry

Chybové hlášení	Příčina
---	Vypočtené hodnoty přesáhly výpočetní interval <0;10000>
ZADÁNÍ	Není zvolen Typ brzdění a Vstupní parametry jsou neúplné
TYP	Není zvolen Typ brzdění
PARAMETR	Vstupní parametry jsou neúplné
PRŮMĚR	Zvolený průměr kotouče není pro danou brzdu definován
POHON	Zvolený Typ brzdění/Pohon nelze použít

Pro snadnou orientaci v programu a vyhledání si významu chybového hlášení slouží manuál, který je přiložen jako Příloha 2 k této práci. Je v něm vypsán postup ovládání, významy použitých značek a příčiny vedoucí k chybovým hlášením.

4.6. Příkladný výpočet

V následující kapitole je uvedeno konkrétní zadání a následný příkladný výpočet, který program Výpočet kotoučových brzd sám vypočítá.

Zadání zákazníka:

Brzděné soustrojí o momentu setrvačnosti $2,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ se musí zabrzdit do klidového stavu. Zákazníkem byla vybrána brzda typu „H“, která brzdí kotouč o velikosti $360 \times 34 \text{ mm}$. Kotouč je vyroben z litiny s lupínkovým grafitem ČSN 42 2425. Soustrojí na počátku brzdění dosahuje 1500 otáček za minutu. Celkový čas brzdění je 0,2 s. Brzda musí mít hydraulický pohon a je předběžně zvolen MOTOR 04.

Vstupní parametry:

$$J_s = 2,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$n = 1500 \text{ min}^{-1}$$

$$\tau = 0,2 \text{ s}$$

Materiál ČSN 42 2425

$$\rho = 7250 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$c = 500 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\lambda = 58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Kotouč $360 \times 34 \text{ mm}$

Výpočet a kontrola oteplení:

$$m' = \rho \cdot \pi \cdot \left(\left(\frac{D'}{2} \right)^2 - \left(\frac{d'}{2} \right)^2 \right) \cdot t = 7250 \cdot \pi \cdot \left(\left(\frac{0,35}{2} \right)^2 - \left(\frac{0,224}{2} \right)^2 \right) \cdot 0,034 = 14,01 \text{ kg}$$

$$S' = \pi \cdot \left(\left(\frac{D'}{2} \right)^2 - \left(\frac{d'}{2} \right)^2 \right) = \pi \cdot \left(\left(\frac{0,35}{2} \right)^2 - \left(\frac{0,224}{2} \right)^2 \right) = 0,056803 \text{ m}^2$$

$$S'' = 2 \cdot S' = 2 \cdot 0,053803 = 0,113606 \text{ m}^2$$

$$J = \frac{\rho \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot t}{2} \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 = \frac{7250 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,36}{2} \right)^2 \cdot 0,034}{2} \cdot \left(\frac{0,36}{2} \right)^2 = 0,41 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$E_{kin} = \frac{1}{1800} \cdot J_s \cdot \pi^2 \cdot n^2 = \frac{1}{1800} \cdot 2,2 \cdot \pi^2 \cdot 1500^2 = 27141,41 \text{ J}$$

$$\Delta T_1 = \frac{E_{kin}}{c \cdot m'} = \frac{27141,41}{500 \cdot 14,01} = 3,88^\circ\text{C} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

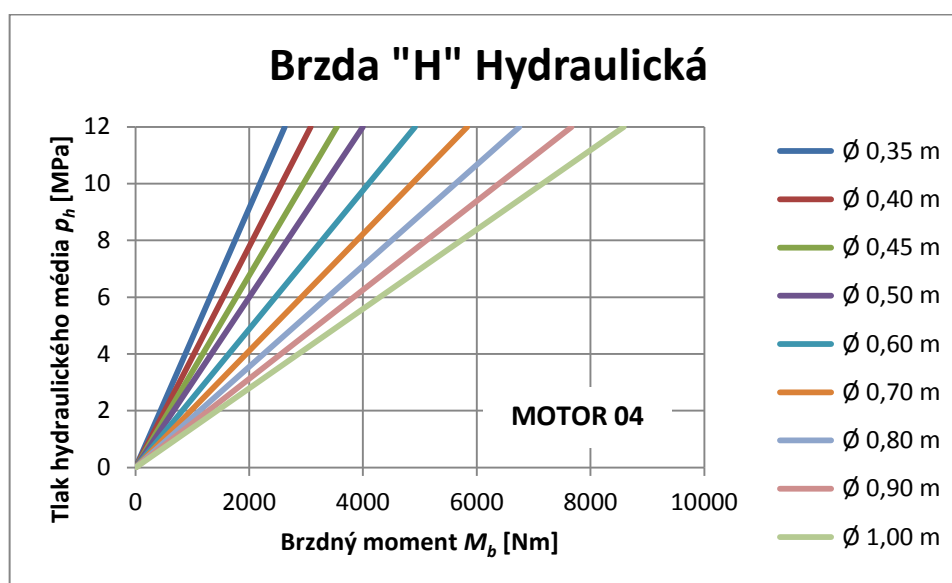
$$\Delta T_2 = \left(\frac{5}{18} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{E_{kin} \cdot \sqrt{\tau}}{S' \cdot \tau \cdot \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}} = \left(\frac{5}{18} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{27141,41 \cdot \sqrt{0,2}}{0,056803 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{7250 \cdot 500 \cdot 58}} = 38,83^\circ\text{C}$$

→ Vyhovuje

$$Z = \frac{S'' \cdot \tau}{E} = \frac{0,113606 \cdot 0,2}{27141,41} \cdot 10^6 = 0,84 \text{ mm}^2 \cdot \text{W}^{-1}$$

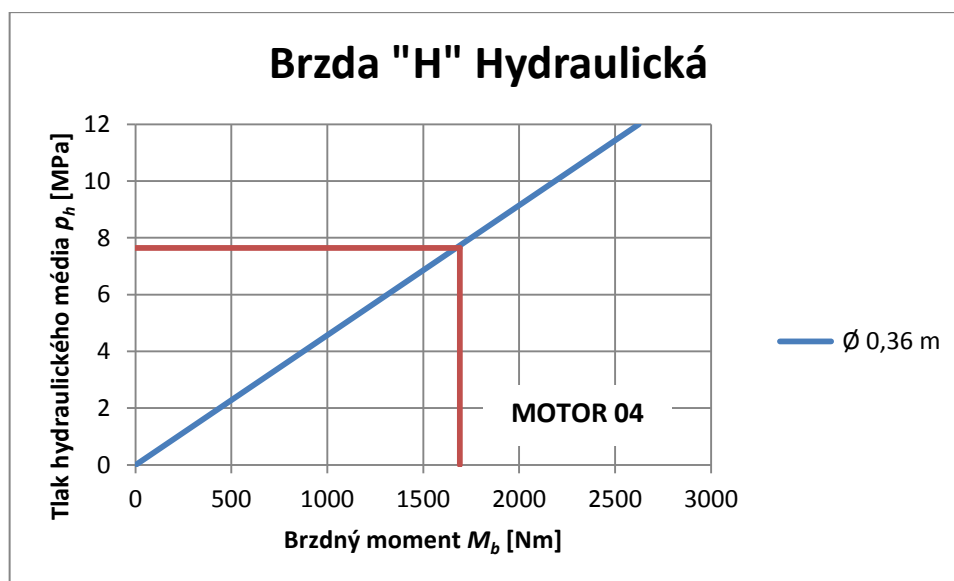
$$M_b = \frac{E_{kin} \cdot 60}{\pi \cdot n \cdot \tau} = \frac{27141,41 \cdot 60}{\pi \cdot 1500 \cdot 0,2} = 1727,88 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Pro MOTOR 04 platí následující graf (viz Příloha 2):



Obrázek 33: Graf MOTOR 04

V grafu se nalezne závislost pro $\varnothing 360$ mm.



Obrázek 34: Graf MOTOR 04 - upravený

V grafu se odečte pro brzdny moment $M_b = 1727,88$ N.m hodnota tlaku hydraulického média $p_h = 7,64$ MPa,

Výstupní parametry:

Hmotnost kotouče	$m = 25,09$ kg
Moment setrvačnosti kotouče	$J = 0,41$ kg · m ²
Styková plocha obou destiček	$S'' = 113606$ mm ²
Brzdny moment	$M_b = 1727,88$ N · m
Energie kinetická	$E_{kin} = 27141,41$ J
Oteplení kotouče	$\Delta T_1 = 3,88$ °C
Oteplení stykové ploch	$\Delta T_2 = 38,83$ °C
Zátěž	$Z = 0,84$ mm ² · W ⁻¹
Tlak média	$p_h = 7,64$ MPa

Tepelný výpočet je v normě a obě hodnoty oteplení se nacházejí v oblasti bezpečného brzdění. Zvolenou brzdu je tedy možno použít. Kompletace se zvoleným motorem je také bezpečná a parametr motoru je v pořádku.

5. Závěr

Kotoučové brzdy mají své nezastupitelné místo v průmyslových aplikacích. Tato práce postupně seznamuje s jejich principy, kategorizací a využitím v praxi.

Cílem je podpořit procesní automatizaci návrhu kotoučových brzd firmy PIVKO brakes. Na základě firmou definovaných požadavků a upřesňující schůzky se zástupcem firmy byl navržen a implementován program pro výpočet kotoučových brzd, který má úplně nahradit zastaralé postupy. Vzniklý program splňuje všechny zadané požadavky a předpokládá se jeho nasazení do praxe v plném rozsahu, včetně souhrnného tisku výsledků. Nahradí tak dosavadní programy DOS, ruční počítání a manuální odečítání hodnot z papírových grafů.

S výhodou bylo využito funkce tvorby formulářů a jejich programování v prostředí MS Excel. Program umožňuje automatický výpočet parametrů na základě vstupních údajů, kontrolu použití brzdy a následný výpočet parametru pro vybraný pohon brzdy. Je kladen důraz na jeho rychlost, jednoduchost, uživatelskou intuitivnost a přehlednost. Program je určen pro situace, kdy brzda kontinuálně brzdí pohybující se soustrojí až do klidového stavu. V jiném případě (např. přerušované brzdění) není možné program použít.

Z hlediska správnosti používání programu je čtenář seznámen i s teorií kotoučových brzd typu „C“ a „H“ firmy PIVKO, které se dopodrobna věnuje podstatná část práce. Pro snazší představu a pochopení fungování těchto brzd, vzniknul v programu Solidworks i jejich 3D model přiložený na CD.

Pro názorné předvedení postupu výpočtu kotoučových brzd programem ukazuje jedna kapitola příkladný výpočet pro konkrétní zadání. Je zde popsán celý sousled operací, které program provádí a následný výsledek s kontrolou provozních teplot.

Závěrem byl vytvořen manuál pro uživatele programu, který přehledně popisuje funkci programu a seznamuje s možnými příčinami chybových hlášek.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad třecí brzdy - Kotoučová brzda	2
Obrázek 2: Špalíková brzda.....	5
Obrázek 3: Pásová brzda	6
Obrázek 4: Bubnová brzda	6
Obrázek 5: Kotoučová brzda	7
Obrázek 6: Kotoučová brzda s pevným třmenem	8
Obrázek 7: Kotoučová brzda s volným třmenem	8
Obrázek 8: Kotoučová brzda s výkyvným třmenem	9
Obrázek 9: Silové schéma kotoučové brzdy	11
Obrázek 10: Parametry kotouče	12
Obrázek 11: Schéma brzdy typ "H"	13
Obrázek 12: Brzda typ "C"	14
Obrázek 13: Brzda typ "H"	15
Obrázek 14: Brzdové destičky PIVKO	16
Obrázek 15: Umístění brzdových destiček na kotouči	17
Obrázek 16: Brzda "C" - odvíjení fólie	20
Obrázek 17: Brzda "H" - výkonová zkušebna	20
Obrázek 18: Brzda „H“ – laboratoř ČVUT	20
Obrázek 19: Program <i>Weight & Inertia</i> – Material	25
Obrázek 20: Program <i>Weight & Inertia</i> – Parameters.....	26
Obrázek 21: Graf pro odečet velikostí styčných ploch.....	26
Obrázek 22: Program <i>Clutch and Brake Temperature Calculations</i>	27
Obrázek 23: Diagram programu Výpočet kotoučových brzd.....	28
Obrázek 24: Program Výpočet kotoučových brzd	29
Obrázek 25: Program - Výběr brzdy	30
Obrázek 26: Program - Typ brzdění	30
Obrázek 27: Program - Materiál kotouče	30
Obrázek 28: Program - Vstupní parametry.....	30
Obrázek 29: Program - Výstupní parametry.....	30
Obrázek 30: Program - Detail zákazníka.....	31
Obrázek 31: Program - Tisk	32
Obrázek 32: Chybové hlášení.....	32

Obrázek 33: Graf MOTOR 04.....	34
Obrázek 34: Graf MOTOR 04 - upravený.....	35

Seznam tabulek

Tabulka 1: Používané materiály pro kotouče	18
Tabulka 2: Přehled používaných motorů firmou PIVKO brakes	19
Tabulka 3: Význam použitých značek	31
Tabulka 4: Význam chybových hlášení v poli Výstupní parametry	33

Seznam použité literatury:

- [1] LIMPERT, R. *Brake Design and Safety*. 2. vyd. Warrendale: Nakladatelství Society of Automotive Engineers, 1999. 525 s. ISBN 1-56091-915-9.
- [2] ČEŠPÍRO, Z. *Vývoj zkušebních metod průmyslových kotoučových brzd a jejich hodnocení*. Praha, 2007. 223 s. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [3] VLK, F. *Podvozky motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: Nakladatelství VLK 2003, ISBN 80-239-0026-9.
- [4] BRŮNA, T. *Brzdový systém formule SAE*. Brno, 2009. 73 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [5] Pivkobrakes, P.I.V.K.O Spojky Brzdy Hřídle Kocián [online]. 2017 [cit. 2017-05-26] Dostupné z WWW: <<http://pivkobrakes.com/>>.
- [6] ČSN 42 2425. Litina 42 2425 s lupínkovým grafitem. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [7] ČSN 41 1373. Ocel 11 373. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [8] ČSN 41 1523. Ocel 11 523. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [9] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 5. uprav.vyd. ALBRA – Pedagogické nakladatelství, 2011. 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [10] POSPÍCHAL, J. *Technické kreslení*. 4. uprav.vyd. Nakladatelství ČVUT, 2014. 96 s. ISBN 978-80-01-05595-3.

Není-li uvedeno jinak, byly použité obrázky vytvořeny autorem této práce.

Seznam elektronických příloh

bakalarska_prace.pdf	Bakalářská práce
vypocet_kotoucovych_brzd.xlsx	Program Výpočet kotoučových brzd
manual_vypocet_kotoucovych_brzd.pdf	Manuál k programu Výpočet kotoučových brzd
data_vypocet_kotoucovych_brzd.pdf	Data pro určení parametru motoru
brzda_C.pdf	3D model – Brzda C
brzda_H.pdf	3D model – Brzda H

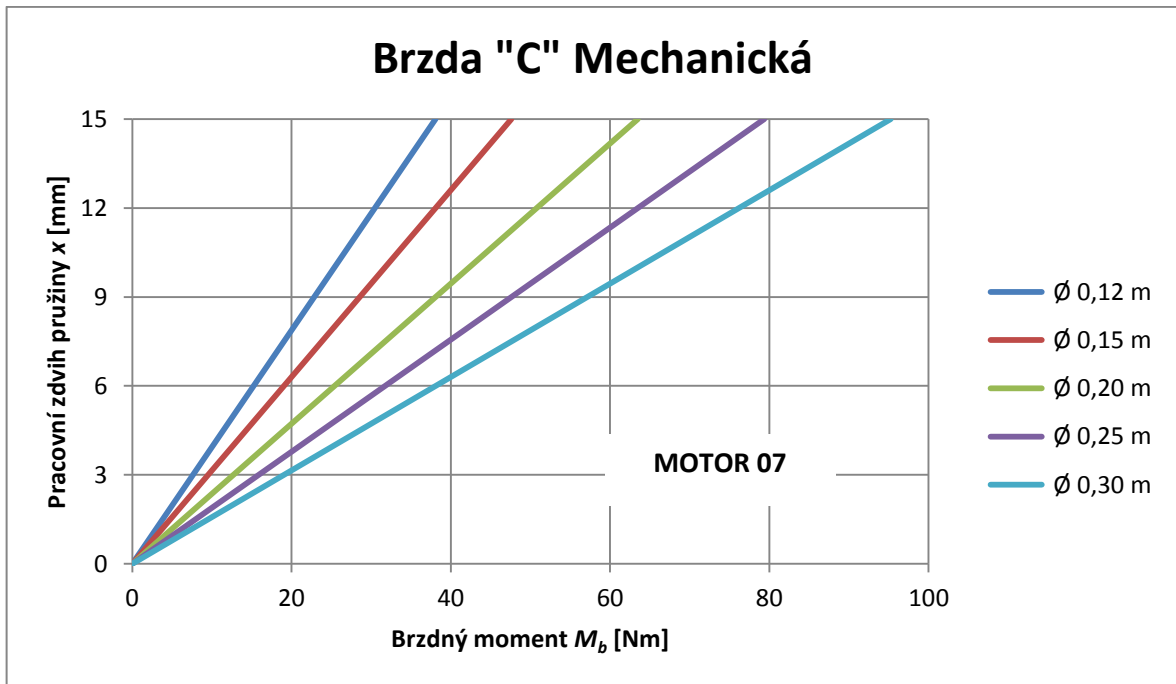
Přílohy jsou uloženy na CD

Seznam tištěných příloh

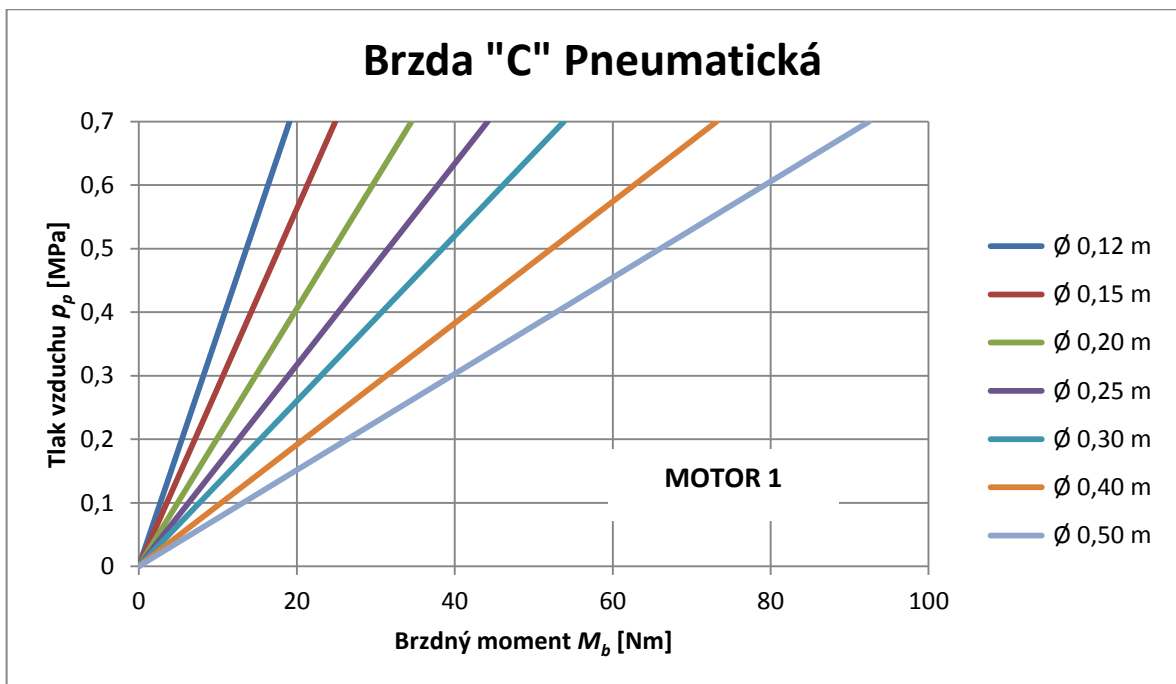
Příloha 1: Data pro určení parametru motoru

Příloha 2: Manuál k programu Výpočet kotoučových brzd

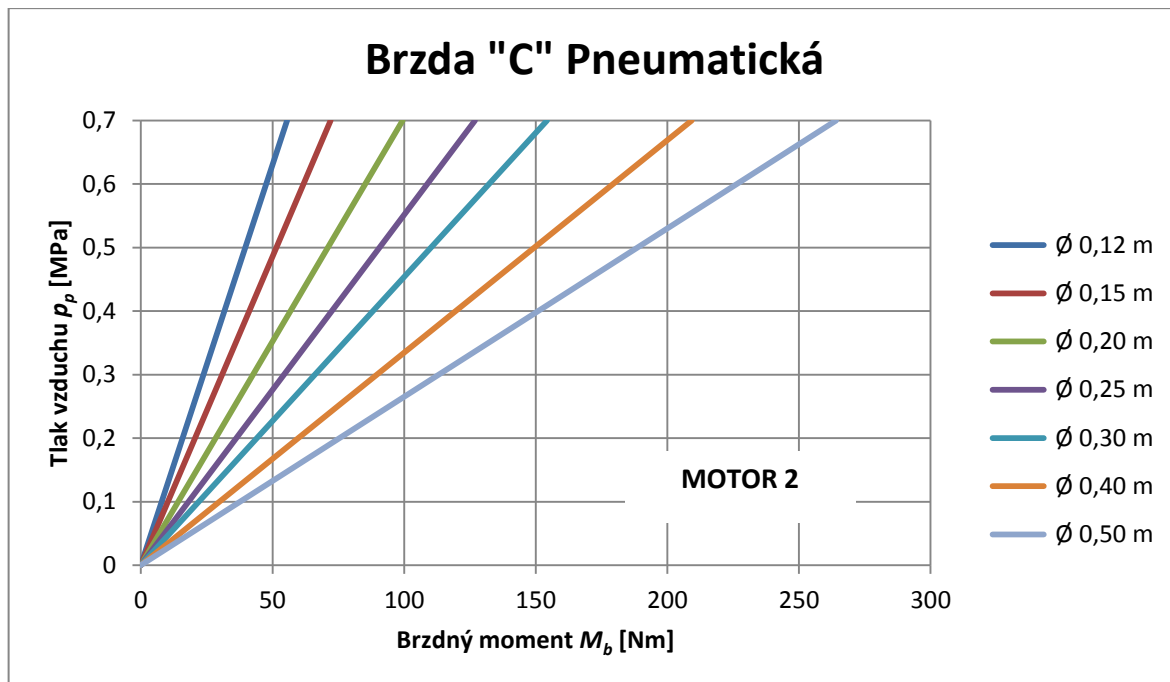
Příloha 1: Data pro určení parametru motoru



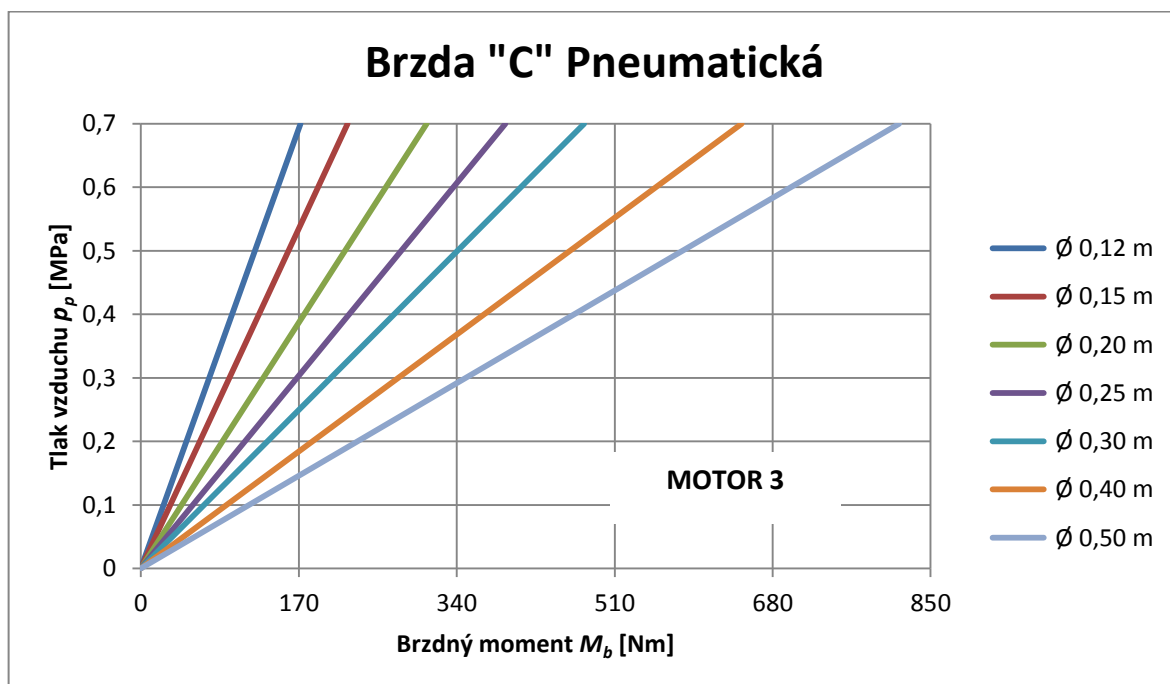
Příloha - obrázek 1: Graf MOTOR 07



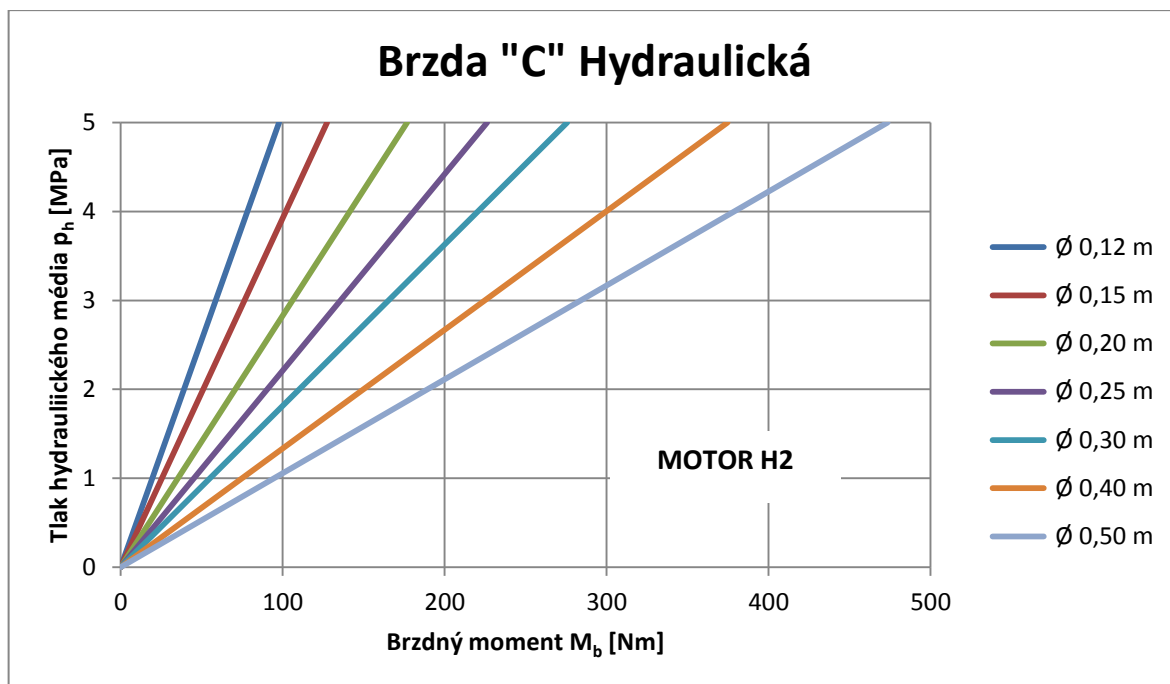
Příloha - obrázek 2: Graf MOTOR 1



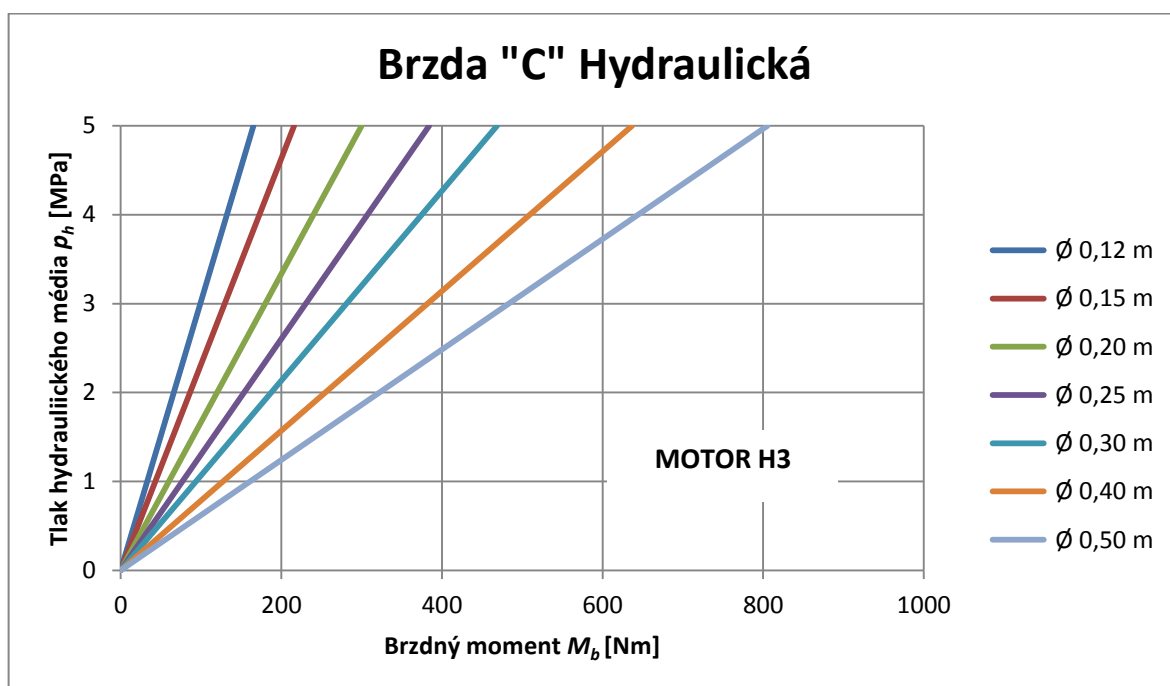
Příloha - obrázek 3: Graf MOTOR 2



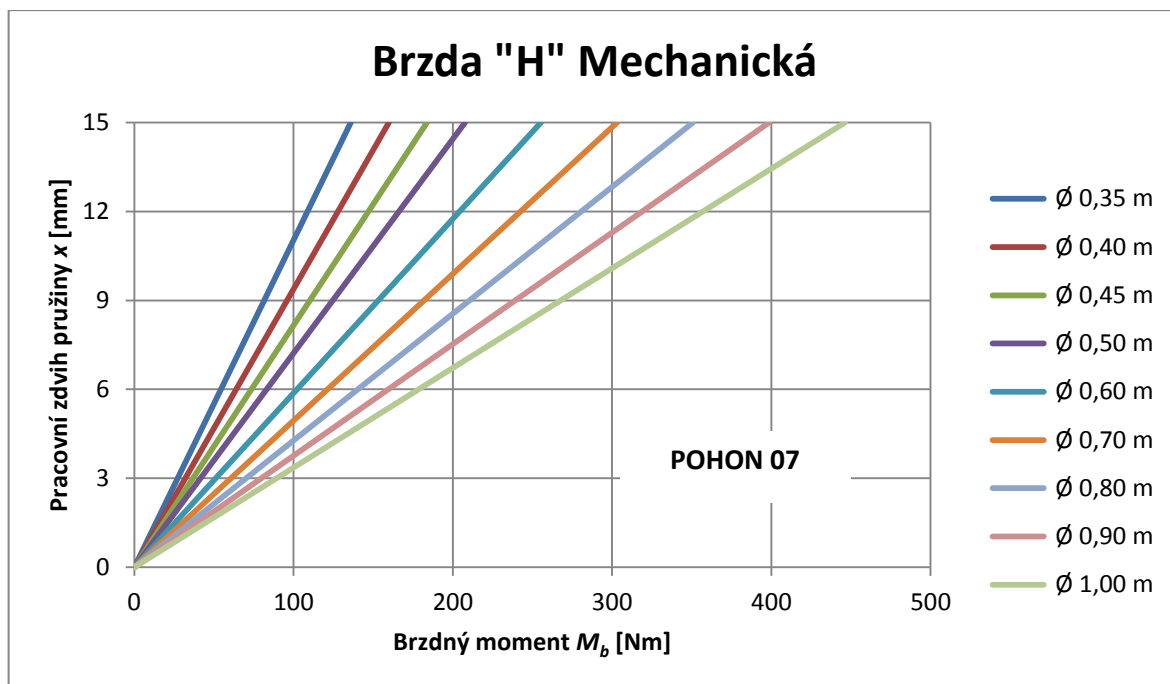
Příloha - obrázek 4: Graf MOTOR 3



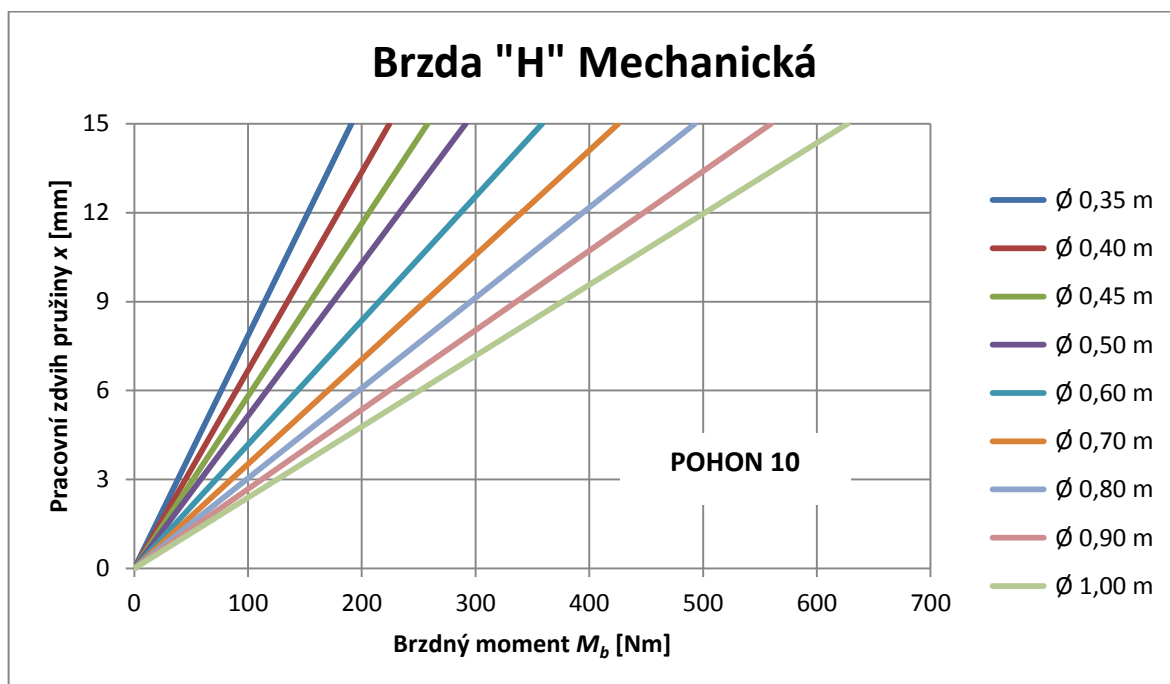
Příloha - obrázek 5: Graf MOTOR H2



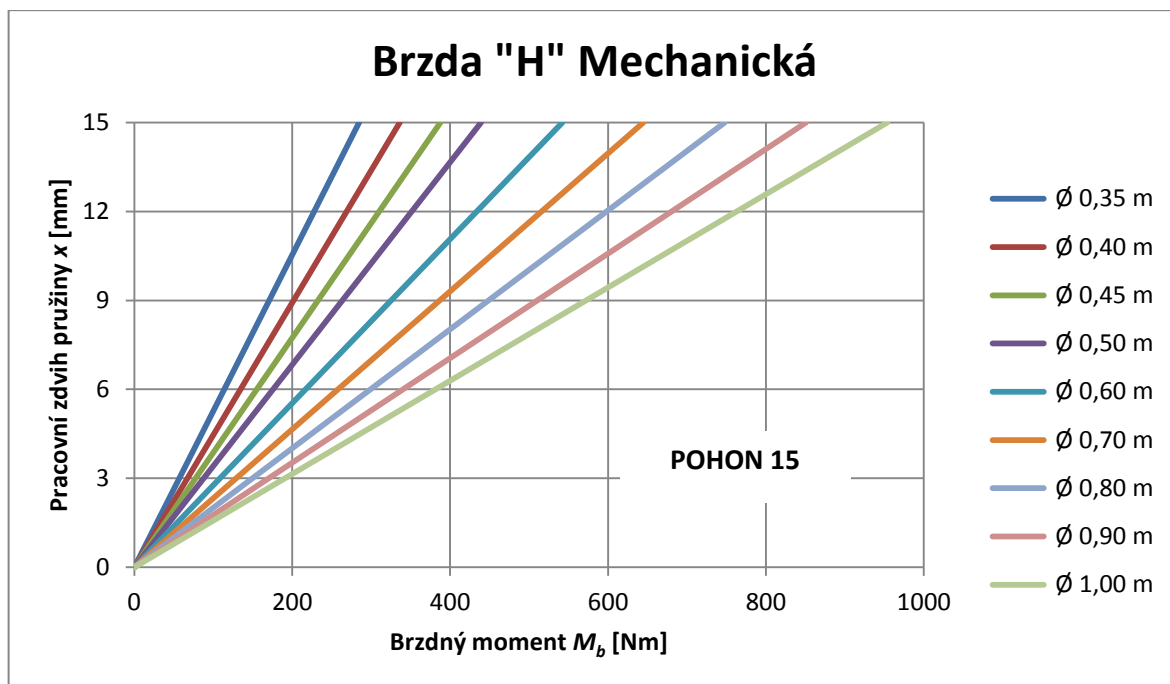
Příloha - obrázek 6: Graf MOTOR H3



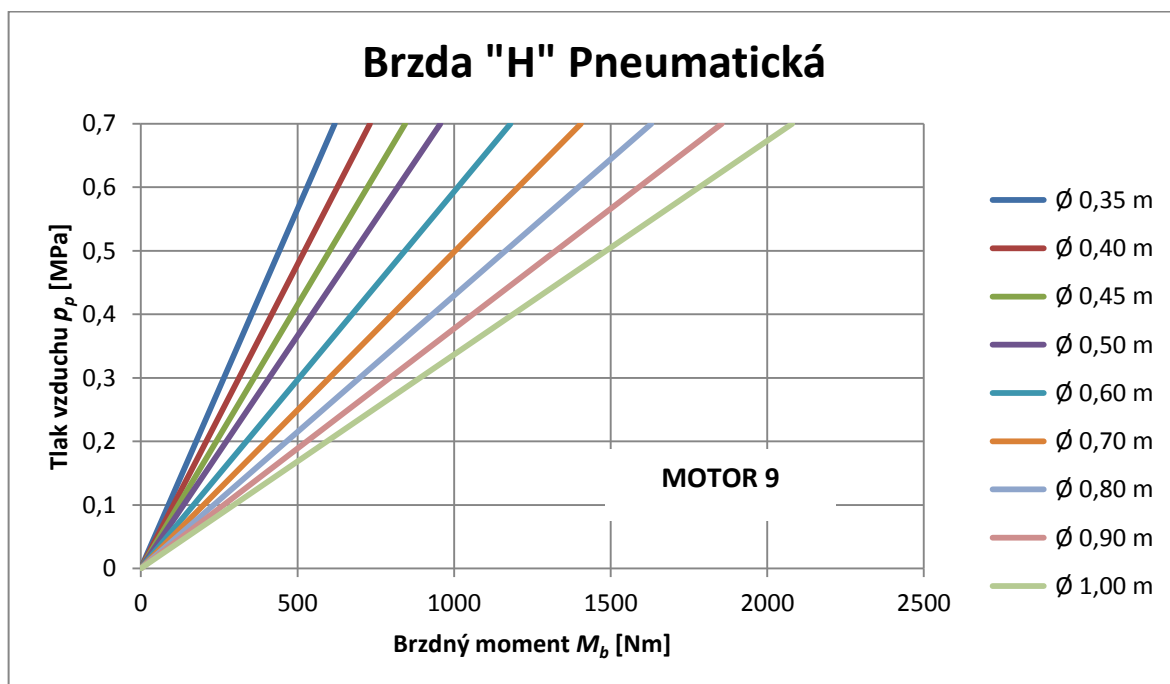
Příloha - obrázek 7: Graf POHON 07



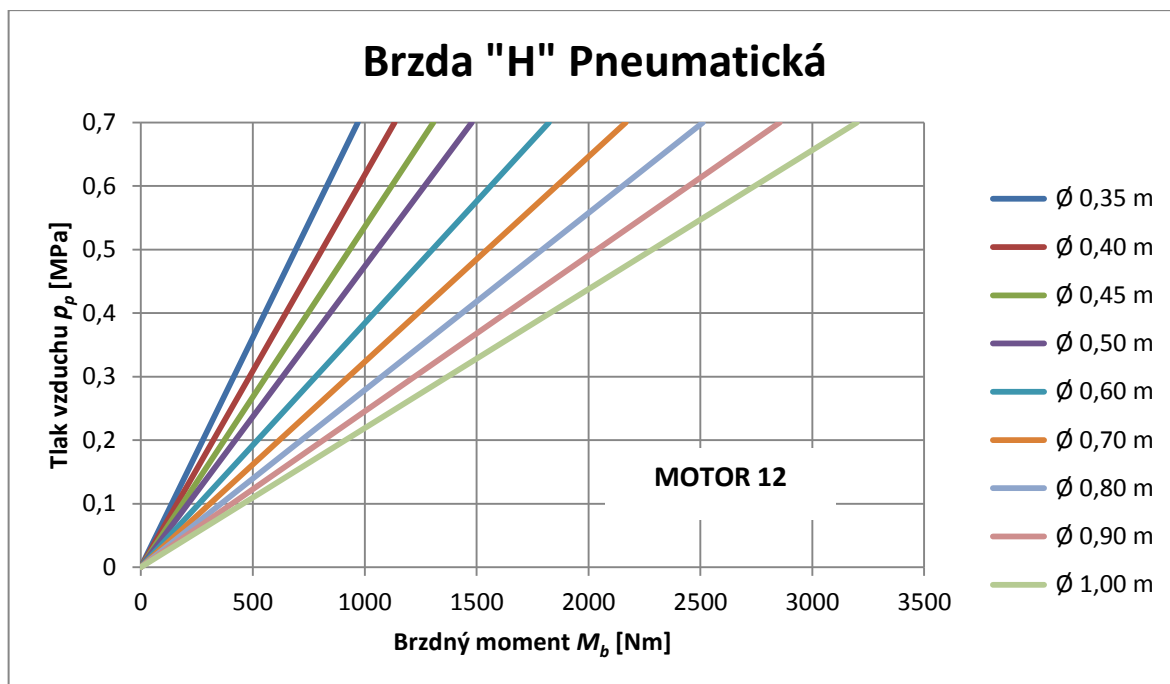
Příloha - obrázek 8: Graf POHON 10



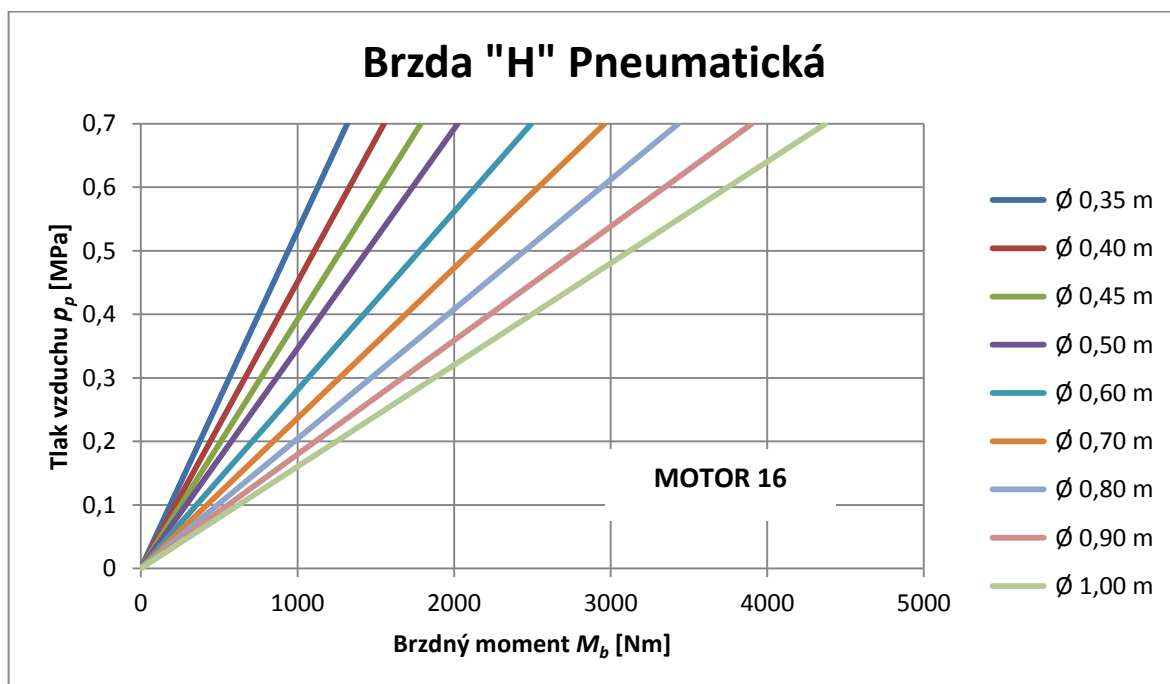
Příloha - obrázek 9: Graf POHON 15



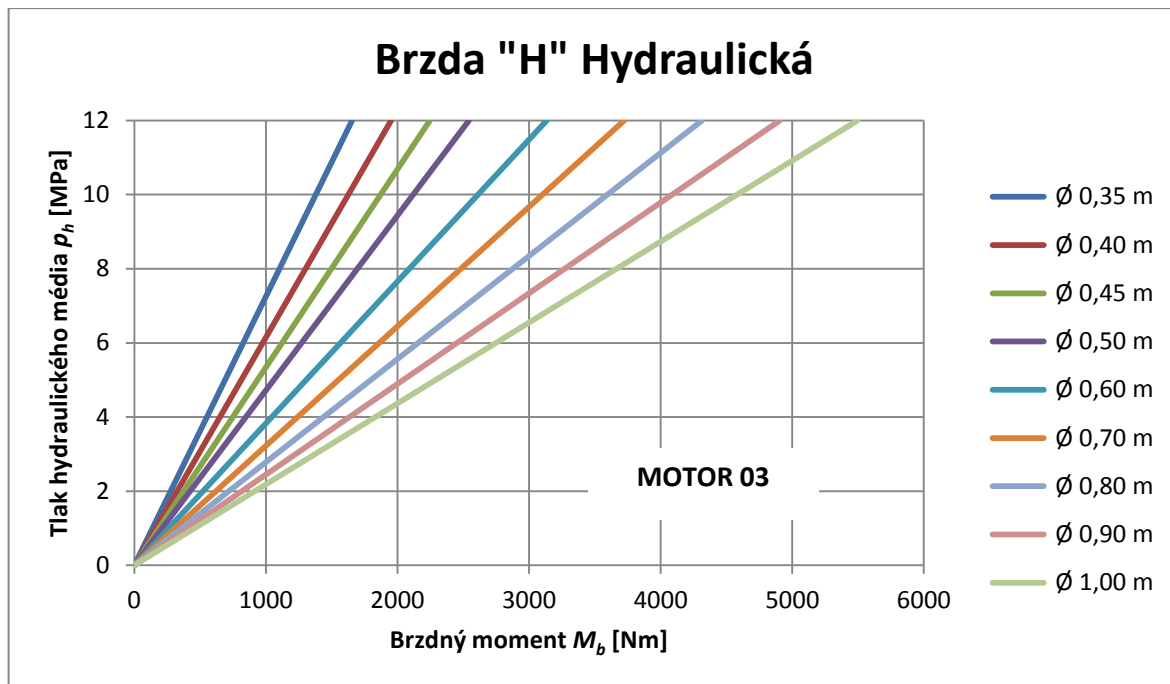
Příloha - obrázek 10: Graf MOTOR 9



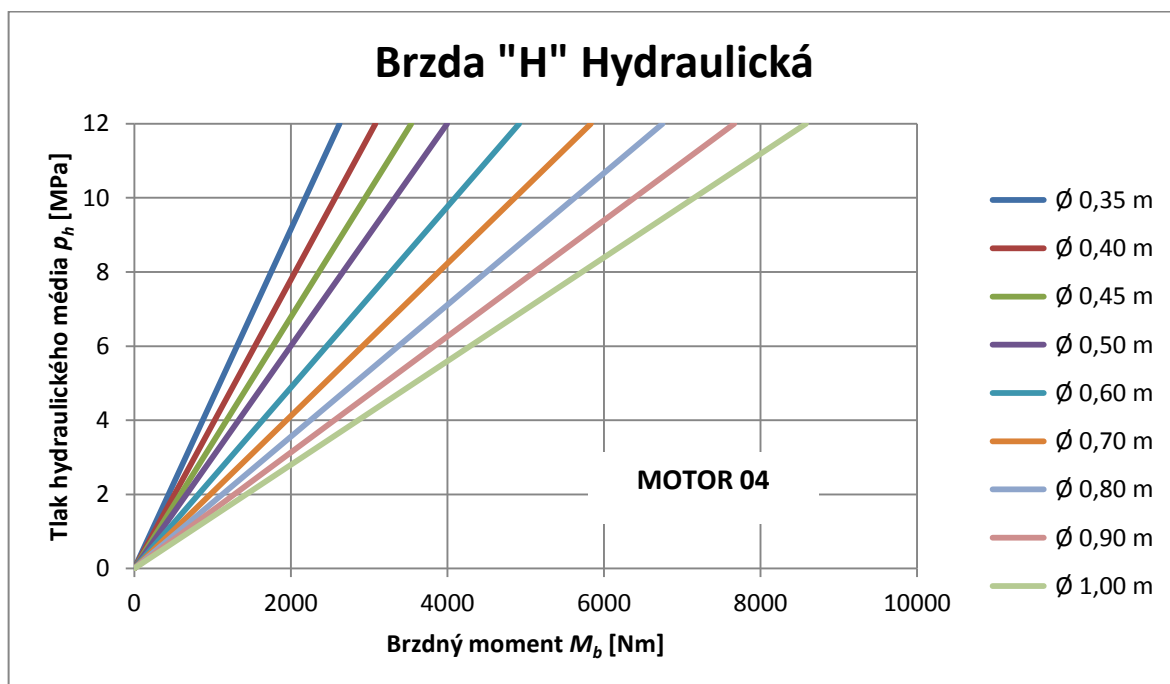
Přiloha - obrázek 11: Graf MOTOR 12



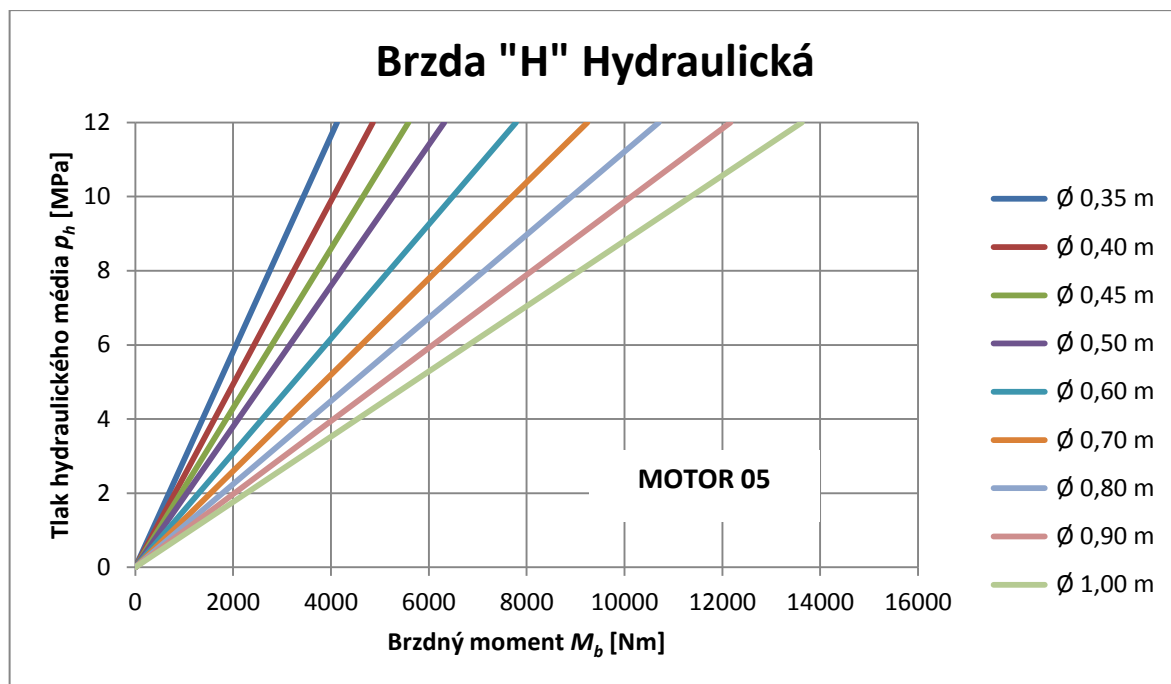
Přiloha - obrázek 12: Graf MOTOR 16



Přiloha - obrázek 13: Graf MOTOR 03



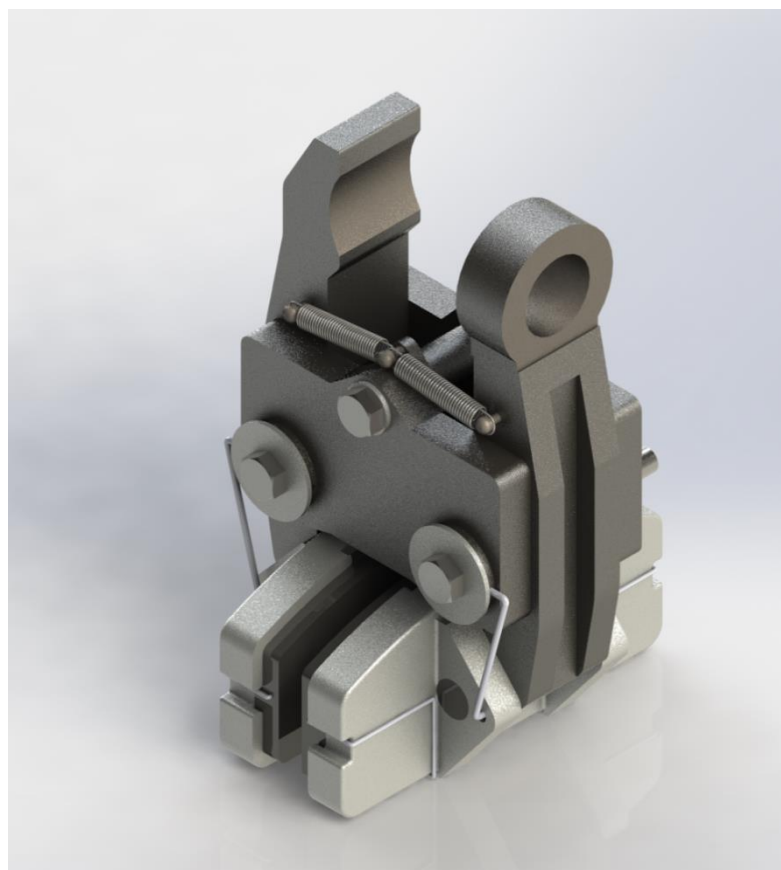
Přiloha - obrázek 14: Graf MOTOR 04



Přiloha - obrázek 15: Graf MOTOR 05

Příloha 2: Manuál k programu Výpočet kotoučových brzd

Výpočet kotoučových brzd



MANUÁL

1. Úvod

Tento program slouží k tepelnému výpočtu brzd, přiřazení typu brzdění a výpočtu jeho parametrů.

2. Postup

1. Zvolte brzdu v poli Výběr brzdy.
2. Zvolte Typ brzdění a z následného zobrazeného seznamu i Pohon.
3. Zvolte Materiál kotouče ze zobrazeného seznamu. Při volbě "Definováno uživatelem", zadejte vlastnosti Vámi zvoleného materiálu.
4. Zadejte Vstupní parametry počítané kotoučové brzdy.
5. Program zobrazí vypočtené hodnoty v poli Výstupní parametry.

Další možnosti:




- Tlačítkem Vymazat hodnoty lze Vstupní parametry vyresetovat.
- Tlačítkem Zákazník přejdete do karty pro definování zákazníka.
- Tlačítkem Uložit uložíte stávající nastavení.
- Tlačítkem K tisku přejdete do karty pro náhled tisku.

3. Legenda

Význam chybových hlášení v poli Výstupní parametry

---	Vypočtené hodnoty přesáhly výpočetní interval <0;10000>
ZADÁNÍ	Není zvolen Typ brzdění a Vstupní parametry jsou neúplné
TYP	Není zvolen Typ brzdění
PARAMETR	Vstupní parametry jsou neúplné
PRŮMĚR	Zvolený průměr kotouče není pro danou brzdu definován
POHON	Zvolený Typ brzdění/Pohon nelze použít

Význam značek

	Lze použít Teplota je v oblasti pracovních teplot materiálu. Kotoučová brzda lze použít.
	Lze použít pouze pro havarijní brzdění Teplota se blíží maximální dovolené teplotě materiálu. Kotoučová brzda lze použít pouze pro havarijní brzdění.
	Nelze použít Teplota přesáhla maximální bezpečnou teplotu materiálu. Kotoučová brzda nelze použít.