



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

ZKUŠEBNÍ KOMORA PRO OZÓNOVOU DEGRADACI PNEUMATIK

TEST CELL FOR OZONE DEGRADATION OF TIRES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ PÍZA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN BRANDEJS, CSc.

BRNO 2008

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá stanovením optimálního způsobu zatěžování pneumatik a dále konstrukčním návrhem zkušební komory pro ozónovou degradaci pryže z pneumatik o rozměrech 13" až 15". Finálním výstupem diplomové práce je konstrukce zkušební komory, která vyplývá právě ze zvoleného optimálního způsobu zatěžování pneumatik. Dalším výstupem diplomové práce je schematický návrh linky pro ozónovou likvidaci pneumatik.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ozónová degradace, ozón, pneumatiky, pryž, zkušební komora, likvidace pneumatik, životní prostředí

SUMMARY

This diploma thesis is occupy by assesment optimum method straining of tyres and then constructional concept of test cell for ozone degradation of rubber tyres with sizes from 13" to 15". The final aim of this diploma thesis is construction of test cell which is based on choice of optimum method straining of tyres. The next output of this diploma thesis is concept of unit for ozone degaradation of tyres.

KEYWORDS

Ozone degradation, ozone, tyres, rubber, test cell, liquidation of tyres, living environment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PÍZA, T. *Zkušební komora pro ozónovou degradaci pneumatik*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 72s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Brandejs, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, za použití uvedené literatury, pod odborným vedením pana Ing. Jana Brandejse, CSc.

V Brně, dne 16.5.2008

.....
Píza Tomáš

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli na vzniku této diplomové práce. Zvláště bych chtěl poděkovat Ing. Janu Brandejsovi, CSc. za jeho odborné vedení při vypracovávání této diplomové práce, za jeho odbornou pomoc a jeho trpělivost při řešení konstrukčních problémů.

OBSAH

Obsah	11
Úvod	12
1 Přehled současného stavu poznání.....	13
1.1 Konstrukce pneumatiky	13
1.2 Materiály potřebné pro výrobu pneumatik	15
1.2.1 Gumárenské směsi	15
1.2.2 Gumárenské kordy	15
1.2.3 Patní lana	16
1.3 Výroba pneumatik.....	16
1.4 Likvidace ojetých pneumatik.....	17
1.4.1 Protektorování	17
1.4.2 Recyklace	18
1.4.3 Spalování.....	20
1.4.4 Chemické zpracování	20
1.4.5 Ozónová degradace pneumatik	20
2 Formulace řešeného problému a jeho technická a vývojová analýza.....	22
3 Vymezení cílů práce	23
4 Návrh metodického přístupu k řešení	24
5 Návrh variant řešení a výběr optimální varianty.....	25
6 Konstrukční řešení	26
6.1 Zkušební stanice	26
6.1.1 Schematický návrh konstrukce zkušební stanice	26
6.1.2 Zhotovená zkušební stanice	28
6.1.3 Výsledky experimentů	29
6.2 Zařízení pro měření sil potřebných k deformaci pneumatiky.....	33
6.2.1 Konstrukce zařízení.....	33
6.2.2 Zhotovené měřicí zařízení	39
6.2.3 Měření sil potřebných pro deformaci pneumatiky	40
6.3 Zkušební komora pro ozónovou degradaci pneumatik.....	50
6.3.1 Základ zkušební komory	51
6.3.2 Spodní kryty komory.....	52
6.3.3 Horní kryty komory.....	53
6.3.4 Víko.....	53
6.3.5 Konzolka	54
6.3.6 Víčko s těsněním	55
6.3.7 Spojka.....	55
6.3.8 Převodový motor.....	56
6.3.9 Ostatní části	56
6.4 Linka pro ozónový rozpad pneumatik	57
6.4.1 Schematický návrh linky - varianta 1	58
6.4.2 Schematický návrh linky - varianta 2.....	61
6.4.3 Schematický návrh linky - varianta 3.....	63
7 Konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení	65
Seznam použitých zdrojů.....	66
Seznam použitých zkratk, symbolů a veličin	68
Seznam obrázků a grafů	69
Seznam tabulek.....	71
Seznam příloh	72

ÚVOD

V automobilovém průmyslu po celém světě stále dochází k prudkému zvyšování počtu ojetých pneumatik a tím vzniká i stále větší problém, jak s těmito pneumatikami dále nakládat. V současné době je snaha s opotřebovanými pneumatikami nakládat tak, aby byly maximálně využity v původní nebo upravené formě a aby také zároveň minimálně ovlivňovaly životní prostředí.

Existuje hned několik způsobů využití opotřebovaných pneumatik. Nejpreferovanějším způsobem recyklace ojetých pneumatik je především drcení nebo sekání pneumatik na drtě, které nachází své využití zejména ve stavebnictví. K dalším způsobům likvidace ojetých pneumatik patří např. spalování, chemické zpracování nebo také protektorování.

U všech způsobů likvidace vyřazených pneumatik je důležitá nejen ekologie ale především i ekonomická stránka daného způsobu. Ekonomie, ekologie a stále se zvyšující množství ojetých pneumatik jsou hlavními faktory, které jsou hnacím motorem pro hledání nových a perspektivních způsobů likvidace pneumatik.

Jedním z nových způsobů recyklace je i rozpad pryže pneumatik pomocí ozónu. Jedná se o novou, stále ještě neprozkoumanou metodu, kterou je ještě potřeba řádně prošetřit, aby byla zjištěna oblast jejího vhodného použití při recyklaci ojetých pneumatik. K tomu by částečně měla posloužit i tato diplomová práce.



1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1

Kapitola udává stručný přehled o výrobě, konstrukci a materiálovém složení pneumatik, dále pak o současných způsobech likvidace použitých pneumatik.

1.1 Konstrukce pneumatiky

1.1

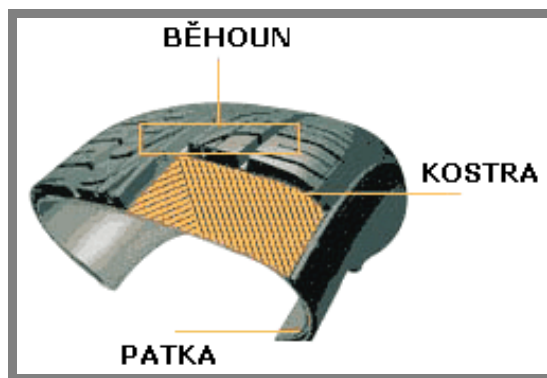
Pneumatika jako celek je tvořena z několika vzájemně neoddělitelných částí, které jsou vyrobeny z různých materiálů. Na každou tuto jednotlivou část jsou kladeny jiné nároky a specifické požadavky, a proto jsou také vyrobeny z různých materiálů. Na Obr. 1-1 je vidět přehled všech základních částí pneumatiky.



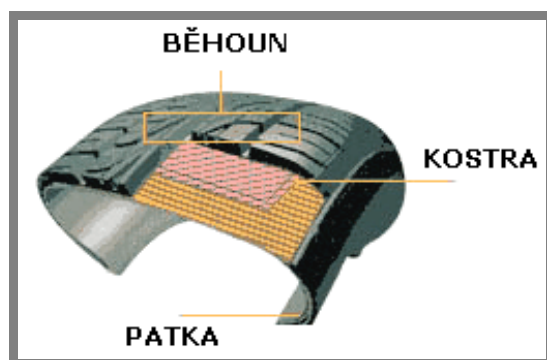
Obr. 1-1 Konstrukce pneumatiky [1]

Vnitřní guma se nachází na vnitřní straně pneumatiky a jejím úkolem je zabránit v úniku vzduchu z vnitřku pláště.

Kostrový materiál hraje velmi důležitou roli v konstrukci pneumatiky z hlediska odolnosti pneumatiky proti tlaku. Kostra je vyrobena z tenkých textilních a kovových vláken, které jsou rovnoběžně zavulkanizovány do pryžového materiálu. Podle namáhání dané pneumatiky je v pneumatice různý počet těchto vrstev kordové tkaniny, které jsou postupně skládány na sebe. Podle způsobu poskládání těchto vrstev rozlišujeme pneumatiky radiální, diagonální nebo smíšené. U diagonálních pneumatik (Obr. 1-2) jsou textilní vrstvy pokládány střídavě šikmo na sebe od jednoho patkového lana k druhému. U radiálních pneumatik (Obr. 1-3) jsou vrstvy s proužky textilu pokládány pod úhlem 90° k vzhledem ke směru otáčení pneumatiky [2,3].



Obr. 1-2 Konstrukce diagonální pneumatiky [3]



Obr. 1-3 Konstrukce radiální pneumatiky [3]

Patní lana vyztužují patky pneumatiky a jejich hlavním úkolem je držet pneumatiku na ráfku kola.

Jádro pneumatiky slouží jako postupný přechod mezi tuhou patkou a elastickou bočnicí pneumatiky. Jádro zajišťuje boční tuhost pneumatiky a přenos sil v příčném směru.

Výztužný pásek má za úkol především zpevnění oblasti přechodu mezi boční stěnou a patkou.

Ochranný patní pásek musí zajišťovat pevné a zároveň těsné spojení s ráfkem. Dalším úkolem ochranného patního pásku je ochrana patky před erozí v místě, kde dochází ke styku s ráfkem.

Bočnice musejí být odolné především proti ohybu a také proti stárnutí. Funkcí bočnic tedy je ochrana kostry před vnějšími vlivy. V místě dotyku pneumatiky s ráfkem je vyztužena tvrdší pryžovou směsí.

Nárazníky jsou tvořeny pevnými ocelovými lanky, která jsou uložena mezi vrstvami pryžové směsi. Nárazník obepíná pneumatiku po celém jejím obvodu a má za úkol zachovávat její průměr za jakýchkoliv podmínek. Proto musí mít dostatečnou obvodovou pevnost, aby nedocházelo k jeho natažení. Nárazníky ale musejí být schopny odolávat i příčným silám vyvolaným změnou směru jízdy.

PA nárazník neboli bandáž slouží jako výztuha spodní části běhounu. Tento nárazník má za následek především snížení valivého odporu pneumatiky.

Běhoun je část pneumatiky, která přichází do kontaktu s povrchem vozovky. Je opatřena vzorkem a musí mít vysokou odolnost proti tlaku a opotřebení a v neposlední řadě také odolnost proti zahřívání [2].

1.2 Materiály potřebné pro výrobu pneumatik

1.2

1.2.1 Gumárenské směsi

1.2.1

Nejdůležitějším materiálem při výrobě pneumatik jsou gumárenské směsi. Gumárenské směsi jsou směsi ze základního kaučuku a přídavných modifikátorů. Modifikátory jsou tekuté nebo tuhé přísady usnadňující zpracování kaučuku nebo upravující jeho vlastnosti podle požadavků, které jsou na výslednou gumárenskou směs kladeny. Jsou to především regeneráty, vulkanizační činidla, urychlovače vulkanizace, aktivátory, retardéry, antidegradanty, změkčovadla, plastifikační činidla, plniva, pigmenty a další zvláštní přísady.

Kaučuky pro výrobu pneumatik mohou být buď přírodní nebo syntetické. Přírodní kaučuk je elastomer, který se získává z kaučukodárných rostlin především pak z kaučukovníků. Je tvořený dlouhými řetězci polymeru s velmi dobrými mechanickými vlastnostmi. V dnešní době je ale nedostatečná produkce přírodního kaučuku, a proto se využívá kaučuk syntetický, který nahrazuje použití kaučuku přírodního. Syntetické kaučuky se získávají z ropy a existuje jich celá řada a každý z nich má své speciální vlastnosti podle účelu použití (např. pružnost při nižších teplotách, odolnost proti olejům).

Regenerát je získáván z opotřebovaných pryžových výrobků a lze ho vulkanizovat a zpracovávat podobně jako kaučuk. Používá se jako přísada do směsí přírodních nebo syntetických kaučuků.

Vulkanizační činidla jsou látky, které umožňují příčné zesíťování dlouhých řetězců kaučuku. Nejpoužívanějším vulkanizačním činidlem je především síra.

Urychlovače vulkanizace mají za úkol zkrácení doby vulkanizace na co nejkratší dobu tím, že usnadňují chemickou reakci mezi kaučukem a sírou a také snížením vulkanizační teploty.

Aktivátory zvyšují účinnost urychlovačů vulkanizace při vulkanizaci. Jako aktivátory se používají hlavně oxidy některých kovů a mastné kyseliny.

Retardéry zabráňují samovolné vulkanizaci při zpracování a také při skladování směsi tím, že potlačují účinek urychlovačů v počáteční fázi vulkanizace.

Antidegradanty jsou sloučeniny zabráňující stárnutí (samovolné degradaci) pryže, které způsobuje vzdušný kyslík, ozón nebo také dynamické namáhání pryže.

Změkčovadla se přidávají za účelem usnadnění válcování, lisování a vstřikování hotových gumárenských směsí.

Plastifikační činidla umožňují lepší zpracovatelnost urychlením odbourávání dlouhých molekul kaučuku.

Plniva snižují spotřebu kaučuku a nejvíce ze všech přídavných látek upravují požadované mechanické vlastnosti hotové pryže.

Pigmenty jsou látky, které vytvářejí požadované výsledné zbarvení pryžové směsi [4].

1.2.2 Gumárenské kordy

1.2.2

Gumárenské kordy jsou buď tkaniny z viskózových, polyamidových a polyesterových vláken nebo z oceli [4].

1.2.3 Patní lana

Patní lana se splétají z ocelových drátů, které jsou kvůli lepší přilnavosti k pryži, potaženy vrstvou mosazi [4].

1.3 Výroba pneumatik

Výroba pneumatik je složitý proces, který se dá rozdělit na několik základních výrobních etap. První z nich je výroba hlavního materiálu pro výrobu pneumatik – pryže. Při výrobě pláště se používá několika druhů pryžové směsi, které se od sebe liší obsahem různých typů aditiv v kaučuku.

Další etapou je výroba pogumovaného kordu. Jednotlivá vlákna tkaninového kordu od sebe jsou oddělena pryžovou směsí, která zabraňuje jejich vzájemnému tření.

Další částí jsou běhouny a bočnice, které se skládají z několika druhů pryže. Běhouny jsou ze základní pryžové směsi s podílem sazí. Vnější část běhounu, která bývá ve styku s vozovkou, má pak složení dané použitím pneumatiky. Okraje běhounového pásu jsou vyrobeny z bočnicové směsi. Bočnice je také složena ze dvou druhů pryžové směsi. Její vnitřní část je vyrobena z tužší směsi a vnější část naopak z pružnější směsi.

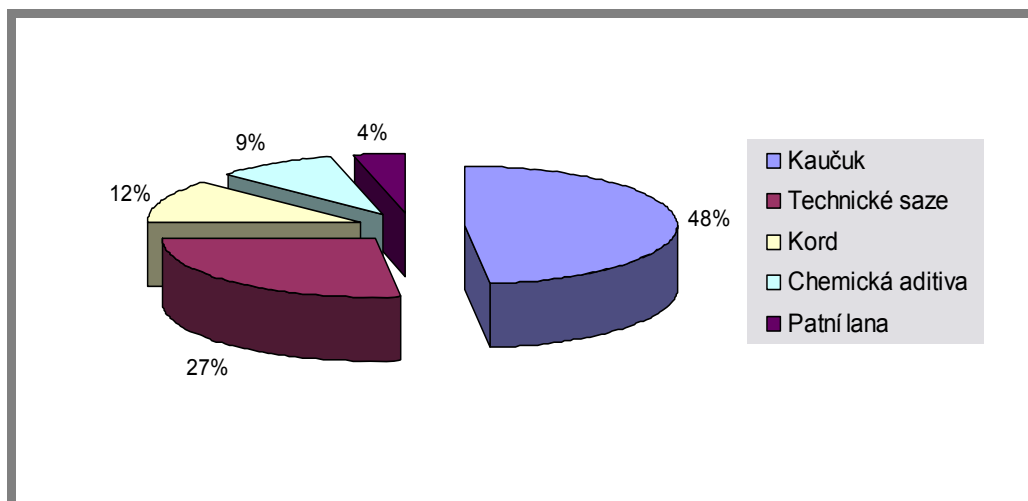
Nárazníky jsou tvořeny překříženými pogumovanými ocelovými kordy. Mezi běhounem a nárazníkovým pásem bývá někdy další vrstva z polyamidového pogumovaného kordu.

Patní lana se vyrábí jako prstenec čtyř pogumovaných lanek vedle sebe, které se následně rozdělí na čtyři jednotlivá lana. Vyrobi se tak najednou čtyři patní lana pro dva pláště.

Následuje vzájemné zkompletování všech komponent dohromady. Kordová vložka se nalepí na vnitřní gumu, z boku se narazí patní lana a přes lano se přehne kordová vložka a přidají se bočnice. Dále se položí polyamidový nárazník a běhoun na ocelový kord. Následným zaválením všech komponent vznikne surový plášť [4].

Takto zkompletovaný surový plášť se dokončí zvulkanizováním v lisu. Vulkanizace je proces, při kterém za působení tepla a tlaku vznikají prostorově zesíťované struktury. Při vulkanizaci dochází ke vzájemnému spojování původních molekul kovalentními vazbami a vlastnosti kaučukové směsi se změni z plastických na převážně elastické. Lisovací forma, do které se vkládá surový plášť, má negativní tvar budoucí pneumatiky. Podle rozměrů dané pneumatiky pak výše zmíněná vulkanizace probíhá cca 10 minut při teplotě 175°C [4,5].

Přibližné materiálové složení vyjádřené v procentech celkového objemu hotové pneumatiky je pak znázorněno na Obr. 1-4 [4].



Obr. 1-4 Graf materiálového složení pneumatiky [4]

1.4 Likvidace ojetých pneumatik

1.4

Po ukončení své životnosti se pneumatiky stávají odpadem, pro který je potřeba nalézt odpovídající využití. Nejlepší variantou využití ojetých pneumatik je jejich zpětné navrácení do životního cyklu a to buď protektorováním celých pneumatik, nebo použitím částí pneumatik jako suroviny pro gumárenské směsi. Dnes již existuje velké množství technologií, zabývajících se likvidací pneumatik. Jednotlivé technologie se od sebe liší nejen technologickými a ekologickými podmínkami ale i možným dopadem na životní prostředí. Dnešní výzkumy se zabývají především hledáním nových technologií likvidace pneumatik s důrazem na zvyšování podílů zpětného materiálového využití pneumatik [4].

1.4.1 Protektorování

1.4.1

Protektorování je z ekologického hlediska nejvhodnější způsob nakládání s pneumatikami. Zde je ale omezujícím faktorem stárnutí pneumatik, kdy se pneumatiky po 6 - 7 letech stávají nevyhovující z hlediska bezpečnosti. Tato metoda je vhodná především pro pneumatiky nákladních automobilů, které se díky dennímu provozu opotřebí ve velmi krátké době a stárnutí u nich projeví jen částečně.

Existuje několik způsobů protektorování. Nejpoužívanější je tzv. studené protektorování, při kterém dochází k obnově běhounu pneumatiky. Vulkanizace běhounové části probíhá za teploty nižší než je běžná teplota vulkanizace gumárenských směsí a tím nedochází k tepelné degradaci materiálu pneumatik. Dezén pneumatik dosahuje stejných výkonů jako na nové pneumatice. Cena studeného protektoru je zlomkem ceny nové pneumatiky, což je ekonomicky velmi výhodné.

Prvním krokem při protektorování pneumatik je drásání a broušení na speciálních strojích, stříkání vulkanizačním cementem a opravy pomocí vložek. Na připravenou plochu se položí nový dezén se spojovacím materiálem. Posledním krokem je vulkanizace pneumatiky s novým dezénem v autoklávu [4].

1.4.2 Recyklace

Recyklace pneumatik je regeneračním procesem, který se dá rozdělit do dvou procesů. V prvním z nich dochází k transformaci pneumatik (fyzikální, chemické, termální, biologické) na širokou škálu znovu-zpracovatelných materiálů. Druhým procesem je pak vlastní využití těchto získaných recyklátů. Současné technologie recyklace můžeme rozdělit přibližně do čtyř úrovní [4].

Úroveň 1

Zde probíhá mechanická destrukce (rozřezáním, slisováním, rozsekáním nebo dezintegrací) pneumatiky na různě velké kousky pryže, které se většinou využívají jako vstupní surovina do dalších procesů. Nebo se z celých či nařezaných částí pneumatik odstraní dráty a poté se slisují do balíků. Takto upravené pneumatiky se pak používají na stavbách, při posilování břehů, na protihlukové bariéry apod. [4].

Úroveň 2

Tuto úroveň lze rozdělit do dvou podúrovní, kde se celé nebo části pneumatiky podrobují dezintegraci.

V podúrovni 2A se pneumatiky krájí, řezou nebo šrotují pomocí nožů většinou bez odstraňování kovových částí. Úlomky jsou nepravidelného tvaru o rozměrech od 50 do 300mm. Kusy pneumatik tzv. řízky (od 10 do 50mm), které se připravují řezáním, se používají buď ve stavebnictví (např. zásyp jam, lehké výplně, izolační materiály) nebo jako materiál pro další zpracování.

V podúrovni 2B dochází k dalšímu rozměňování buď za normální teploty nebo kryogenní metodou. Za normální nebo zvýšené teploty je pneumatika rozřezávána systémem nožů. Na Obr. 1-5 je vidět ukázka mlecího stroje firmy KAHL. Poté následuje granulace v granulátorech. Kovy se separují během granulace magnetickým způsobem. Vzniklý produkt je proséván řadou sít, kde se zbavuje nečistot a kde se třídí podle velikosti. Vyfoukáním vzduchem se nakonec odstraní kousky textilu. U kryogenní metody je materiál ochlazen kapalným dusíkem (-80 až -120°C), aby došlo ke zkrěnutí pryže. Pryž se poté snadno láme a snadno z ní lze oddělit kovy a vlákna. Výsledný produkt se používá např. na materiály pro plachty, dlažby, povrchy hřišť, plno-hmotná kola [4].



Obr. 1-5 Mlecí stroj firmy KAHL [6]

Úroveň 3

Zde se využívají produkty z úrovně 2. Patří sem zejména regenerace pryže a pyrolýza.

Při regeneraci pryže je pryž nejprve plastifikována – částečná destrukce pryže za termálního a mechanického působení. Výhodou tohoto recyklátu je schopnost modifikace při dalším zpracování.

Při pyrolýze dochází k zahřívání za nepřítomnosti kyslíku, při kterém dochází k rozkladu pryže na oleje, tuky, pryž a plyny. Vzniklý pyrolytický dehet lze použít jako náhražka uhlíkové černi nebo se dále zpracovává na úrovni 4.

Produkty z úrovně 3 se používají např. na hadice, na materiály povrchů vozovek, přísady do asfaltů, těsnicí materiály, ucpávky a izolace [4].

Úroveň 4

Zde se provádí modifikace a rafinace produktů z úrovně 3. Patří sem zejména zpracování pyrolytického dehtu a výroba termoplastických elastomerů (TPE).

Pyrolytický dehet se upravuje mechanickou separací, fyzikálně-chemickým zpracováním, které upravuje velikost částic, a odstraňováním nečistot. Zmenšování velikosti částic (až pod 30 μ m) se provádí pomocí rezonanční dezintegrace, která je výhodnější než drcení nebo mletí v mlýnech.

Pro výrobu termoplastických elastomerů se používají granule recyklovaného materiálu a termoplastický polypropylen (TPE-PP). TPE vznikají vulkanizační směsí tavenin. Požadované výsledné vlastnosti elastomeru jsou dosahovány přidáváním aditiv.

Materiály z úrovně 4 se používají jako přísady do asfaltů, nátěrové hmoty, těsnicí hmoty, tiskové barvy, spotřební zboží a další [4].

1.4.3 Spalování

Díky vysoké výhřevnosti (cca 30MJ.kg^{-1}) se vyřazené pneumatiky v některých zemích používají jako palivo. Děje se tak zejména v elektrárnách, teplárnách nebo cementářských pecích. Jako palivo lze použít pneumatiky celé nebo upravené, které mají vyšší výhřevnost.

Při spalování v cementárnách přispívá obsah oceli v pneumatikách ke zlepšení kvality cementu a navíc zde nevzniká prakticky žádný zbytkový popel. Při použití kvalitních technologií pro zachytávání emisí jde o velmi efektivní využití ojetých pneumatik s minimálním dopadem na životní prostředí. Lze takto zpracovávat i pneumatiky větších rozměrů nebo s nevhodnou strukturou pryže, které nelze zpracovávat jinými způsoby [4].

1.4.4 Chemické zpracování

Je to poměrně nová metoda, kdy na pneumatiky působí 40% roztok Na OH při teplotě 400°C a tlaku 4MPa. Pneumatika se takto rozpustí cca za 15 minut a produktem je olejová směs uhlovodíků s dlouhými řetězci.

Další metodou je nová biotechnologická metoda, kdy se materiál z pneumatik v kyselém prostředí o teplotě 70°C smíchá s vhodnými mikroorganismy. Vazby C-S jsou narušovány mikroorganismy a materiál se tak stává znovu-použitelný [4].

1.4.5 Ozónová degradace pneumatik

Jedná se o nový způsob recyklace pneumatik. Pneumatiky se nemusí nijak upravovat mletím, sekáním, lámáním nebo termickým zpracováním a z toho vyplývají i daleko menší energetické nároky, které jsou potřeba např. u lisů nebo drtičů, které potřebují cca 300kW oproti lince na ozónovou degradaci pneumatik, která potřebuje 40 – 60kW.

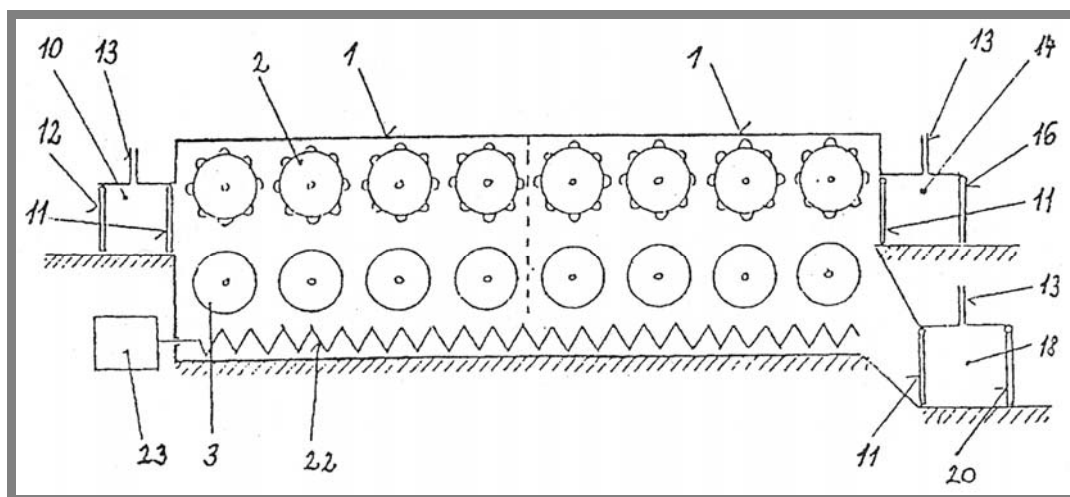
Princip metody spočívá v nabourávání dvojných vazeb v pryži ozónem a tím dochází k postupnému rozpadu pneumatiky. Pneumatiky sice obsahují antiozonanty a antioxidanty, které zpomalují tento proces, ale zcela ho nezastavují. V praxi tak pneumatiky podléhají stárnutí působením vzdušného ozónu a po určitém čase se rozpadají.

Tohoto efektu se využívá právě u této metody. Pneumatiky jsou vystavovány vysoce koncentrované ozónové atmosféře a tím dochází k rychlému rozpadu pryže. Zůstávají jen rozpadlé kousky pryže a kovová kostra pneumatiky. Pneumatiky musejí být mechanickým způsobem namáhány a musí na ně působit pouze určité množství ozónu podle objemu pneumatiky, proto je potřeba pneumatiky třídit podle velikosti a objemu. Vzniklá drť se pak třídí v sítích podle velikosti.

Vzniklá drť se používá na výrobu dlaždic, rohoží, protihlukové stěny nebo jako plastifikátor do povrchů vozovek. Nejmenší částice rozpadlé pryže (0 - 1mm), které tvoří přibližně 40% vzniklé drti, se používají jako sorbenty. Velkou výhodou tohoto materiálu je jeho pórovitost, která se pohybuje v řádech nanometrů. To zvyšuje sorpční schopnost a s výhodou se dá používat také jako pojivo [7].

V současné době existuje v Lanškrouně prototyp linky pro recyklaci pneumatik pomocí ozónu [8,9]. Jedná se o plynotěsnou komoru (Obr. 1-6), ve které jsou v řadě umístěny horní válce a spodní protiběžné válce. Mezi dvojicemi válců jsou vždy

mezery pro pneumatiky. Jedna sada válců je pevná a druhá sada válců je vertikálně přitlačně pohyblivá. Proces v komoře probíhá kontinuálně. Touto linkou za hodinu projde 300 kg pneumatik. Z toho vzniká 40% sorbentu (cca 120 kg/hod). Sorbenty na rozdíl od pryžových granulátů mají plně otevřený trh. Celkové náklady na likvidaci jednoho kilogramu pneumatik se pohybují okolo 5Kč [7,9]. Tato linka však nefunguje přesně podle představ a dochází zde k problémům, které je potřeba pomocí mnoha testů a zkoušek ještě odstranit.



Obr. 1-6 Schéma linky [9]

Legenda:

- 1 - plynotěsná komora
- 2 - řada horních válců
- 3 - řada spodních válců
- 10 - vstupní komora
- 11 - vnitřní odklopný uzávěr
- 12 - vstupní odklopný uzávěr
- 13 - přívod plynu (ozónu)
- 14 - výstupní prostor
- 16 - výstupní odklopný uzávěr
- 18 - výsypka
- 20 - výstupní odklopný uzávěr
- 22 - šnekový dopravník
- 23 - motor s převodovkou

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

Ozónová degradace pneumatik je nový a stále ještě dostatečně neprozkoumaný způsob likvidace ojetých pneumatik. Principem metody je nabourávání dvojných vazeb v pryži ozónem, čímž dochází k postupnému rozpadu pneumatiky. Pneumatiky však musí být během působení ozónu mechanicky zatěžovány. Tím, že je pneumatika podrobena mechanickému namáhání, dochází k jejímu velmi rychlému postupnému rozpadu. Ne každý typ namáhání je však pro rychlý rozpad pryže stejně vhodný. Proto je potřeba zjistit, při jakém typu namáhání se pneumatiky budou nejlépe a nejrychleji rozpadat. Je tedy potřeba navrhnout optimální způsob namáhání pneumatik a následně pak experimentálně ověřit na speciálních zkušebních zařízeních vhodnost zvoleného typu namáhání.

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

3

Cílem této diplomové práce je stanovení optimálního způsobu zatěžování pneumatik v ozónové atmosféře, při kterém se pneumatiky budou nejlépe rozpadat.

K tomuto účelu je zapotřebí zkonstruovat speciální zkušební zařízení, na kterém se budou provádět zkoušky rozpadu ojetých pneumatik. První zkušební zařízení bude určeno ke zkouškám na malém segmentu pneumatiky. Z výsledků těchto zkoušek dále bude navrhnut optimální způsob zatěžování celých pneumatik. Podle zvoleného typu namáhání pak bude potřeba zjistit velikosti sil, které budou potřeba k deformaci pneumatik. Proto bude potřeba zkonstruovat zkušební zařízení, na kterém bude možno provádět měření na pneumatikách za účelem zjištění velikosti těchto deformačních sil. Podle výsledků měření pak bude navržena zkušební komora pro ozónovou degradaci pneumatik. V této komoře se budou provádět zkoušky rozpadu celých pneumatik. Komora bude určena pro zkoušky na pneumatikách o rozměrech 13“ až 15“. Podle výsledků těchto zkoušek pak bude možno posoudit vhodnou oblast použití této metody pro likvidaci pneumatik.

Dalším cílem této diplomové práce je návrh linky pro ozónovou likvidaci pneumatik. Tato linka bude v podobě boxu, ve kterém bude probíhat rozpad vždy jen jedné pneumatiky. Linka bude sloužit také jako zkušební zařízení, kterou se prokáže použitelnost navrhnutého principu namáhání při sériové likvidaci pneumatik. Návrh této linky bude řešen pouze schematicky a nebudou v něm do detailu řešeny konstrukční uzly.

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

Ke zjištění nejvhodnějšího způsobu namáhání bylo potřeba navrhnout zkušební stanici. V té následně několika zkouškami na segmentu pneumatiky bylo zjištěno, jaký způsob mechanického namáhání pro ozónovou degradaci pryže je nejvhodnější. Výroba této zkušební stanice a následné zkoušky byly provedeny ve firmě PROCON v České Lípě.

Podle experimentálně získaných faktů bylo zvoleno optimální zatěžování pneumatik pro ozónovou degradaci. Velikosti sil potřebných k mechanickému zatěžování pneumatik byly zjišťovány na speciálně navrženém zkušebním zařízení. Toto zařízení bylo určeno pouze k tomuto účelu a bylo na něm provedeno pouze několik málo zkoušek. Proto její provedení mělo být co možná nejjednodušší a nejlevnější. K její výrobě bylo použito klasických profilů z běžných konstrukčních materiálů. Výroba tohoto zařízení a následné měření bylo provedeno v dílnách Ústavu konstruování.

Na základě naměřených hodnot bude navržena zkušební komora pro ozónový rozpad celých pneumatik. Pro lepší představivost celé komory bude komora navrhována a postupně konstruována za použití 3D softwaru Autodesk Inventor 2008. Komora tedy bude navržena jako 3D digitální model. Konečná vyhodnocení provedených zkoušek už však již nebudou součástí této diplomové práce.

Za předpokladu, že by se provedenými zkouškami prokázalo, že se jedná skutečně o vhodný způsob zatěžování pneumatik, bude dalším úkolem této diplomové práce návrh linky pro likvidaci pneumatik pomocí ozónu. Tato linka bude navržena pouze schematicky bez výkresů či 3D digitálních modelů.

Nejdůležitějším aspektem všech konstrukčních návrhů bude především co nejlevnější výroba daných zařízení a dále také co nejsnazší průběh prováděných zkoušek.

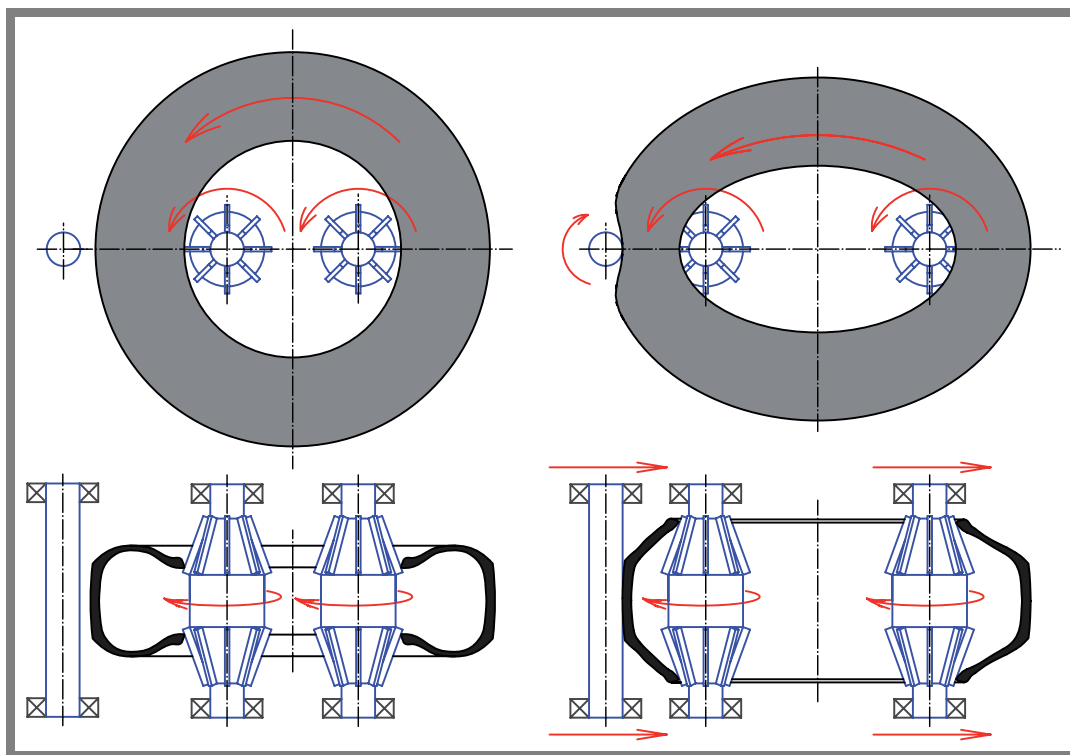
5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

5

Ze zkoušek provedených ve zkušební stanici [10] bylo zjištěno, že pneumatiky se nejvíce a nejrychleji rozpadají v místech, kde docházelo k největšímu namáhání pryže pneumatik. Pneumatiky tedy musejí být namáhány nejlépe tahovým nebo ohybovým napětím. Při těchto druhích zatěžování dochází na povrchu pneumatiky ke vzniku pórů, do kterých následně může vnikat ozón a tím dochází k vlastnímu velmi rychlému rozpadu pryže pneumatik.

Proto bylo potřeba navrhnout takový způsob namáhání celých pneumatik, který by zajistil, aby docházelo na co největší části povrchu pneumatiky k těmto typům namáhání.

Podstata zvoleného namáhání pneumatiky je vidět na Obr. 5-1. Jedná se o dvě rovnoběžně uložené hřídele, které jsou provlečeny vnitřkem pneumatiky. Hřídel nalevo je rotačně uložený a nemůže se pohybovat v radiálním směru. Hřídel napravo je také rotačně uložený a navíc se ještě může posouvat v radiálním směru, čímž dochází deformaci pneumatiky a jejího protahování do eliptického tvaru. V pneumatice tak vzniká požadované tahové napětí. Hřídel, který není pohyblivý v radiálním směru je navíc ještě poháněna a tím točí celou pneumatikou okolo obou dvou hřídelů. Hřídele mají kuželová osazení, na kterých jsou navařena plechová žebra, která zabraňují prokluzu pneumatiky po povrchu hřídele. Kuželová osazení způsobí roztahování pneumatiky i do svých stran. Tím se dosáhne toho, že všechny části pneumatiky jsou dynamicky namáhány. Při statickém zatěžování za působení ozónu by docházelo k pomalému případně žádnému rozpadu pryže.



Obr. 5-1 Schematické zobrazení principu namáhání pneumatiky

6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

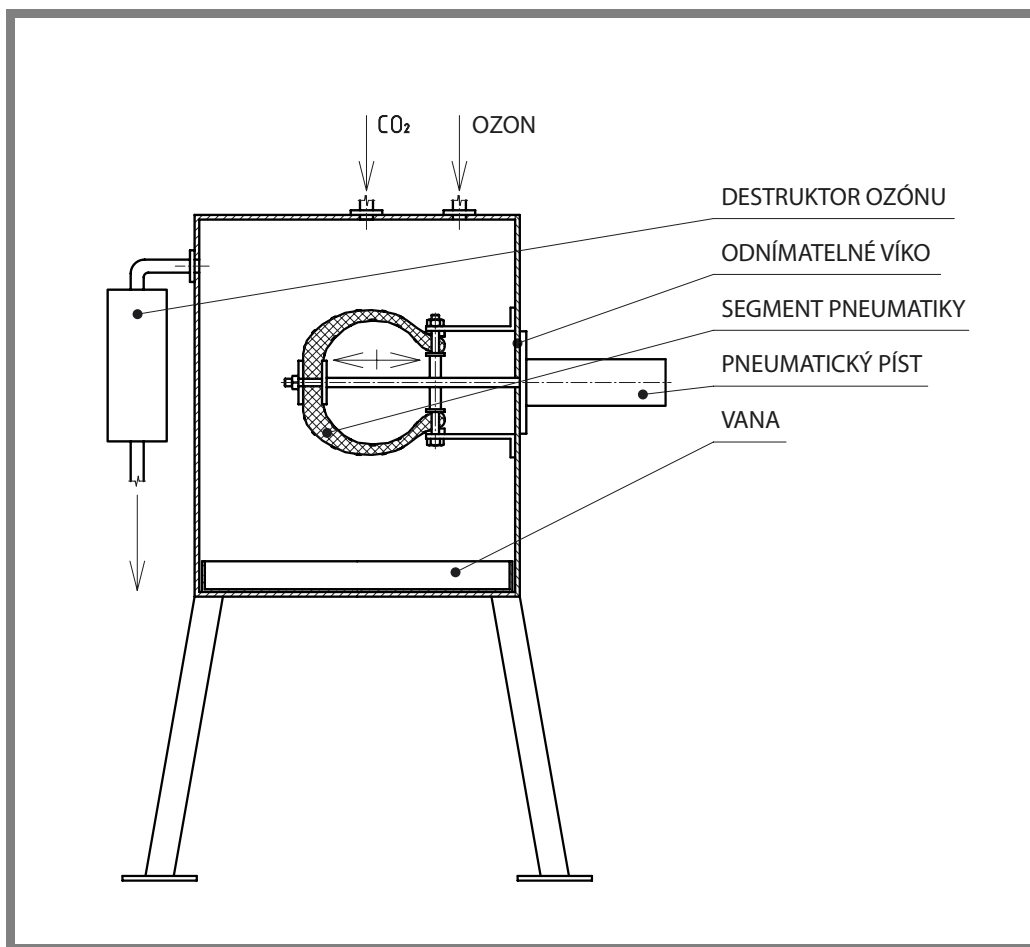
V následujících podkapitolách bude podrobně popsán a rozebrán návrh jednotlivých zařízení a jejich součástí, geometrie, zvolené materiály a podrobný popis funkce. Při návrhu jednotlivých zařízení byl pro tvorbu výkresů a schémat použit software Autodesk AutoCad 2008 a pro tvorbu 3D modelů byl použit 3D modelář Autodesk Inventor Professional 2008.

6.1 Zkušební stanice

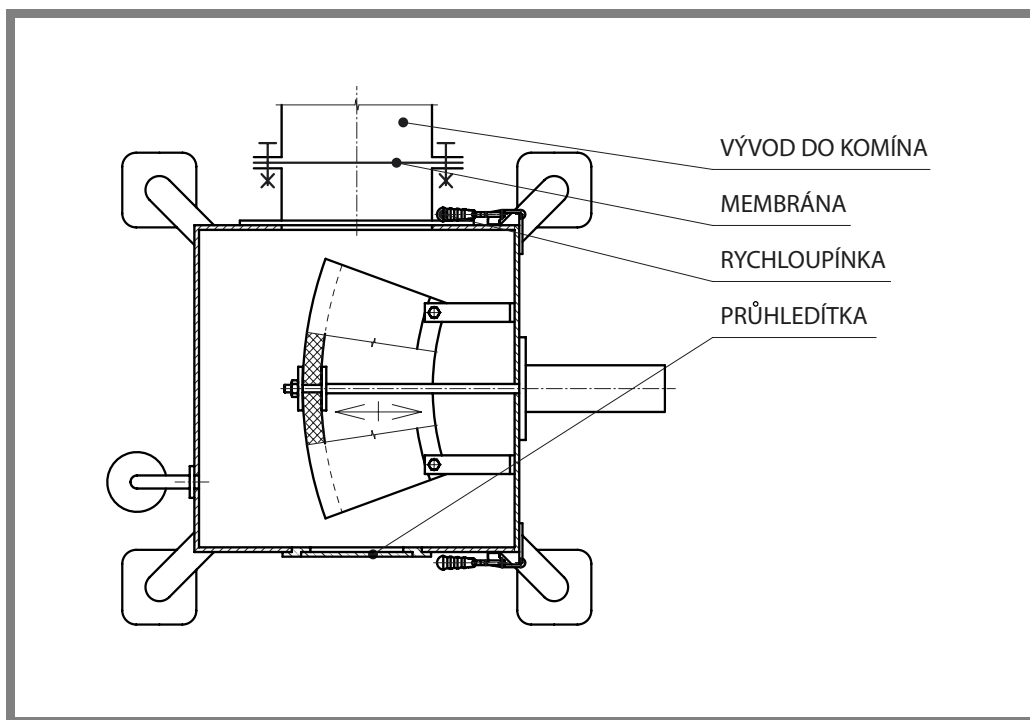
Zkušební stanice je navržena za účelem zjištění rychlosti destrukce pneumatik ozónem a také ke zjištění optimální koncentrace ozónu potřebné pro destrukci pneumatiky. Z výsledků provedených zkoušek na tomto zařízení dále bude navrhnout optimální způsob namáhání pneumatik, který je nezbytný pro rychlý rozpad pryže pneumatik. Konstrukce komory je určena pro zkoušky rozpadu malého segmentu pneumatiky.

6.1.1 Schematický návrh konstrukce zkušební stanice

Na následujících obrázcích je schematický návrh zkušební stanice - pohled zepředu (Obr. 6-1) a pohled shora (Obr. 6-2). Zkušební stanice je ve tvaru kváдру, jehož stěny tvoří plechové desky. Všechny stěny kromě pravé jsou k sobě vzájemně přivařeny. Celá pravá stěna slouží jako odnímatelné víko, které umožňuje přístup do vnitřku stanice. Víko je připevněno čtyřmi rychloupínkami. Rychloupínky zajistí velmi rychlý a jednoduchý přístup do vnitřku boxu. Kvůli lepší obsluhovatelnosti stanice je celý box umístěn na čtyřech nohách z trubek. Zkoušený segment pneumatiky je pomocí šroubů a upínek přišroubován na držáky, jež jsou zevnitř přivařeny k odnímatelnému víku. Díky tomuto provedení je možno upínat část pneumatiky pohodlně mimo zkušební stanici. K víku je dále připevněn z vnější strany pneumatický válec, který zajišťuje potřebné dynamické namáhání segmentu pneumatiky. Segment pneumatiky je na hřbetě provrtán, do díry je zasunut konec válce a zajištěn pomocí matice a podložky. Střídavým pohybem válce se docílí dynamického namáhání části pneumatiky. Na horní straně je přívod ozónu z generátoru ozónu a dále přívod oxidu uhličitého. Na levé straně boxu z vnější strany se nachází destruktor ozónu, kterým se likviduje zbylý ozón, který se nespotřebuje při rozpadu pryže. Aby nedocházelo k úniku ozónu ze stanice, musí být uvnitř stanice mírný podtlak, který se docílí odsáváním vzduchu přes destruktor ozónu. Na dně celého vnitřku boxu se nachází plechová vana. Tuto vanu bude možno po zkoušce vyjmout a vysypat z ní rozpadlé kousky pryže. Působením ozónu se z pryže uvolňují drobné prachové částice, které společně s kyslíkem tvoří prostředí, ve kterém může dojít k zahoření. Pro rychle expandující plyny při zahoření je na zadní straně stanice umístěn vývod do komína. Vývodem do komína je trubka většího průměru, na kterou se nasadí hadice, jejíž druhý konec musí být vyveden do venkovního prostředí. Na stěnách zkušební stanice jsou umístěna skleněná průhledítka, aby bylo možno pozorovat chování vzorku během rozpadu za působení ozónu. Plocha těchto průhledítek nemůže být příliš velká, aby nedošlo k jejich prasknutí v případě možného zahoření uvnitř stanice. Ozón je jedovatý plyn, a proto



Obr. 6-1 Schéma zkušební stanice (pohled zepředu)

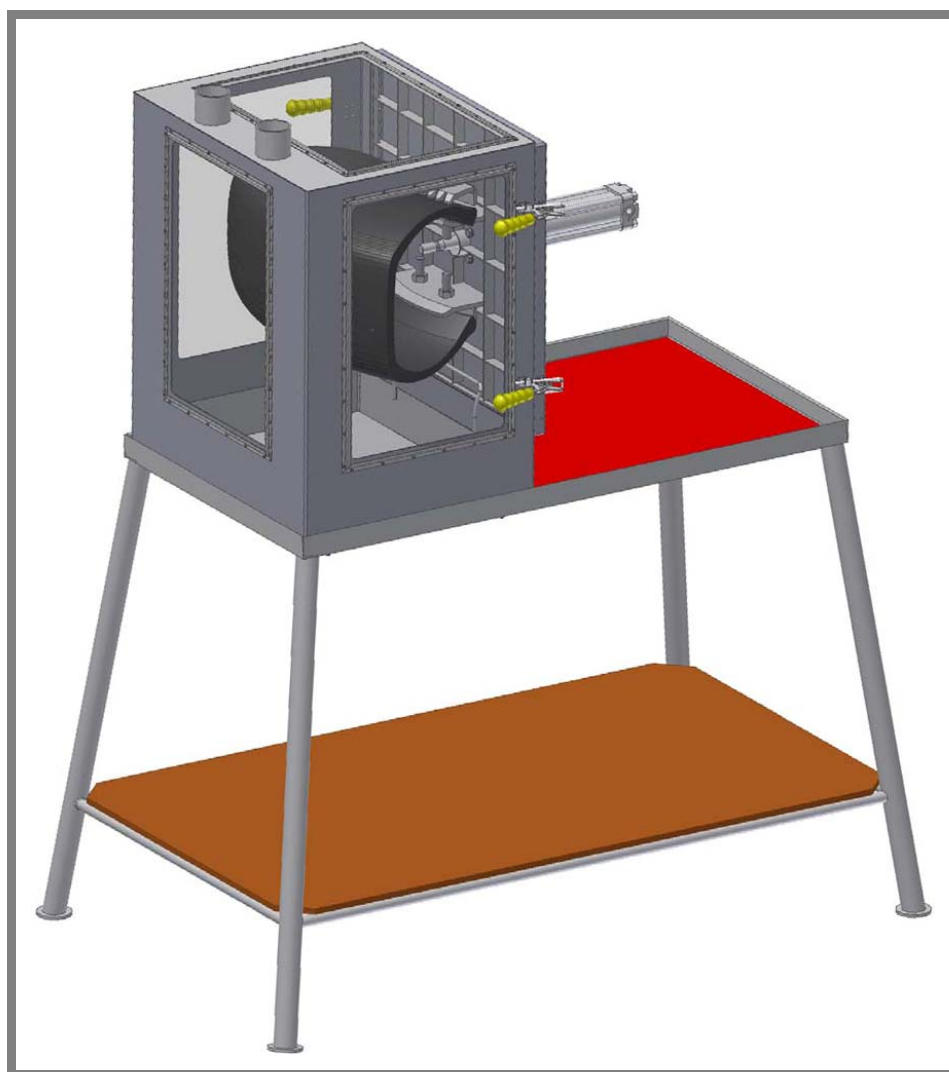


Obr. 6-2 Schéma zkušební stanice (pohled shora)

musí být stanice vzduchotěsná, aby nedocházelo k jeho úniku do okolí. Jedná se především o utěsnění víka, kde se může použít těsnicí tmel, který musí být odolný proti ozónu (např. těsnicí tmel Dirko od firmy Elring [12]). Materiál celé stanice by měl být také odolný vůči ozónu. U obvyklých konstrukčních ocelí totiž ozón způsobuje korozi. Stanice je však určena jen na několik málo zkoušek a proto pro výrobu stanice postačí běžné konstrukční svařitelné materiály, jako je např. ocel 11 375 nebo ocel 11 523.

6.1.2 Zhotovená zkušební stanice

Na následujících obrázcích je 3D model návrhu zkušební stanice (viz Obr. 6-3) a fotografie vyrobené zkušební stanice (viz Obr. 6-4) [10].



Obr. 6-3 3D model návrhu zkušební stanice [10]



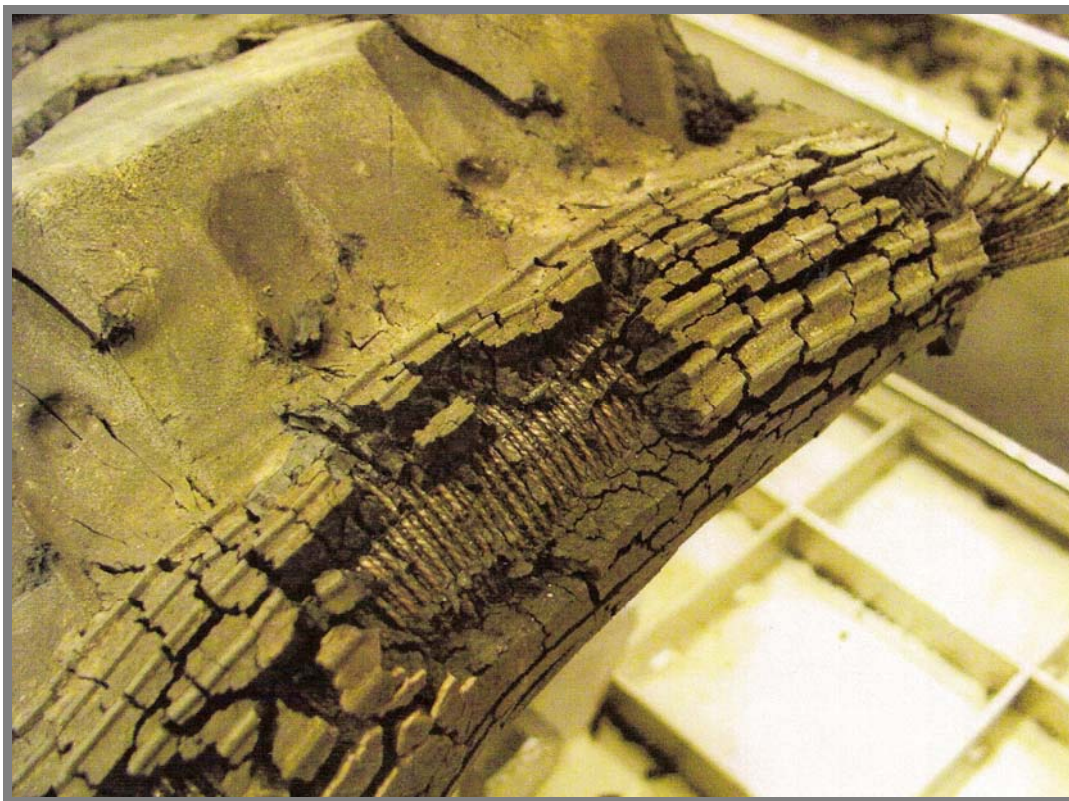
Obr. 6-4 Fotografie vyrobené zkušební stanice [10]

6.1.3 Výsledky experimentů

6.1.3

Na Obr. 6-5 se nachází fotografie s částečně rozpadlou pneumatikou. Z tohoto obrázku je patrné, že k nejrychlejšímu rozpadu pneumatiky dochází v místech, kde jsou pneumatiky nejvíce namáhány tahovým nebo ohybovým napětím. Místa, kde nevznikalo v pneumatice žádné napětí, se rozpadala řádově pomaleji. Tahovým nebo ohybovým napětím vznikají na povrchu pryže trhlinky (póry), do kterých může vnikat ozón, čímž se řádově urychluje její rozpad. Na Obr. 6-6 je fotografie s pryžovou drtí, která se uvolnila především z nejvíce namáhaných částí pneumatiky po 20 minutách působení ozónu [10].

Měřením se tedy zjistilo, že optimálním způsobem namáhání pro rychlý rozpad pryže je tah a ohyb. Navíc při postupném rozpadu pneumatiky vznikem trhlinek dochází k poklesu napětí. Musí se tedy nalézt takový mechanismus, který by v celé pneumatice vyvolal tahové nebo ohybové napětí po celou dobu jejího rozpadu. Experimenty se dále zjistilo, že se ozón během rozpadu pneumatiky spotřebovává, takže je potřeba zajistit trvalý přívod ozónu po celou dobu rozpadu [10].

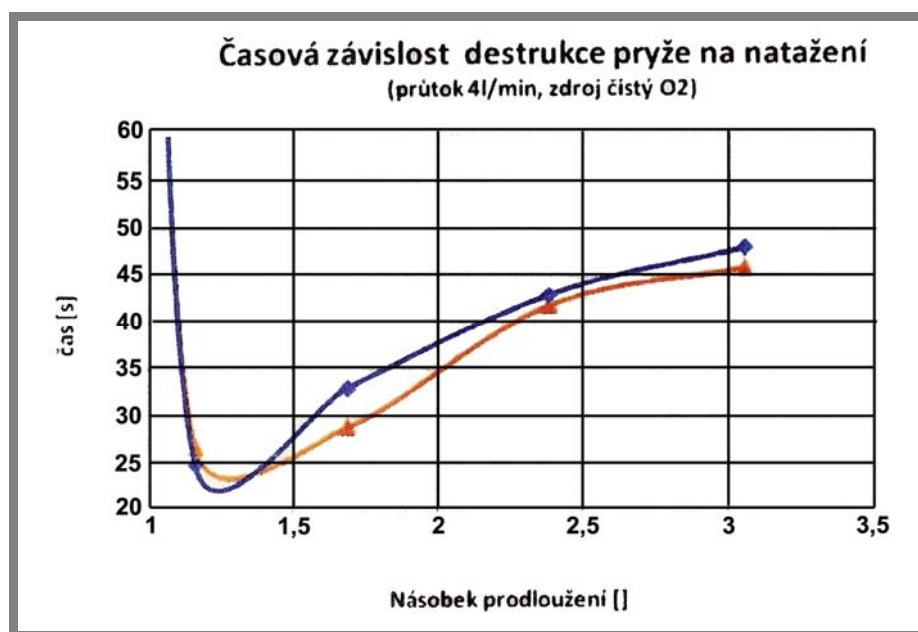


Obr. 6-5 Fotografie částečně rozpadlé pneumatiky [10]



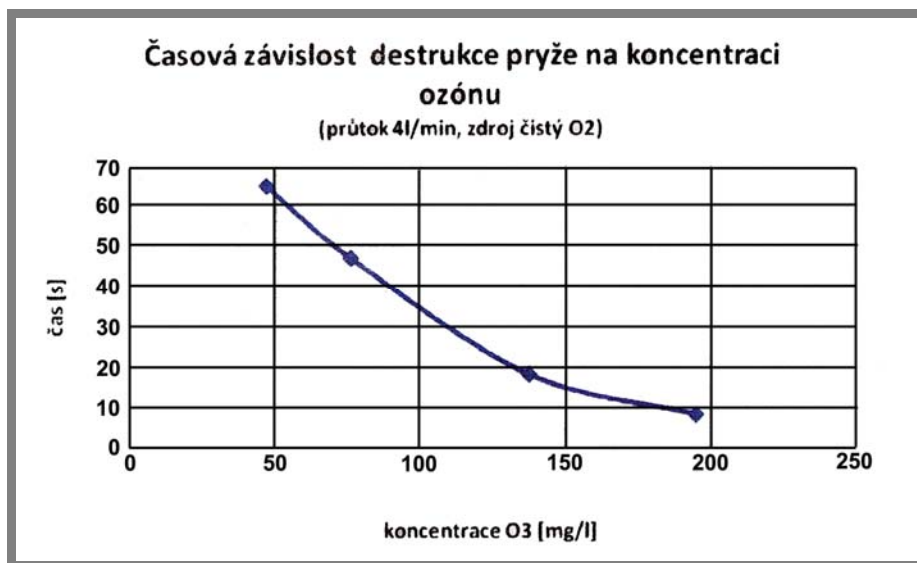
Obr. 6-6 Odpadlé kousky pryže z pneumatiky [10]

Dále se prováděly zkoušky časové závislosti destrukce pryže na jejím mechanickém namáhání. Zkoušky byly prováděny na vzorcích pryže ve formě gumiček o rozměrech 3x1 mm a průměru 20 mm. Na Obr. 6-7 je zobrazen graf časové závislosti destrukce pryže na jejím natažení. Bylo zde zjištěno, že pokud pryž není namáhána, nedochází k její destrukci i po delší době expozice ozónem. Rychlost destrukce není přímo úměrná velikosti mechanického namáhání. K nejrychlejšímu rozpadu pryže docházelo už při malém mechanickém namáhání (cca 1,2 násobku prodloužení) [11].



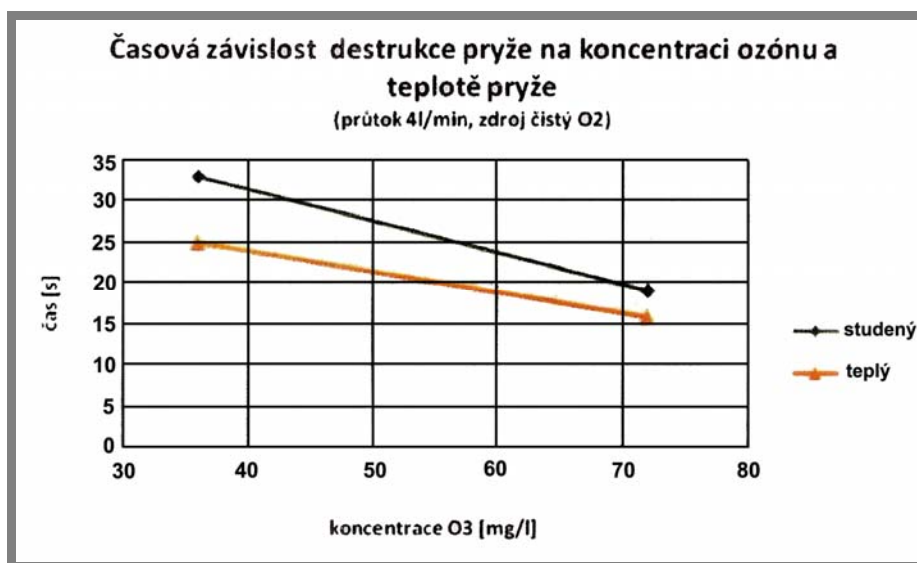
Obr. 6-7 Graf závislosti destrukce pryže na natažení [11]

V dalším pokusu byla sledována časová závislost destrukce pryže na koncentraci ozónu (Obr. 6-8). Časová závislost byla měřena při namáhání, při kterém dochází k nejrychlejšímu rozpadu pryže (1,2 násobku prodloužení). Z provedených měření bylo zjištěno, že rychlost destrukce pryže je přímo úměrná koncentraci ozónu [11]. Čím vyšší koncentrace ozónu, tím rychleji dochází k rozpadu pryže.



Obr. 6-8 Graf časové závislosti destrukce pryže na koncentraci ozónu [11]

Dále byla zjišťována časová závislost destrukce pryže na koncentraci ozónu a teplotě pryže (Obr. 6-9). Časová závislost opět byla měřena při namáhání, při kterém dochází k nejrychlejšímu rozpadu pryže (1,2 násobku prodloužení). Studená pryž měla teplotu 13°C a teplá pryž měla teplotu 45,5°C. Z obrázku je zřejmé, že vyšší teplota pryže přispívá k rychlejšímu rozpadu pryže [11].



Obr. 6-9 Graf časové závislosti destrukce pryže na teplotě pryže [11]

Dále byla posuzována spotřeba surovin a energie vzhledem k jednotkovému množství zpracovaného odpadu a získané drti. Při měření byla použita část pneumatiky (3,25 kg), dále bylo spotřebováno 262 g čistého kyslíku, 50 g ozónu a 100 W elektrické energie. Při tomto měření bylo vyprodukováno 233 g pryžové drti [11].

6.2 Zařízení pro měření sil potřebných k deformaci pneumatiky

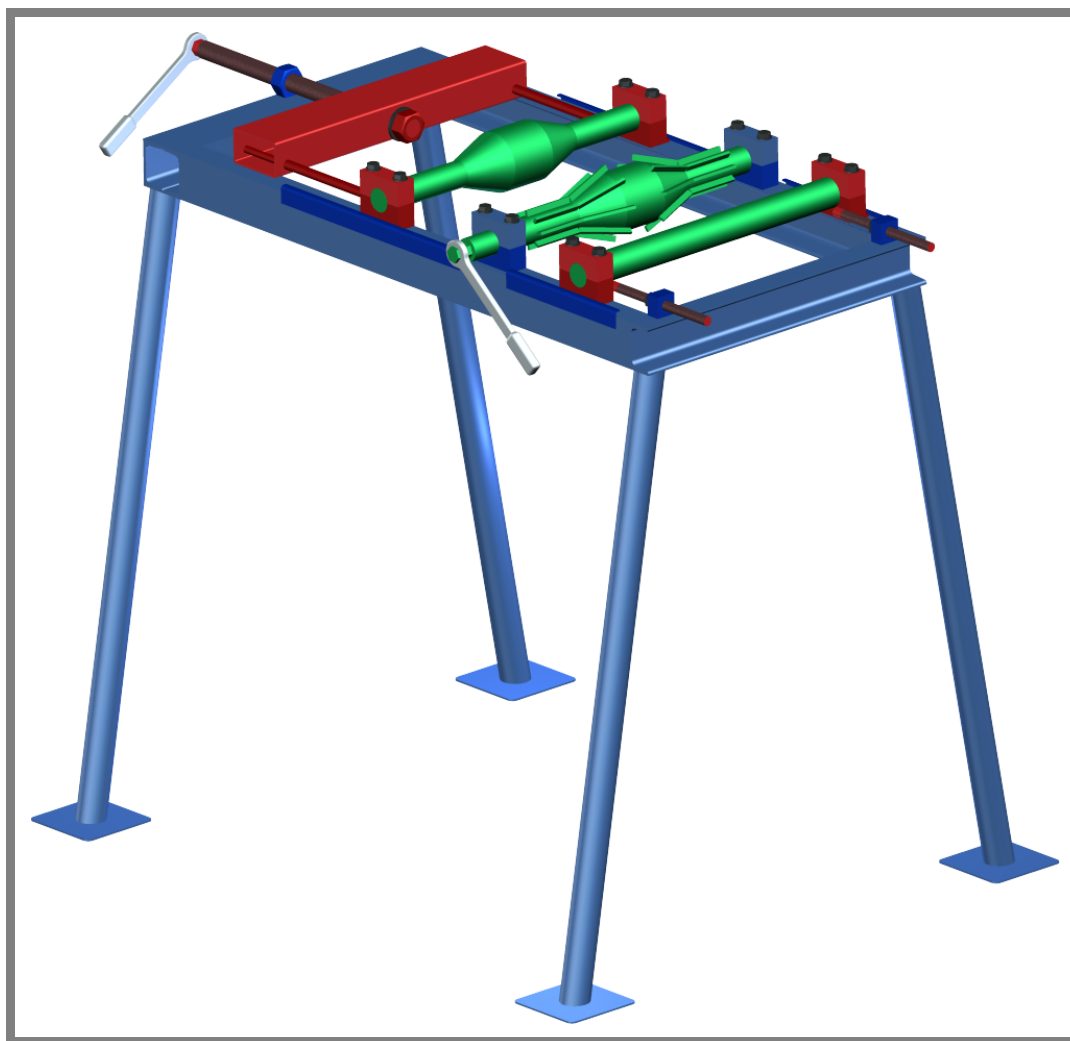
6.2

V 5. kapitole jsou uvedeny návrhy možných variant zatěžování pneumatik. Všechny varianty jsou založeny na stejném principu. Vždy se jedná o dva hřídele, které jsou prostrčeny vnitřkem pneumatiky. Vzájemným oddalováním těchto hřídelů pak dochází v pneumatice ke vzniku tahového napětí. Z pevnostního hlediska je pro konstrukci zkušební komory pro ozónovou degradaci pneumatik nutné zjistit síly potřebné pro natahování pneumatik a dále zjistit kroucí momenty potřebné pro otáčení pneumatikou. K tomu je potřeba navrhnout a vyrobit speciální zařízení, na kterém bude možno tyto síly a momenty naměřit.

6.2.1 Konstrukce zařízení

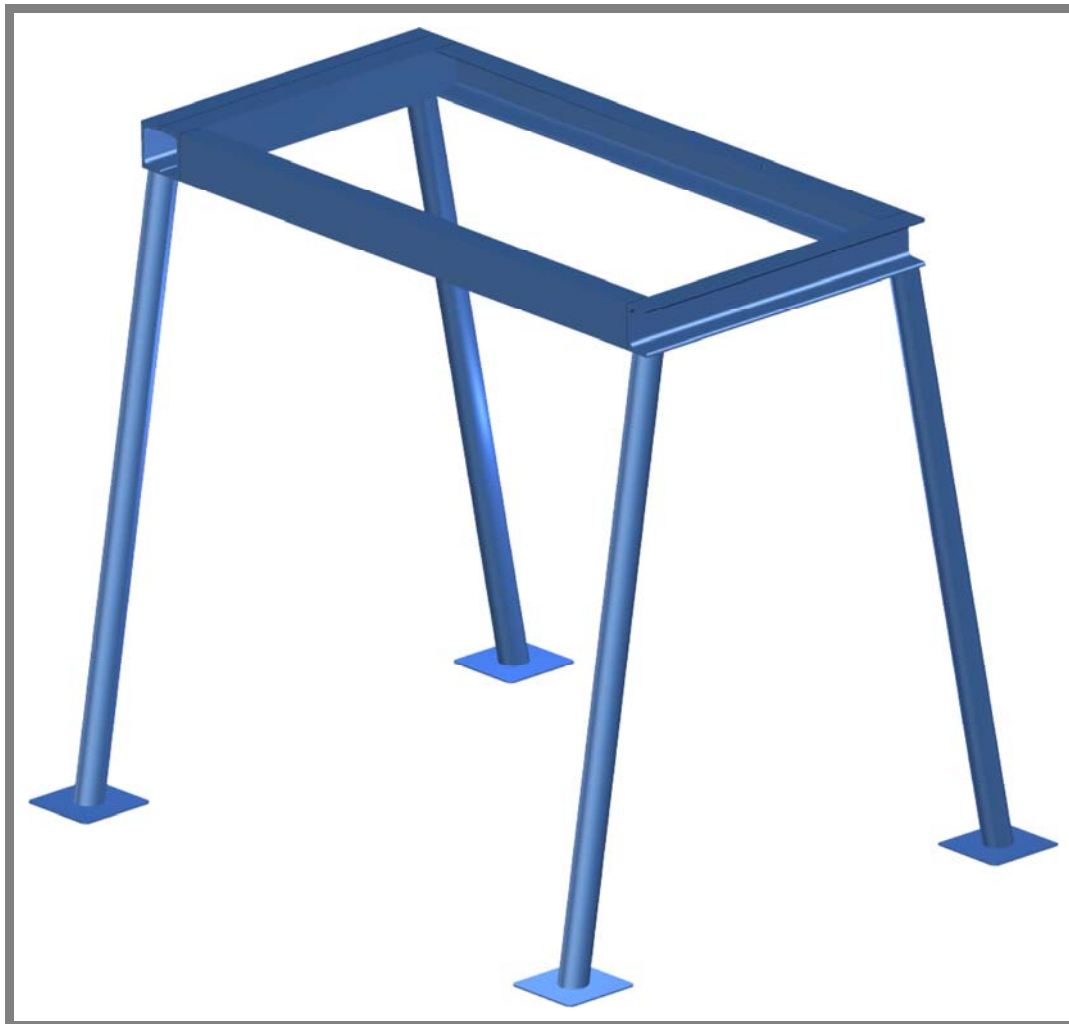
6.2.1

Na Obr. 6-10 je celkový náhled na kompletní zařízení. Hlavním kritériem při návrhu konstrukce tohoto zařízení byla především jednoduchá a levná výroba. Zařízení je velikostně navrženo pro pneumatiky o rozměrech 13" až 15".



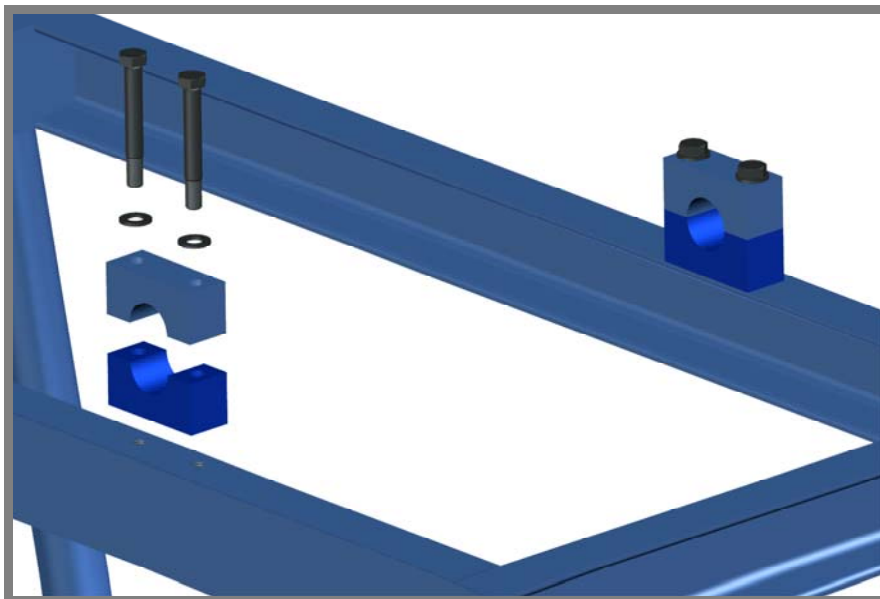
Obr. 6-10 3D model zařízení pro měření sil potřebných k deformaci pneumatiky

Základem celého stroje je svařovaný rám (viz Obr. 6-11) z profilu U100 [13]. Profily jsou ze svařitelné oceli 11 375. Rám se skládá ze dvou podélných profilů a tří příčných profilů. K tomuto rámu jsou na spodní straně přivařeny 4 nohy z trubek kruhového průřezu. Nohy jsou kvůli lepší stabilitě zařízení přivařeny pod úhlem 10° .

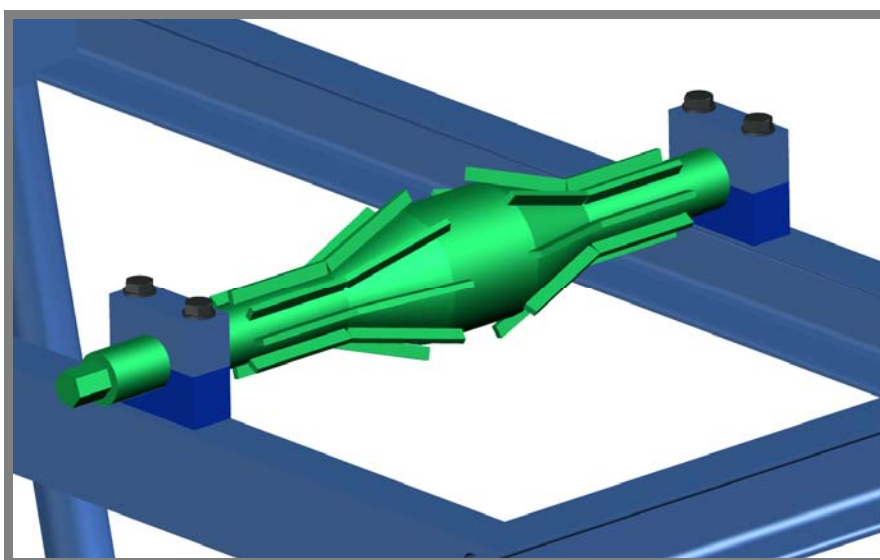


Obr. 6-11 Svařovaný rám

Dalšími součástmi stroje jsou kluzná ložiska. V rámu jsou obrobena závity M12, do kterých jsou pomocí šroubů napevno tato ložiska přišroubována (Obr. 6-12). Pro přišroubování ložisek k rámu byly použity šrouby M12x95 ČSN 021 111 [14]. Pomocí šroubů a dvou kluzných ložisek je k rámu připevněn hřídel s kuželovými osazeními uprostřed (Obr. 6-13). Mezi hřídelí a ložiskem bylo použito uložení s vůlí H10/d10 [15]. Z důvodu neznámého maximálního provozního zatížení hřídele musel být její průměr zvolen přibližným odhadem. Konce hřídelů mají průměr 40 mm a ve své střední části, kde bude působit maximální ohybové napětí, má průměr 100 mm. Tento průměr byl zvolen tak, aby obě dvě hřídele bylo možno protáhnout vnitřkem pneumatiky. Jeden konec hřídele je ukončen šestihranem, díky kterému je možno hřídelem pomocí klíče ručně otáčet. Hřídel je z materiálu 11 523. Aby nedocházelo k prokluzu pneumatiky po hřídeli, jsou na ní kolem dokola přivařena plechová žebra.

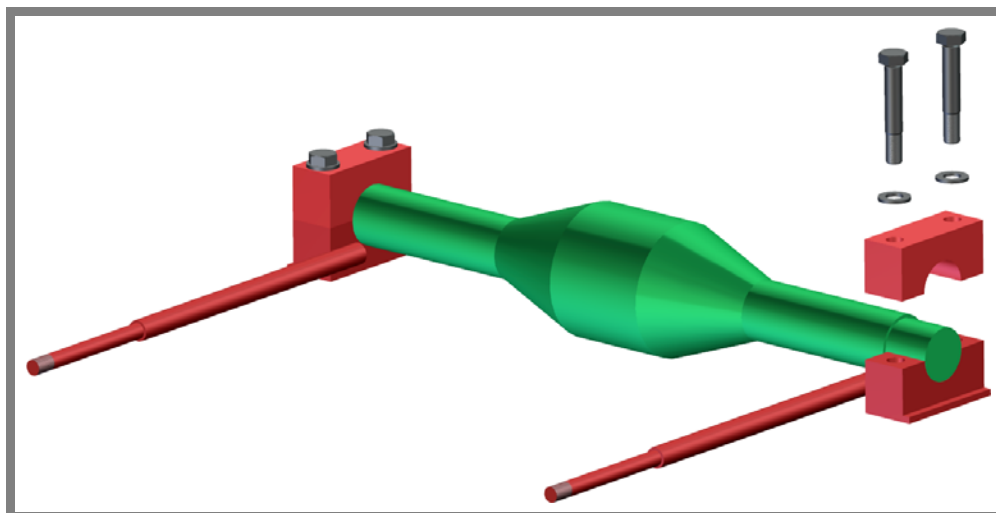


Obr. 6-12 Kluzná ložiska napevno přišroubovaná k rámu

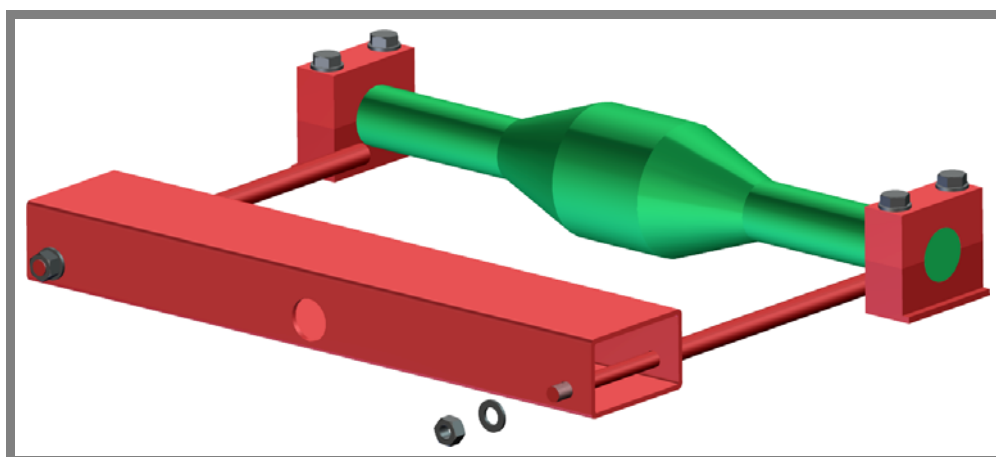


Obr. 6-13 Uložení hřídele

Druhý hřídel (Obr. 6-14) musí být pohyblivý a proto není napevno přišroubován k rámu. Ve spodních částech obou ložisek jsou obrobena závity M12. Obě části kluzných ložisek jsou k sobě vzájemně napevno sešroubovány. Zde byly použity šrouby M12x75 ČSN 021 111 [14]. Tvar a materiál hřídele je stejný jako v případě prvního hřídele. Na hřídeli ale nejsou navařena žebra, protože tímto hřídelem se nebude otáčet. Ze stejného důvodu na konci hřídele není obrobena šestihran. Mezi hřídelí a ložiskem bylo opět použito uložení s vůlí H10/d10 [15]. Ke spodním polovinám obou kluzných ložisek jsou přivařeny dvě táhla (tyčky o průměru 16 mm). Na konci těchto táhel jsou obrobena osazení, na která se nasadí příčník (Obr. 6-15). Příčník je na táhlech zajištěn pomocí matic. Příčník je vyroben z profilu TR OBD 100 x 60 x 3 ČSN 42 6936 [13] a je z materiálu 11 375.

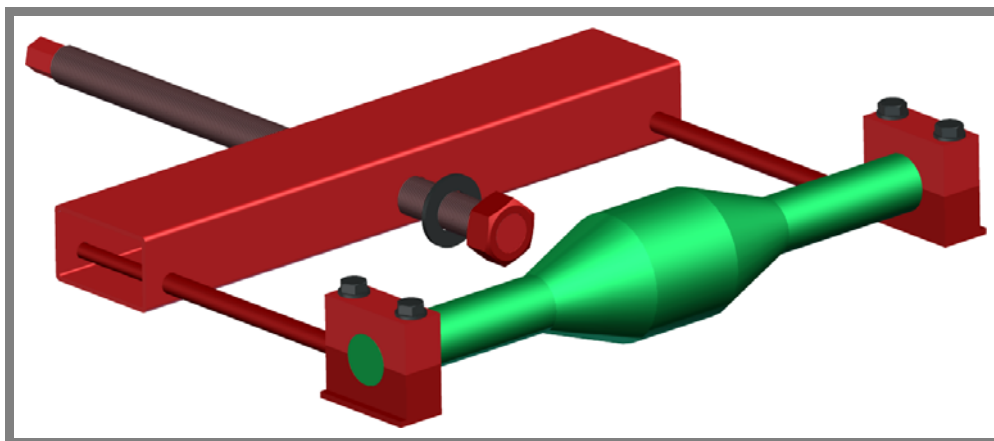


Obr. 6-14 Uložení posuvného hřídele



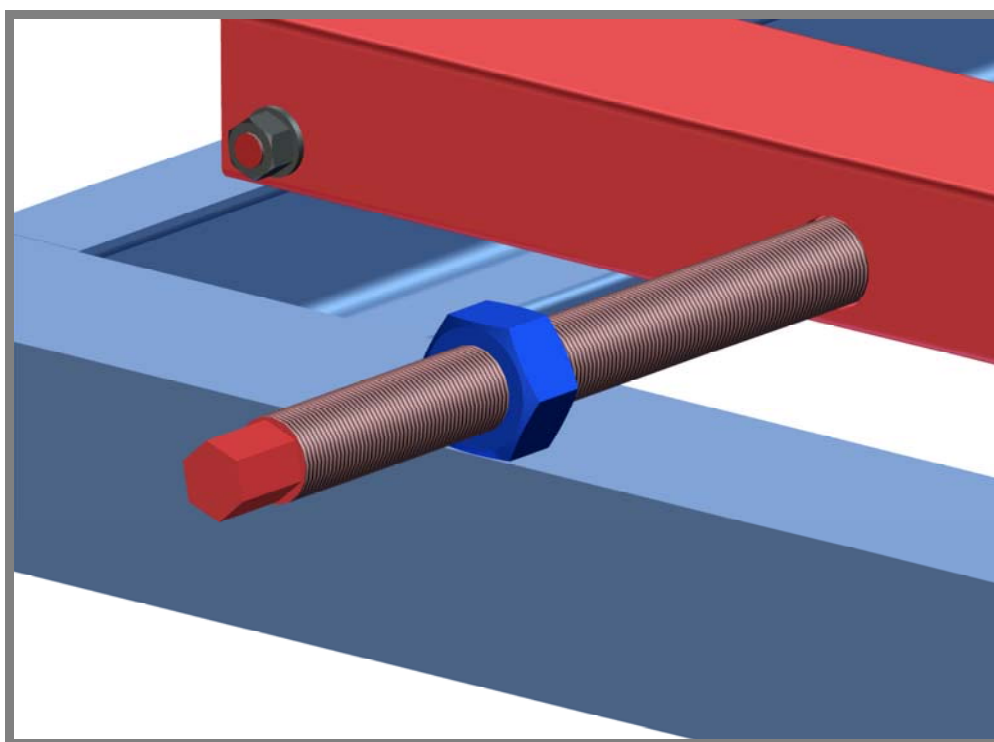
Obr. 6-15 Připevnění příčníku

Uprostřed příčníku, rovnoběžně se směrem táhel, je vyvrtána díra, kterou je skrz příčník prostrčena závitová tyč s metrickým závitem M30 (Obr. 6-16). K pravé straně této závitové tyče je přivařena matice M30 ČSN EN 24 032 [14]. Mezi maticí na závitové tyči a příčníkem je měděná podložka 30 ČSN 02 1702.3 [14]. Na opačné straně závitové tyče je vyroben šestihran, díky kterému je možno závitovou tyčí otáčet ručně pomocí klíče.



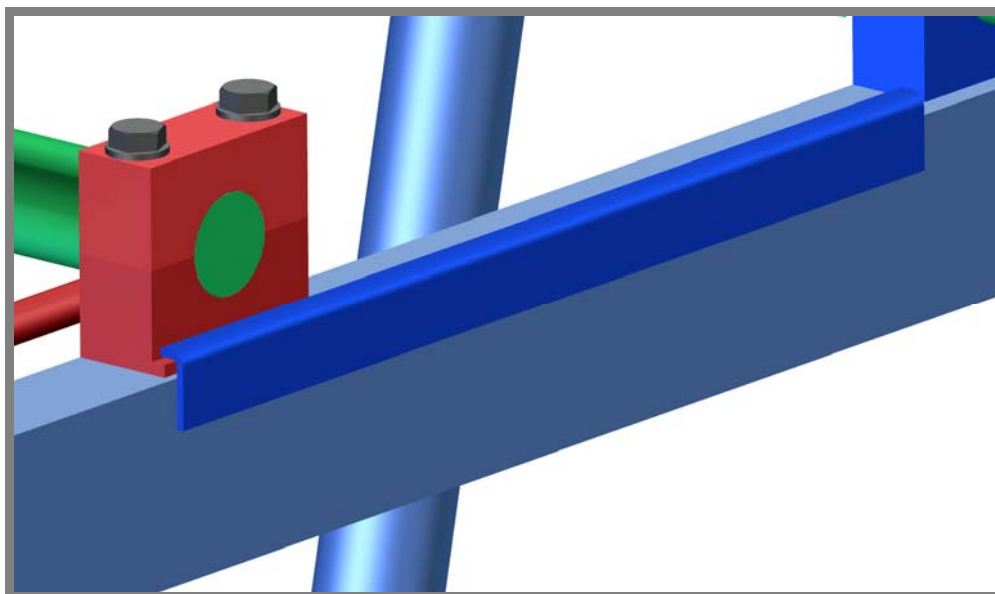
Obr. 6-16 Pohyblivé uložení příčníku a závitové tyče

Na nosném rámu je přivařena další matice M30 ČSN EN 24 032 [14] (Obr. 6-17). Při otáčení závitovou tyčí se tak dají do pohybu všechny součásti spojené s příčníkem (tj. příčník s táhly a k nim přivařená kluzná ložiska společně s hřídelí).



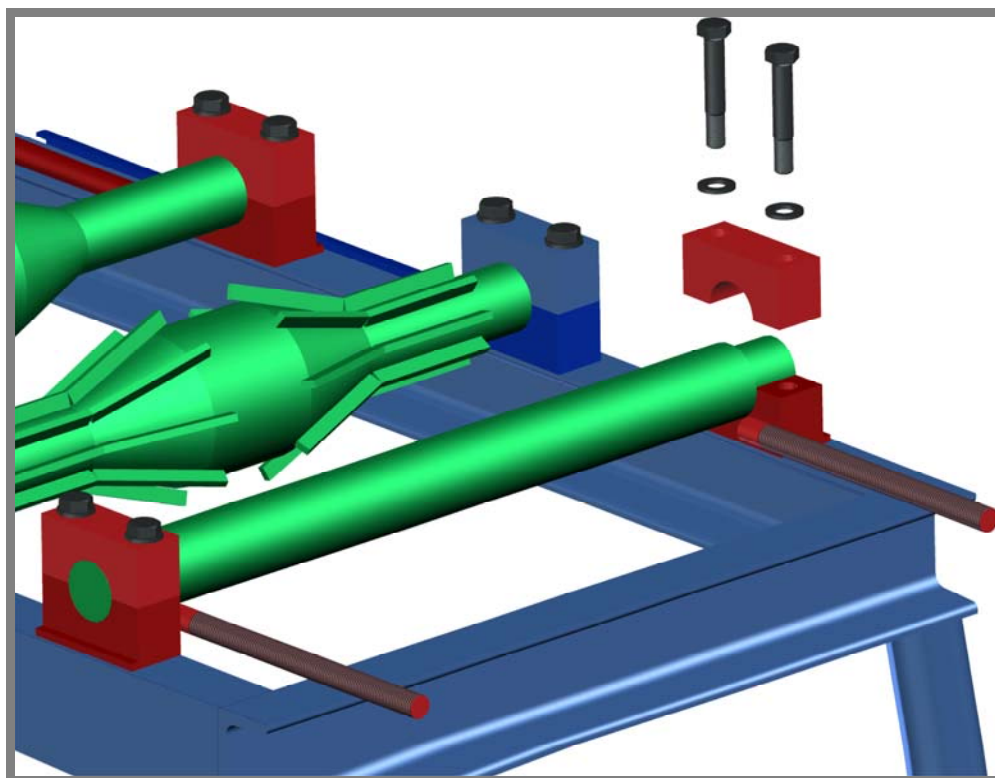
Obr. 6-17 Pohyblivé uložení závitové tyče na nosném rámu

Aby nedocházelo při pohybu celého celku k jeho vybočení ze směru pohybu, jsou po stranách rámu přivařeny vodící lišty (Obr. 6-18). Lišty jsou vyrobeny z tenkého plechu ohnutím do tvaru “L”. Spodní části kluzných ložisek mají malá osazení, která zapadají do vodících drážek vytvořených vodícími lištami.



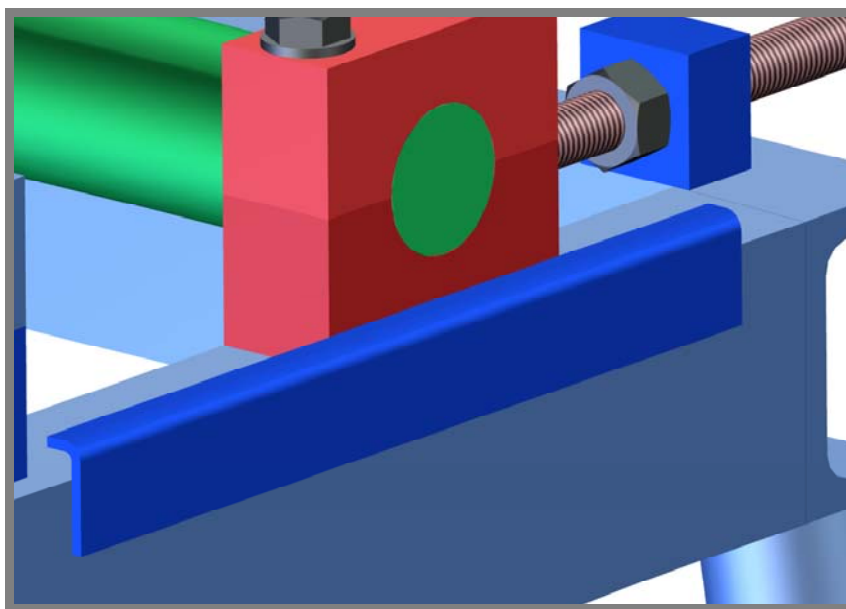
Obr. 6-18 Vodicí lišty

Z druhé strany rámu se nachází přítlačná hřídel (Obr. 6-19), která bude napomáhat při deformaci pneumatiky. Tato hřídel je také uložena stejně jako předchozí hřídel v pohyblivých kluzných ložiscích. Tato hřídel má po celé délce průměr 50 mm. Ke spodní části kluzných ložisek jsou přivařeny závitové tyče s metrickým závitem M16.



Obr. 6-19 Přítlačný hřídel

Kluzná ložiska jsou proti vybočení opět vedena pomocí vodících lišt (Obr. 6-20). K rámu jsou přivařeny provrtané ocelové kostky, kterými volně prochází závitové tyče. Z vnitřní strany těchto kostek jsou na závitových tyčích našroubovány matice M16 ČSN EN 24 032 [14]. Pohybem matic po závitových tyčích se současně může posouvat i přítlačný hřídel směrem k pneumatice.



Obr. 6-20 Vodící lišta v místě přítlačného hřídele

6.2.2 Zhotovené měřicí zařízení

6.2.2

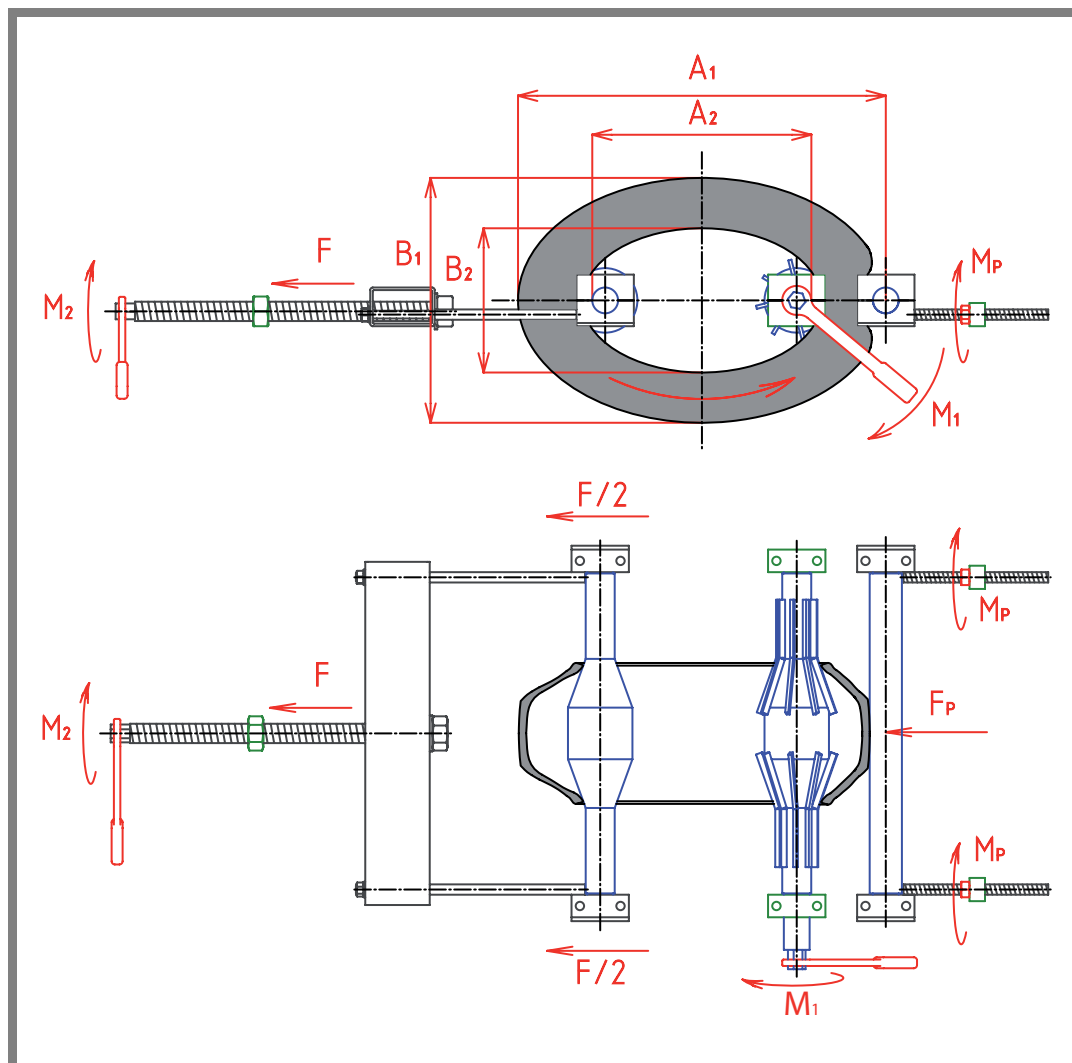
Na Obr. 6-21 je fotografie kompletně vyrobeného měřicího zařízení. V příloze 1 je kompletní výkresová dokumentace tohoto zařízení.



Obr. 6-21 Fotografie vyrobeného měřicího zařízení

6.2.3 Měření sil potřebných pro deformaci pneumatiky

Na již vyrobeném zařízení je tedy potřeba zjistit velikosti sil F a F_P [N], které jsou potřeba pro roztáhnutí pneumatik, krouticí moment M_1 [Nm] potřebné k otáčení celou pneumatikou a dále pak také rozměry maximálně roztáhnuté pneumatiky (Obr. 6-22). Na tomto schématu jsou modře vyznačeny hřídele, zeleně jsou označeny části napevno připojené k rámu měřicího zařízení a červeně jsou označeny všechny potřebné měřené veličiny. Vysvětlivky všech veličin jsou napsány na následující stránce.



Obr. 6-22 Schéma měřených veličin

kde:

A_1 [mm]	- vnější vodorovný rozměr protažené pneumatiky
A_2 [mm]	- vnitřní vodorovný rozměr protažené pneumatiky
B_1 [mm]	- vnější svislý rozměr protažené pneumatiky
B_2 [mm]	- vnitřní svislý rozměr protažené pneumatiky
M_1 [Nm]	- moment potřebný k otáčení pneumatikou
M_2 [Nm]	- moment potřebný k natahování pneumatiky pomocí závitové tyče
M_P [Nm]	- moment potřebný k přitlačování přitlačného válce pomocí matic na závitových tyčích
F [N]	- síla potřebná k natahování pneumatiky vypočtená z M_2
F_P [N]	- síla potřebná k přitlačování přitlačného válce vypočtená z M_P

Výpočet síly F [16]:

$$F = \frac{2M_2(\pi d_m \cos \alpha - \mu l)}{d_m(1 \cos \alpha + \pi \mu d_m)}$$

kde:

$d_m = 27,727$ [mm]	- střední průměr závitu M30
$l = 3,5$ [mm]	- rozteč závitu M30
$2\alpha = 30$ [°]	- úhel profilu závitu
$\mu = 0,15$ [1]	- součinitel tření v závitech

Výpočet síly F_P [16]:

$$F_P = \frac{2M_P(\pi d_m \cos \alpha - \mu l)}{d_m(1 \cos \alpha + \pi \mu d_m)} \cdot 2$$

kde:

$d_m = 14,701$ [mm]	- střední průměr závitu M16
$l = 2$ [mm]	- rozteč závitu M16
$2\alpha = 30$ [°]	- úhel profilu závitu
$\mu = 0,15$ [1]	- součinitel tření v závitech

Každá pneumatika má jinou konstrukci a proto by u nich byly naměřeny jiné hodnoty. Proto bude měření provedeno na třech různých pneumatikách. Při tomto měření však postačí, když budou síly a momenty naměřeny pouze přibližně. Podle naměřených sil a rozměrů roztažených pneumatik pak bude možno navrhnout konstrukci zkušební komory pro ozónovou degradaci pneumatik a dále pak linku pro ozónovou likvidaci pneumatik.

Momenty M_1 a M_2 byly měřeny pomocí momentových klíčů “TONA OMK 100 S-P“ a “TONA 1/2“ DR. 210 N-M“. Tyto momentové klíče však jsou schopny změřit momenty až od určité hranice (přibližně od 20Nm) a proto musely být menší momenty odhadovány pomocí závaží s pákou a následným přepočtem na moment. Rozměry pneumatiky pak byly měřeny pomocí posuvného měřidla. Naměřené rozměry pneumatik lze brát pouze orientačně, protože se pneumatiky během otáčení deformovaly a v každé své pootočené poloze měly nepatrně jiný rozměr.

Měření bylo provedeno na těchto třech různých pneumatikách:
 Barum Brillantis 165/70 R13 83T XL Radial Tubeless
 Michelin Energy 175/70 R13 82T-XT1 Radial XSE
 First Stop Winter 175/65 R14 82T Tubeless Radial 3YEX J3W

1. měření provedené na pneumatice Barum Brillantis

Tab. 1 Hodnoty naměřené na pneumatice Barum Brillantis

ČÍSLO MĚŘENÍ	P	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	M ₁	M ₂	F
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[N]
0	0	550	330	550	330	0	0,0	0
1	20	555	330	550	320	3	1,0	360
2	20	560	340	545	305	8	1,6	576
3	20	565	355	540	295	9	2,0	719
4	10	570	365	540	290	11	2,1	755
5	10	573	365	535	283	12	2,2	791
6	10	575	372	535	270	14	2,6	935
7	10	580	388	527	265	16	3,1	1151
8	10	588	397	520	255	20	3,5	1295
9	10	600	410	512	242	28	4,7	1727
10	10	608	420	503	228	34	7,8	2878
11	10	617	431	492	214	43	12,8	4677
12	10	630	441	478	197	52	17,7	6475
13	10	640	451	476	177	70	23,5	8634
14	10	637	459	442	157	78	29,4	10792

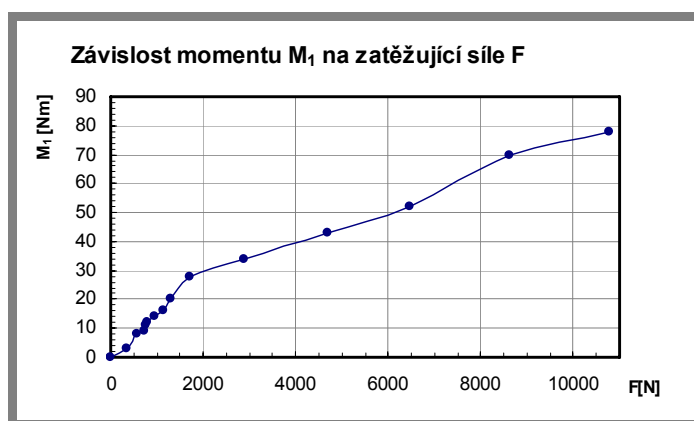
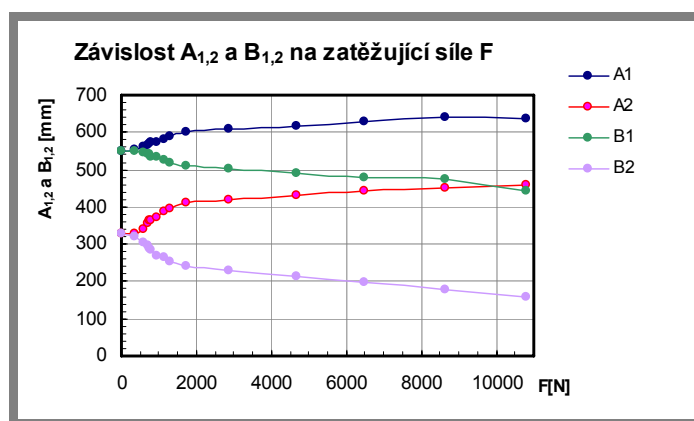
V Tab. 1 jsou hodnoty naměřené na pneumatice Barum Brillantis. Toto měření bylo provedeno bez použití přitlačného válce. Měření číslo "0" je měření na nezatížené pneumatice. Dále bylo postupně provedeno 14 měření na již tahově zatížené pneumatice. Hodnota P[mm] určuje o jakou vzdálenost je mezi jednotlivými měřeními posunuta pohyblivá hřídel. Síla F je vypočítána z M₂ podle vzorce uvedeného na předchozí stránce.

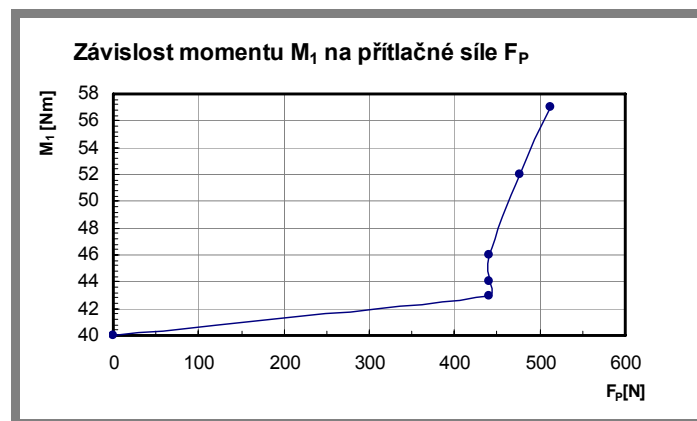
V Tab. 2 jsou naměřené hodnoty při použití přitlačného válce. Při všech těchto měřeních (0 až 5) bylo zvoleno protažení pneumatiky o 130mm, při kterém byl bez použití přitlačné hřídele naměřen moment M₁ 40Nm. Hodnota P_p[mm] určuje o jakou vzdálenost je mezi jednotlivými měřeními posunuta přitlačná hřídel. Přitlačná síla F_p je vypočítána z momentu M_p podle vzorce, který je rovněž uveden na předchozí stránce.

Tab. 2 Přítlačné síly naměřené na pneumatice Barum Brillantis

ČÍSLO MĚŘENÍ	P_P	M_I	M_P	F_P
	[mm]	[Nm]	[Nm]	[N]
0	0	40	0,00	0
1	10	43	0,38	440
2	10	44	0,38	440
3	10	46	0,38	440
4	10	52	0,41	477
5	10	57	0,44	513

Na následujících třech obrázcích jsou znázorněny grafy jednotlivých naměřených či vypočítaných veličin. Pneumatika byla natahována do maximální možné míry, kterou dovolila konstrukce měřicího zařízení. Při maximálním natažení byla z krouticího momentu na závitové tyči vypočítána maximální tažná síla cca 11000N. Při tomto maximálním natažení pak bylo nutné vyvinout pro otáčení hřídelí a zároveň celou pneumatikou krouticí moment o velikosti cca 78Nm (Obr. 6-23). Pneumatika přitom byla protažena ve vodorovné rovině z původních 550mm na 637mm (Obr. 6-24). Velikost přítlačné síly F_P pak při maximálním posunutí přítlačné hřídele byla přibližně 500N (Obr. 6-25).

Obr. 6-23 Graf závislosti momentu M_I na tažné síle F Obr. 6-24 Graf závislosti rozměrů pneumatiky na tažné síle F

Obr. 6-25 Graf závislosti momentu M_1 na přitlačné síle F_p

2. měření provedené na pneumatice Michelin Energy

Tab. 3 Hodnoty naměřené na pneumatice Michelin Energy

ČÍSLO MĚŘENÍ	P [mm]	A ₁ [mm]	A ₂ [mm]	B ₁ [mm]	B ₂ [mm]	M ₁ [Nm]	M ₂ [Nm]	F [N]
0	0	560	322	560	322	0	0,0	0
1	20	565	325	555	315	7	0,6	216
2	20	571	330	553	305	10	0,9	324
3	20	575	351	549	287	11	1,4	504
4	10	580	359	544	279	14	2,4	863
5	10	584	372	541	273	17	2,9	1079
6	10	587	379	538	266	20	3,5	1295
7	10	592	388	531	256	23	4,1	1511
8	10	602	399	523	227	28	5,5	2015
9	10	611	409	517	222	35	10,8	3957
10	10	620	420	497	218	43	15,7	5756
11	10	636	429	493	211	58	19,6	7195
12	10	643	440	484	195	68	25,5	9353
13	10	642	448	470	179	86	32,4	11872

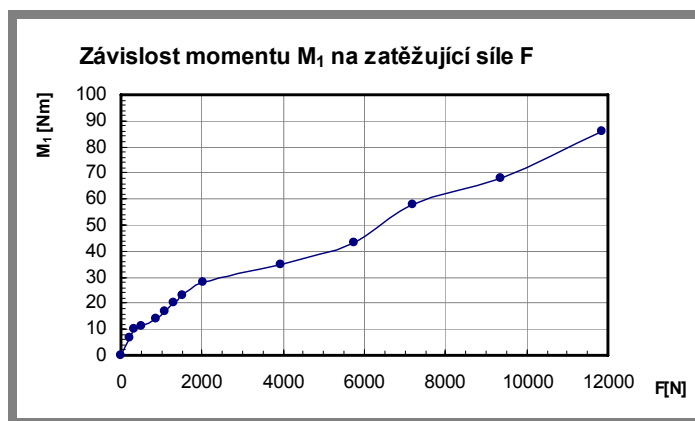
V Tab. 3 jsou hodnoty naměřené na pneumatice Michelin Energy. Toto měření bylo opět provedeno bez použití přitlačného válce. Měření číslo "0" je měření provedené na nezatížené pneumatice. Dále bylo postupně provedeno 13 měření na již tahově zatížené pneumatice. Hodnota P [mm] opět určuje o jakou vzdálenost je mezi jednotlivými měřeními posunuta pohyblivá hřídel. Síla F je rovněž vypočítána z M_2 .

V Tab. 4 jsou naměřené hodnoty při použití přitlačného válce. Při všech těchto měřeních (0 až 5) bylo zvoleno protažení pneumatiky o 110mm, při kterém byl bez použití přitlačné hřídele naměřen moment M_1 28Nm. Hodnota P_p [mm] rovněž určuje o jakou vzdálenost je mezi jednotlivými měřeními posunuta přitlačná hřídel. Přitlačná síla F_p je vypočítána z momentu M_p

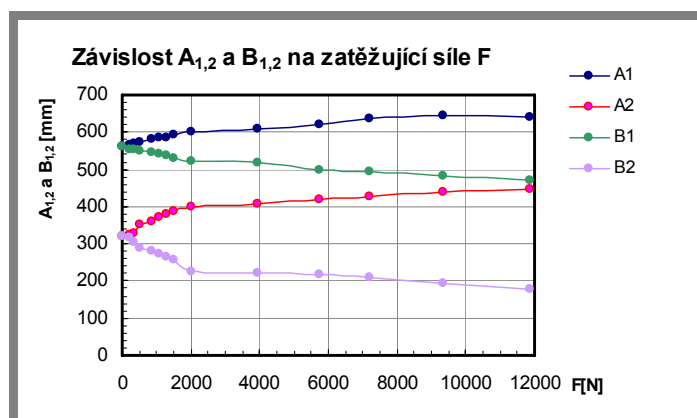
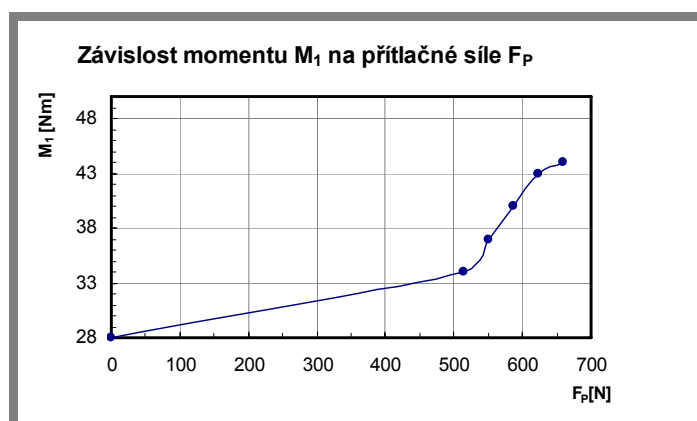
Tab. 4 Přitlačné síly naměřené na pneumatice Michelin Energy

ČÍSLO MĚŘENÍ	P_p [mm]	M_1 [Nm]	M_p [Nm]	F_p [N]
0	0	28	0,00	0
1	10	34	0,44	513
2	10	37	0,47	550
3	10	40	0,50	587
4	10	43	0,53	623
5	10	44	0,57	660

Na následujících třech obrázcích jsou znázorněny grafy jednotlivých naměřených či vypočítaných veličin. Pro maximální natažení byla z krouticího momentu na závitové tyči vypočítána maximální tažná síla cca 12000N. Při tomto maximálním natažení pak bylo nutné vyvinout pro otáčení hřídelí a zároveň celou pneumatikou krouticí moment o velikosti cca 90Nm (Obr. 6-26). Pneumatika přitom byla protažena ve vodorovné rovině z původních 560mm na 642mm (Obr. 6-27). Velikost přitlačné síly F_p pak při maximálním posunutí přitlačné hřídele byla přibližně 700N (Obr. 6-28).



Obr. 6-26 Graf závislosti momentu M_1 na tažné síle F

Obr. 6-27 Graf závislosti rozměrů pneumatiky na tažné síle F Obr. 6-28 Graf závislosti momentu M_1 na přitlačné síle F_p

3. měření provedené na pneumatice First Stop Winter

Tab. 5 Hodnoty naměřené na pneumatice First Stop Winter

ČÍSLO MĚŘENÍ	P [mm]	A_1 [mm]	A_2 [mm]	B_1 [mm]	B_2 [mm]	M_1 [Nm]	M_2 [Nm]	F [N]
0	0	565	350	565	350	0	0,0	0
1	20	568	360	564	345	10	1,2	432
2	20	571	366	562	338	17	1,8	648
3	20	573	378	561	324	22	2,9	1079
4	10	575	385	558	319	29	3,7	1367
5	10	576	390	556	311	34	4,1	1511
6	10	580	393	551	304	41	6,1	2230
7	10	582	401	547	296	44	8,8	3238
8	10	585	410	543	291	47	10,8	3957
9	10	592	421	535	281	56	15,7	5756
10	10	596	429	531	274	67	18,6	6835
11	10	602	440	522	264	73	21,6	7914
12	10	611	449	512	253	87	26,5	9713
13	10	618	458	505	240	98	33,4	12231

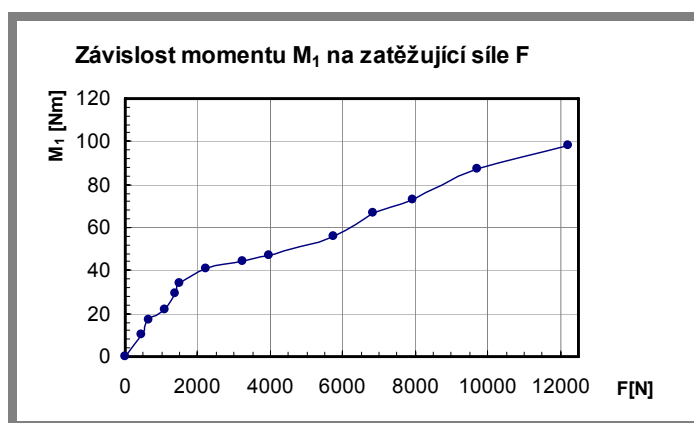
V Tab. 5 jsou hodnoty naměřené na pneumatice First Stop Winter. Toto měření bylo opět provedeno bez použití přitlačného válce. Měření číslo "0" je měření na nezatížené pneumatice. Dále bylo postupně provedeno 13 měření na již tahově zatížené pneumatice. Hodnota $P[\text{mm}]$ opět určuje o jakou vzdálenost je mezi jednotlivými měřeními posunuta pohyblivá hřídel. Síla F je rovněž vypočítána z M_2 .

V Tab. 6 jsou naměřené hodnoty při použití přitlačného válce. Při všech těchto měřeních (0 až 5) bylo zvoleno protažení pneumatiky o 95mm, při kterém byl bez použití přitlačné hřídele naměřen moment M_1 42Nm. Hodnota $P_P[\text{mm}]$ opět určuje o jakou vzdálenost je mezi jednotlivými měřeními posunuta přitlačná hřídel. Přitlačná síla F_P je vypočítána z momentu M_P .

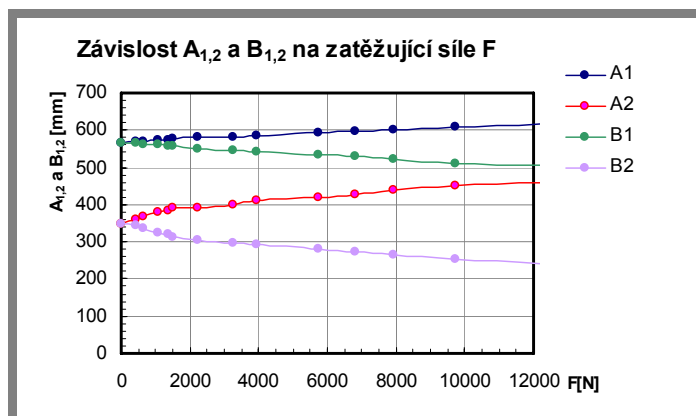
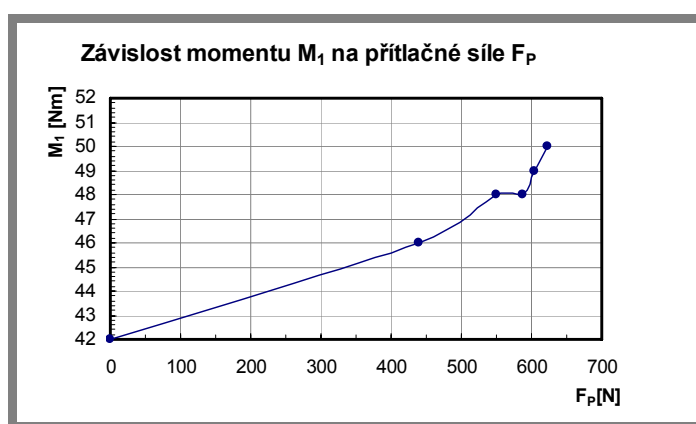
Tab. 6 Přitlačné síly naměřené na pneumatice First Stop Winter

ČÍSLO MĚŘENÍ	P_P [mm]	M_1 [Nm]	M_P [Nm]	F_P [N]
0	0	42	0,00	0
1	10	46	0,38	440
2	10	48	0,47	550
3	10	48	0,50	587
4	10	49	0,52	605
5	10	50	0,53	623

Na následujících třech obrázcích jsou znázorněny grafy jednotlivých naměřených či vypočítaných veličin. Pro maximální natažení byla z krouticího momentu na závitové tyči vypočítána maximální tažná síla cca 12500N. Při tomto maximálním natažení pak bylo nutné vyvinout pro otáčení hřídelí a zároveň celou pneumatikou krouticí moment o velikosti cca 100Nm (Obr. 6-29). Pneumatika přitom byla protažena ve vodorovné rovině z původních 565mm na 618mm (Obr. 6-30). Velikost přitlačné síly F_P pak při maximálním posunutí přitlačné hřídele byla přibližně 650N (Obr. 6-31).

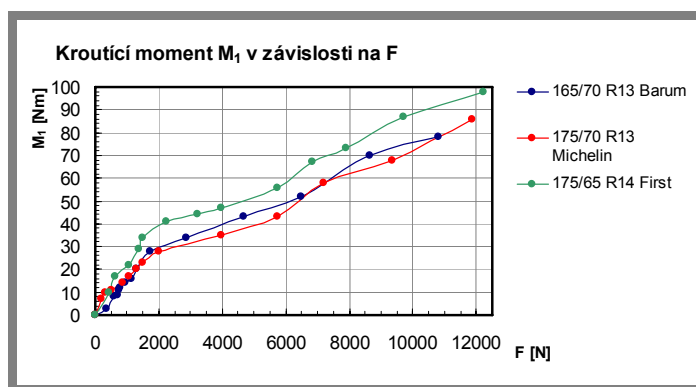


Obr. 6-29 Graf závislosti momentu M_1 na tažné síle F

Obr. 6-30 Graf závislosti rozměrů pneumatiky na tažné síle F Obr. 6-31 Graf závislosti momentu M_1 na přítláčné síle F_p

Celkové shrnutí výsledků měření

Na Obr. 6-32 je provedeno porovnání závislostí M_1 na F všech tří pneumatik. Z grafu je zřejmé podobné chování všech tří pneumatik - podobné síly potřebné k natažení pneumatiky a podobné krouticí momenty potřebné k rotaci pneumatiky. Lze tedy odhadovat, že podobné síly budou potřeba i pro jakékoliv jiné běžné pneumatiky, které mají stejné rozměry (13" až 15").

Obr. 6-32 Porovnání závislostí M_1 na F všech tří pneumatik

Na Obr. 6-33 je vidět fotografie natažené pneumatiky bez použití přitlačného hřídele a na Obr. 6-34 pak s použitím přitlačného hřídele.



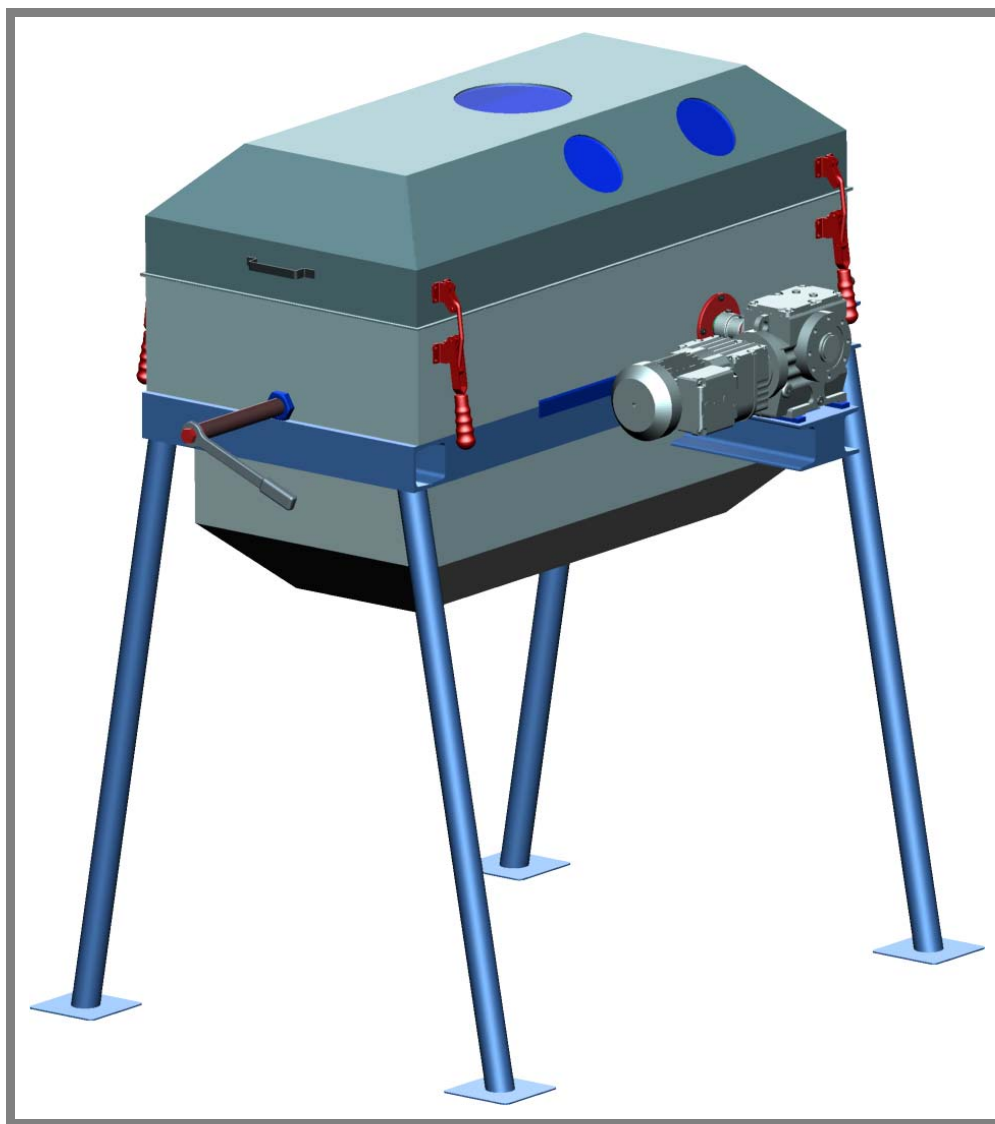
Obr. 6-33 Natažená pneumatika



Obr. 6-34 Použití přitlačného hřídele

6.3 Zkušební komora pro ozónovou degradaci pneumatik

Zkušební komora pro ozónovou degradaci pneumatik je navržena za účelem posouzení vhodnosti a použitelnosti zvoleného typu namáhání při rozpadu celých pneumatik za působení ozónu. Dále pak v této zkušební komoře budou zjišťovány časy, které jsou potřebné pro rozpad celých pneumatik a množství spotřebovaného ozónu potřebného pro rozpad jedné pneumatiky. Konečná vyhodnocení provedených zkoušek už však již nebudou součástí této diplomové práce. Při konstrukci komory je opět brán největší ohled především na co nejlevnější výrobu. Z ekonomických důvodů bylo pro výrobu této komory použito zařízení, které bylo určeno k měření sil potřebných k deformaci pneumatiky. Jelikož toto zařízení původně nebylo zkonstruováno k těmto účelům, musely se některé její součásti podrobit méně či více složitým konstrukčním úpravám. Na Obr. 6-35 je celkový pohled na návrh zkušební komory. V následujících kapitolách budou rozebrány jednotlivé její součásti.

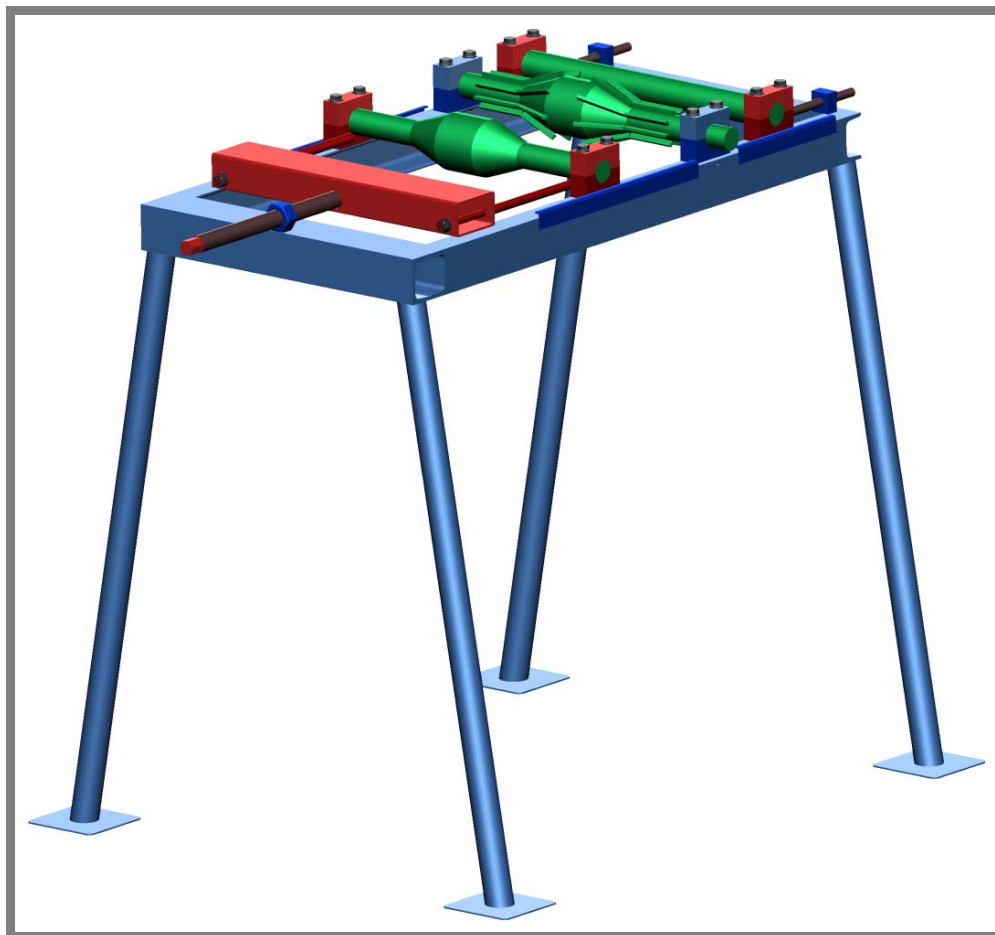


Obr. 6-35 Zkušební komora pro ozónovou degradaci pneumatik

6.3.1 Základ zkušební komory

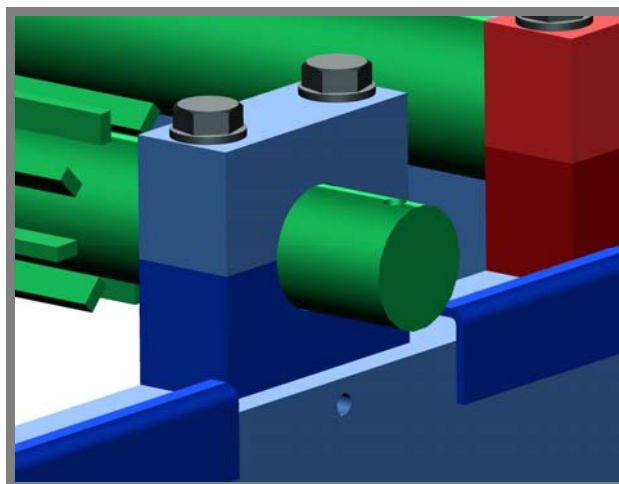
6.3.1

Jak již bylo řečeno, pro základ této zkušební komory bylo použito zařízení pro měření sil potřebných k deformaci pneumatiky (Obr. 6-36).



Obr. 6-36 Základ zkušební komory

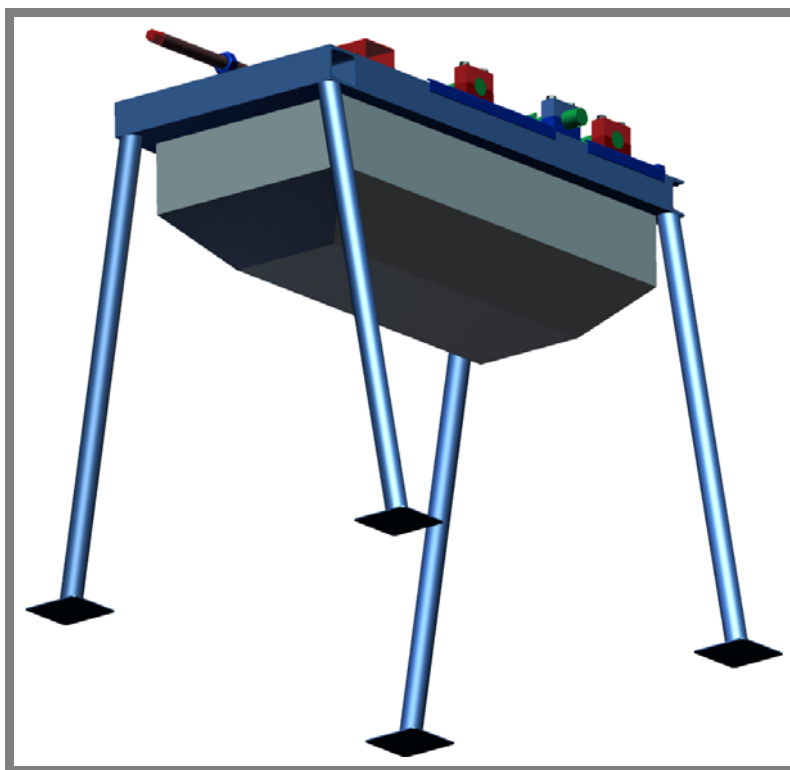
V této komoře budou probíhat zkoušky dlouhodobějšího charakteru, a proto bude olej v kluzných ložiscích nahrazen ložiskovými pouzdry. V tomto případě byla použita pouzdra 4020 KU podle [17]. Všechna kluzná ložiska tedy musejí být obrobena tak, aby se do nich tato pouzdra mohla vložit. Dále musela být upravena prostřední hřídel. Tato hřídel již nebude poháněna ručně ale pomocí motoru. Muselo zde být proto vymyšleno takové spojení, které by zajistilo, že hřídel bude demontovatelná kvůli výměnám zkoušených pneumatik a to bez manipulace s motorem, který bude tuto hřídel pohánět. Proto byl z konce hřídele odstraněn šestihran (Obr. 6-37). Spojení hřídele s motorem bude detailně rozebráno později.



Obr. 6-37 ukončení hřídele

6.3.2 Spodní kryty komory

Celá komora musí být vzduchotěsná, a proto nesmí být nikde místo, kde by mohl jedovatý ozón unikat. Spodní kryty můžete vidět na Obr. 6-38. Kryty jsou vyrobeny z tabulí plechu, které jsou napevno přivařeny k nosnému rámu. Kvůli menšímu objemu vzduchu uvnitř komory jsou stěny u dna skloněny pod úhlem 45° . Dno (vana) kvůli jednodušší konstrukci bylo navrženo jako neodnímatelné. Odpadlé kousky pryže se tedy budou odstraňovat ze dna celé komory vrchem po odstranění horního víka.

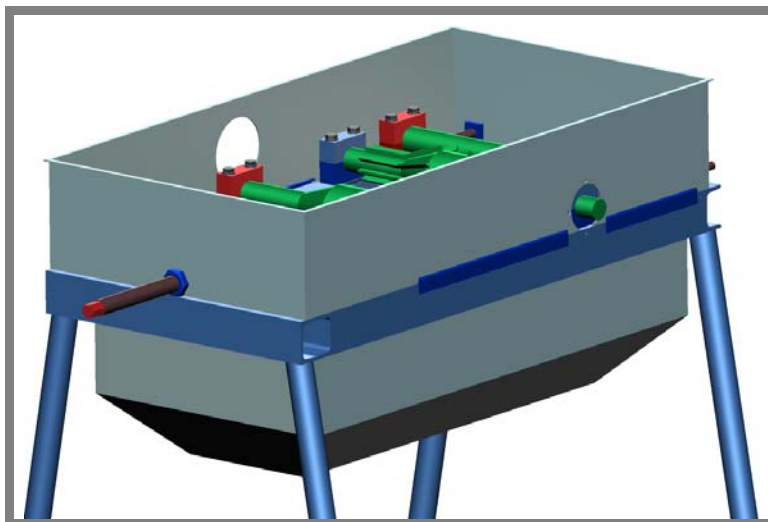


Obr. 6-38 Spodní kryty

6.3.3 Horní kryty komory

6.3.3

Horní kryty jsou vedeny po krajích rámu tak, aby se uvnitř mohly volně pohybovat hřídele v kluzných ložiscích (Obr. 6-39). V místě, kde vystupuje hřídel mimo komoru, je v plechu obrobena díra většího průměru. V horních částech všech krytů je přivařeno úzké osazení, na kterém bude umístěno těsnění pro utěsnění víka.

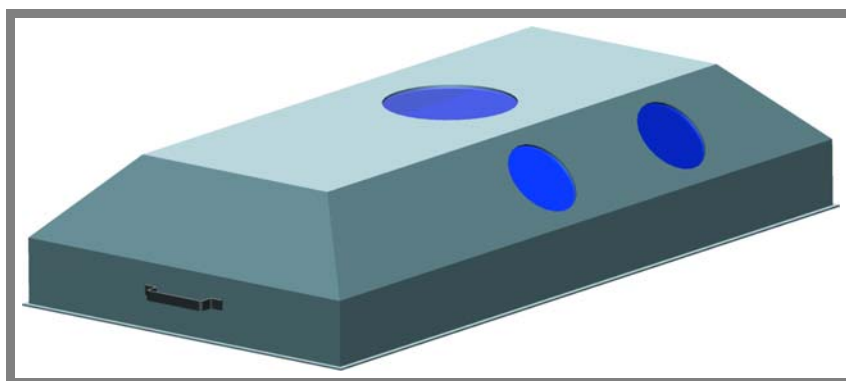


Obr. 6-39 Horní kryty

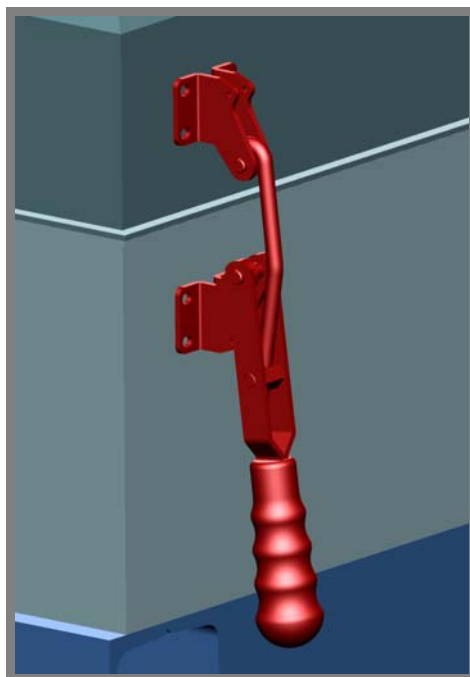
6.3.4 Víko

6.3.4

Celá komora je pak zakryta velkým víkem (Obr. 6-40), které má obdobný tvar jako spodní kryty komory. Víko má zespodu stejně úzké osazení jako vrchní kryty komory. Ve víku je několik skleněných průhledítek, kterými bude možno pozorovat průběh zkoušek rozpadu pneumatiky. Na přední a zadní straně víka jsou přivařena držadla, za která bude možno víko pohodlně vzít a sundat. Víko je ke komoře připevněno čtyřmi rychloupínkami (Obr. 6-41), díky kterým je odpojení víka od komory velmi rychlé. K tomuto spojení byly použity hákové rychloupínky RY-UP typ 425 [18]. Tyto rychloupínky jsou schopny vyvinout maximální přitlačnou sílu 2500N.



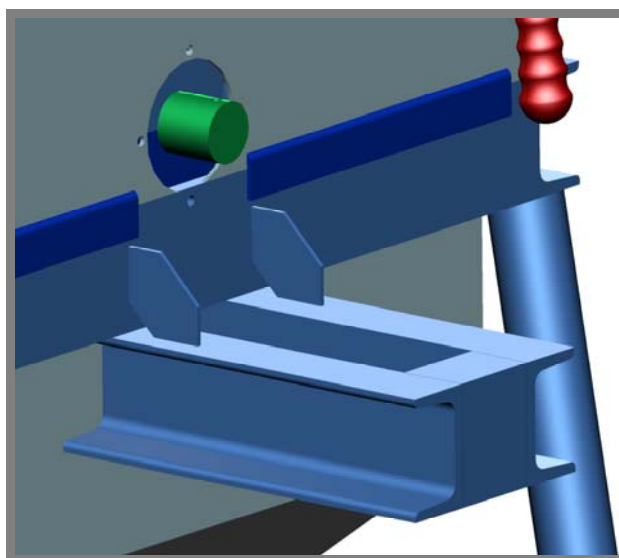
Obr. 6-40 Víko



Obr. 6-41 Rychloupinka

6.3.5 Konzolka

Konzolka slouží jako uchycení pro motor a je umístěna v místech, kde je vyvedena prostření hřídel (Obr. 6-42). Konzolka je přivařena zespodu základního rámu a je ze stejného profilu a materiálu jako je základní rám (profil U100 [13]). Pro vystužení uchycení celé konzolky jsou zde přivařena ještě dvě žebra.

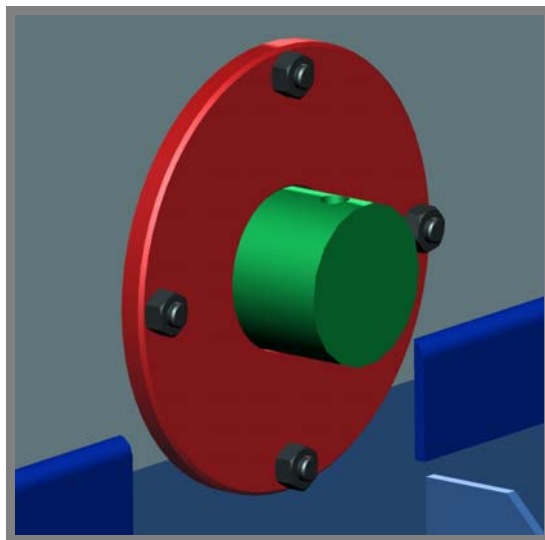


Obr. 6-42 Konzolka

6.3.6 Víčko s těsněním

6.3.6

Vývod hřídele je zakrytý víčkem (Obr. 6-43), ve kterém O-kroužek ze silikonové pryže SI 5105 [19], které je odolné vůči účinkům ozónu a zabrání tak jeho úniku v okolí hřídele. Víčko je zajištěno čtyřmi maticemi, které jsou našroubovány na čtyři šrouby napevno přivařenými zevnitř plechového krytu.

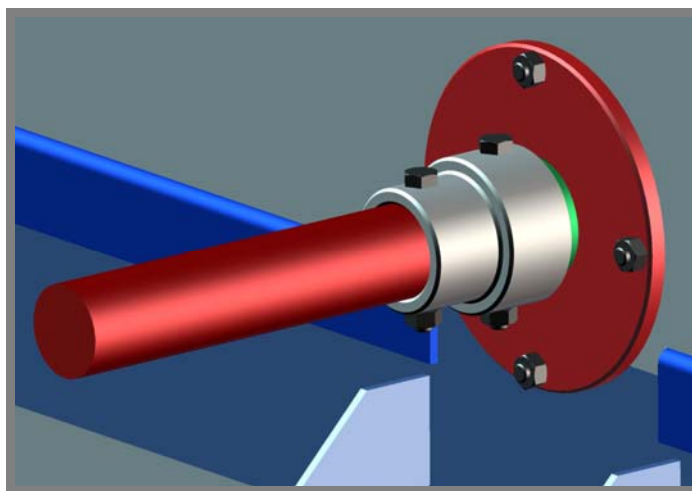


Obr. 6-43 Utěsnění hřídele

6.3.7 Spojka

6.3.7

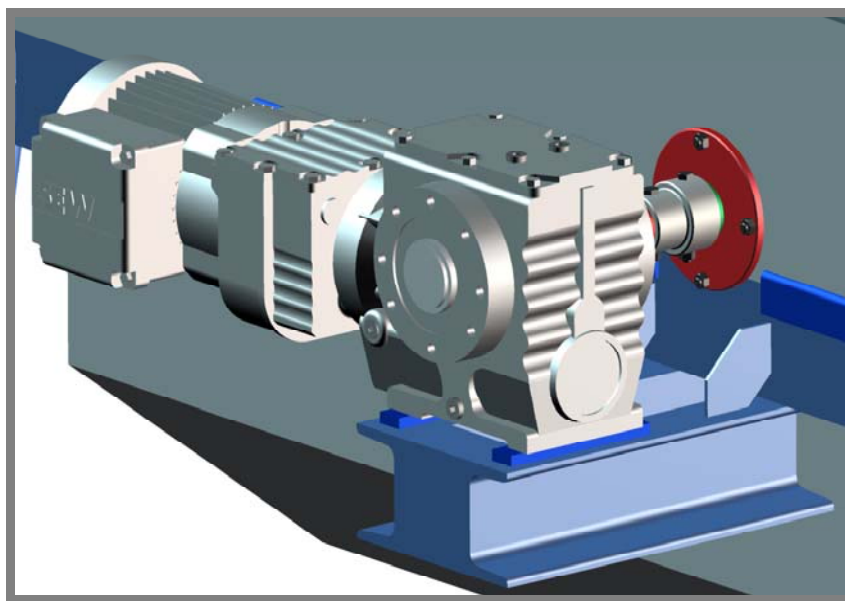
Přenos krouticího momentu je zajištěn pomocí speciální spojky a krátkého hřídele (Obr. 6-44), který je zasunut do převodového motoru. Spojka má tvar trubky, která má na svých krajích díry pro šrouby. Obě spojované hřídele mají ve stejném místě jako spojka také vyvrtány díry. Dírami jsou pak prostrčeny šrouby, které zajišťují přenos krouticího momentu. Při demontáži hřídele z vnitřku komory pak stačí odšroubovat matice, vytáhnout oba šrouby ze spojky a spojku posunout po krátkém hřídeli směrem k převodovému motoru. Při demontáži hřídele rovněž musí být odmontováno i víčko, které by také bránilo demontáži hřídele.



Obr. 6-44 Spojka

6.3.8 Převodový motor

Podle provedených měření (viz kapitola 6.2.3) je k otáčení hřídeli potřeba takový motor, který vyvine krouticí moment minimálně 100Nm. Při provozu ale mohou nastat situace, kdy bude potřeba dosáhnout vyššího krouticího momentu (např. dynamické rázy), a proto je zvolen požadovaný krouticí moment 300Nm. Jako optimální otáčky výstupního hřídele byly zvoleny 2 ot.s⁻¹. Těmto výstupním parametrům nejlépe vyhovují šnekové převodové motory. Pro pohon tedy byl zvolen převodový motor s označením SA57R17DR63S4 (Obr. 6-45) od firmy SEW-EURODRIVE [20,21]. Převodový motor je v přírubovém a nástrčném provedení a je napevno přišroubován ke konzole pomocí čtyř šroubů.



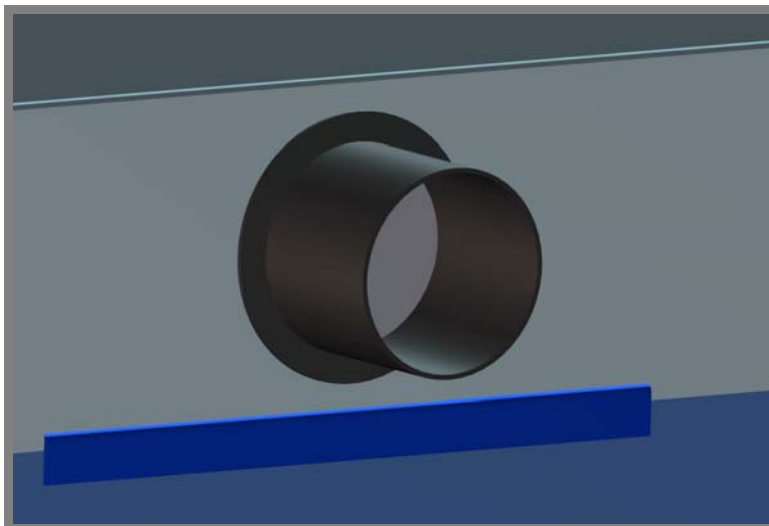
Obr. 6-45 Převodový motor od SEW-EURODRIVE

Parametry převodového motoru:

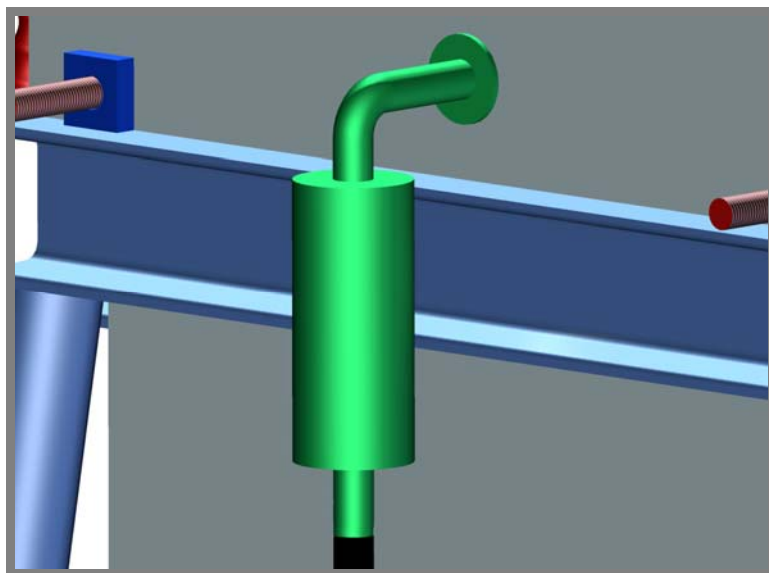
Jmenovitý výkon	0,12	[kW]
Otáčky motoru	1380	[min ⁻¹]
Výstupní otáčky	2,1	[min ⁻¹]
Výstupní moment	300	[Nm]
Jmenovité napětí	230/400	[V]
Jmenovitý proud	0,39	[A]
Dutá hřídel	30	[mm]
Hmotnost	22	[kg]

6.3.9 Ostatní části

Ke komoře musí opět být připojen vývod do komína (Obr. 6-46), kterým by unikly rychle expandující plyny v případě zahoření. Ve vývodu je membrána, která se případným vyšším tlakem poruší a propustí plyny směrem do komína. Membrána může být např. z alobalu. Dále zde musí být stejně jako v případě zkušební stanice destruktor ozónu (Obr. 6-47), dále přívod ozónu a oxidu uhličitého.



Obr. 6-46 Vývod do komína



Obr. 6-47 Destruktor ozónu

6.4 Linka pro ozónový rozpad pneumatik

6.4

V této kapitole bude popsán schematický návrh linky pro ozónový rozpad pneumatik. Navržená linka je určena pro rozpad vždy jen jediné pneumatiky a bude sloužit jako ověřovací zařízení, kterým se prokáže použitelnost navrhnutého způsobu namáhání při hromadné likvidaci pneumatik. Dále tato linka bude sloužit k ověření ekonomické kalkulaci rozpadu pneumatik pomocí ozónu. Návrh této linky je řešen pouze schematicky.

6.4.1 Schematický návrh linky - varianta 1

Na následujících třech obrázcích je zobrazen návrh linky – pohled z boku (Obr. 6-48), pohled zepředu (Obr. 6-49) a pohled shora (Obr. 6-50). Pod obrázky je pak popis jednotlivých komponent. Linka je ve formě boxu, určeného pro rozpad vždy jen jediné pneumatiky. Celý box je postaven na čtyřech nohách.

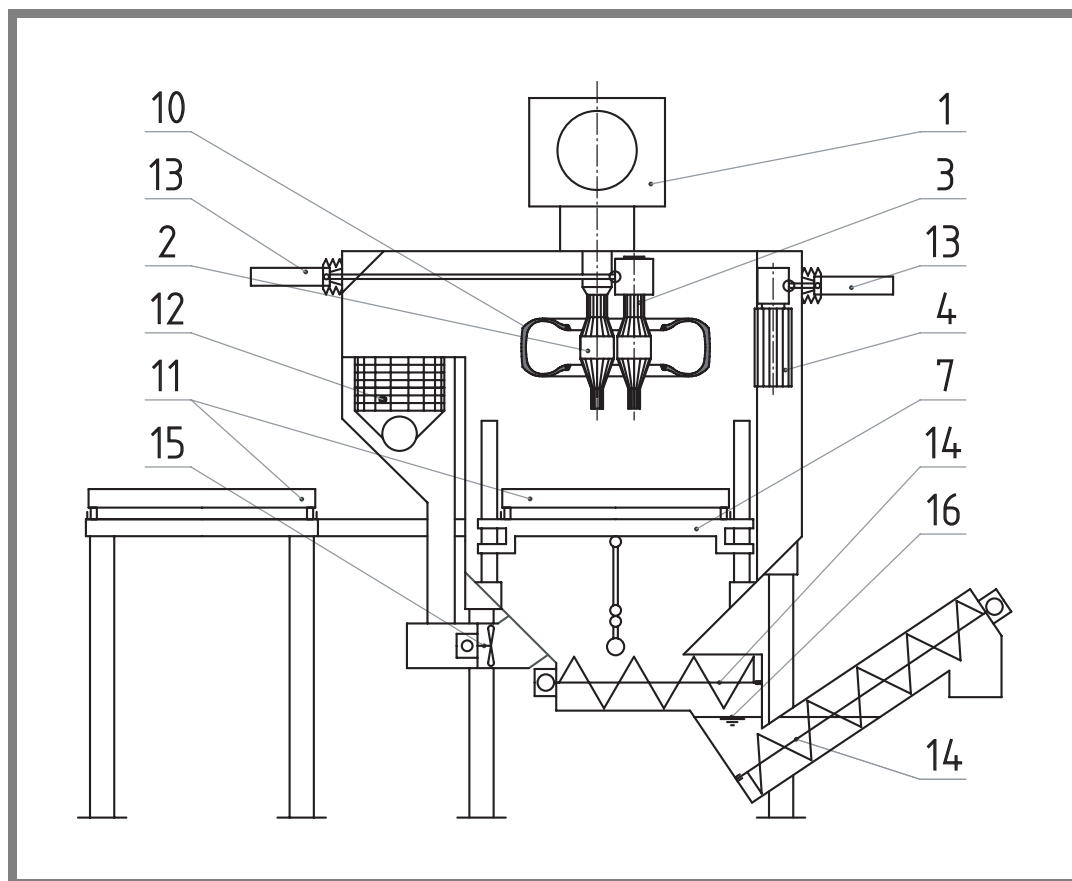
Princip mechanického namáhání pneumatik je stejný jako v případě zkušební komory. Pneumatiky tedy jsou roztahovány pomocí dvou rovnoběžných rotačně uložených hřídelů. V tomto případě jsou ale hřídele uloženy letmo. Tvar hřídelů je také stejný jako v případě zkušební komory. Průměry hřídelů byly zvětšeny z důvodu většího ohybového napětí způsobeného letmým uložením hřídelů. Jeden hřídel je uložen nepohyblivě a druhý hřídel je uložen na pohyblivém rameni. Pohyblivé rameno se pohybuje pomocí tlačného pneumatického válce. Tím se od sebe mohou hřídele oddalovat. Nepohyblivý hřídel je poháněn motorem. U stěny boxu je pak umístěn ještě jeden přítlačný válec. Tento válec je také umístěn na pohyblivém rameni, které se pohybuje také pomocí pneumatického válce.

Pneumatiky jsou do prostoru boxu dopravovány na vozíčku po kolejnicích. Vozíček s celou pneumatikou se zastaví v prostoru pod oběma hřídeli, kde se nachází zdvižná deska. Tato deska se i s vozíčkem a pneumatikou pomocí dalšího pístu vysune nahoru směrem k hřídelům. Poté se hřídele roztáhnou a pneumatika zůstane natažená na hřídelích a deska i s vozíčkem se spustí dolů. Poté následuje rozpad pneumatiky pomocí ozónu.

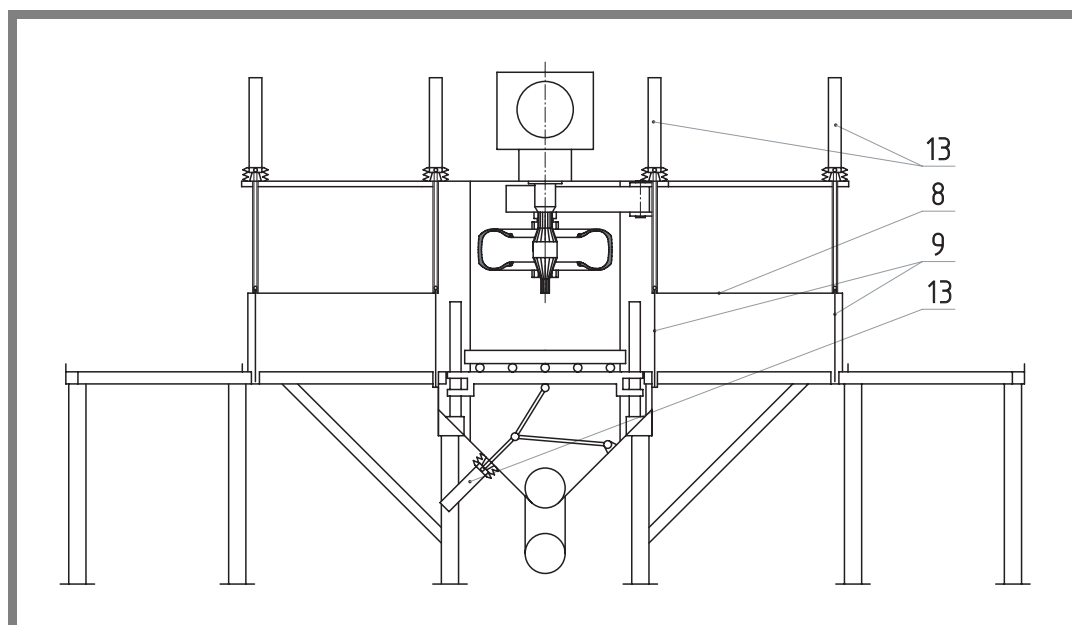
Na dně celého boxu jsou dva šnekové dopravníky, které dopravují kousky odpadlé pryže mimo linku. Aby nedocházelo k úniku ozónu skrze dopravníky, je v části druhého dopravníku voda. Malé prachové částice rozpadlé pryže se nesmí hromadit na žádných místech a musejí být rovněž dopravovány pryč mimo linku. To je zajištěno pomocí ventilátoru umístěného v dolní části boxu. Ventilátor zajistí cirkulaci vzduchu uvnitř boxu a bude vhánět malé prachové částice do prachového filtru v horní části boxu. Proud vzduchu musí být tak silný, aby sebou odnášel jen prachové částice a větší kousky pryže nechal propadávat dolů do šnekových dopravníků. Od prachového filtru vedou opět dva šnekové dopravníky, které dopravují pryč prachové částice pryže. V části druhého dopravníku je opět voda, která zabrání úniku ozónu skrze tyto dopravníky.

Před i za boxem jsou komory, ze kterých se vždy odsaje ozón uniklý z boxu při otevření vnitřních dvířek. Před otevřením vnějších dvířek se tedy musí vždy odsát z prostoru komory všechný jedovatý ozón. Dvířka se vysouvají pomocí pneumatických válců směrem nahoru.

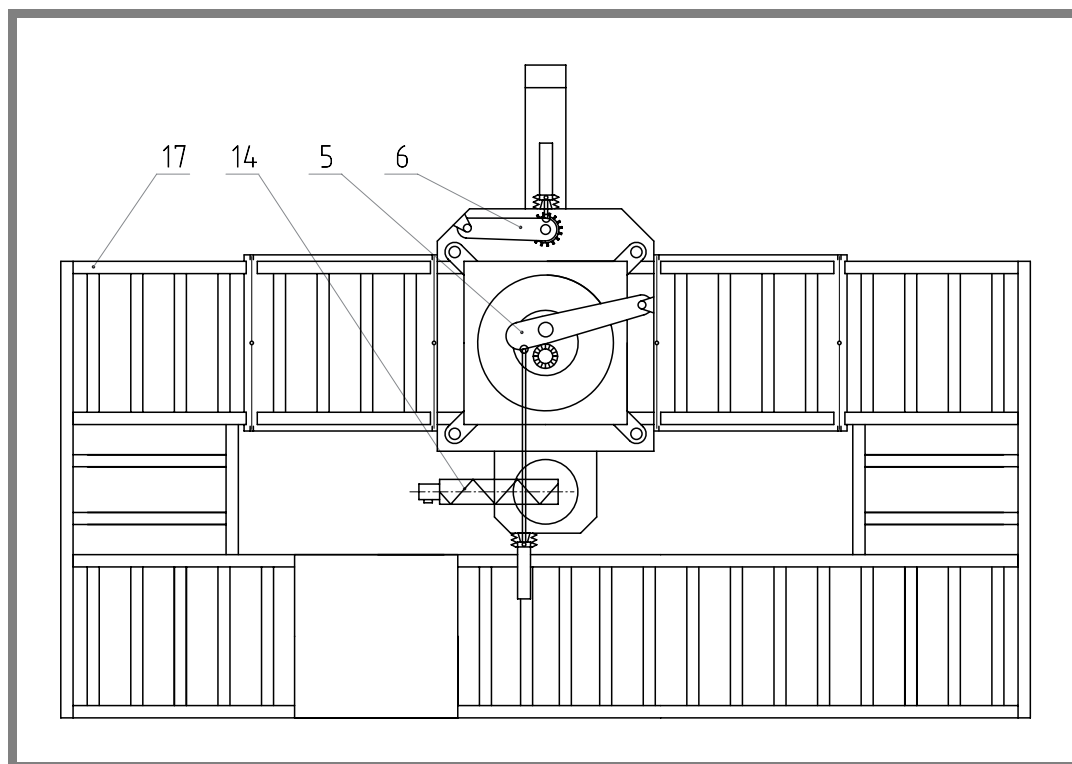
Vozíček s pneumatikou na jedné straně vjede do boxu skrze vstupní komoru a na straně druhé vyjede vozíček s nerozpadlými částmi pneumatik skrze výstupní komoru. Tyto zbylé části se budou z vozíku ručně odstraňovat. Na vozík se pak umístí nová pneumatika a celý proces se opakuje. Kolem celého boxu je systém kolejnic, který zajistí přemístění vozíku zpět ke vstupní komoře. Po systému kolejnic se může pohybovat i více vozíků najednou, což by umožnilo během rozpadu jedné pneumatiky zároveň připravovat další pneumatiku pro rozpad nebo odstraňovat nerozpadlé části pneumatiky.



Obr. 6-48 Schéma linky – pohled z boku (varianta 1)



Obr. 6-49 Schéma linky – pohled zepředu (varianta 1)



Obr. 6-50 Schéma linky – pohled shora (varianta 1)

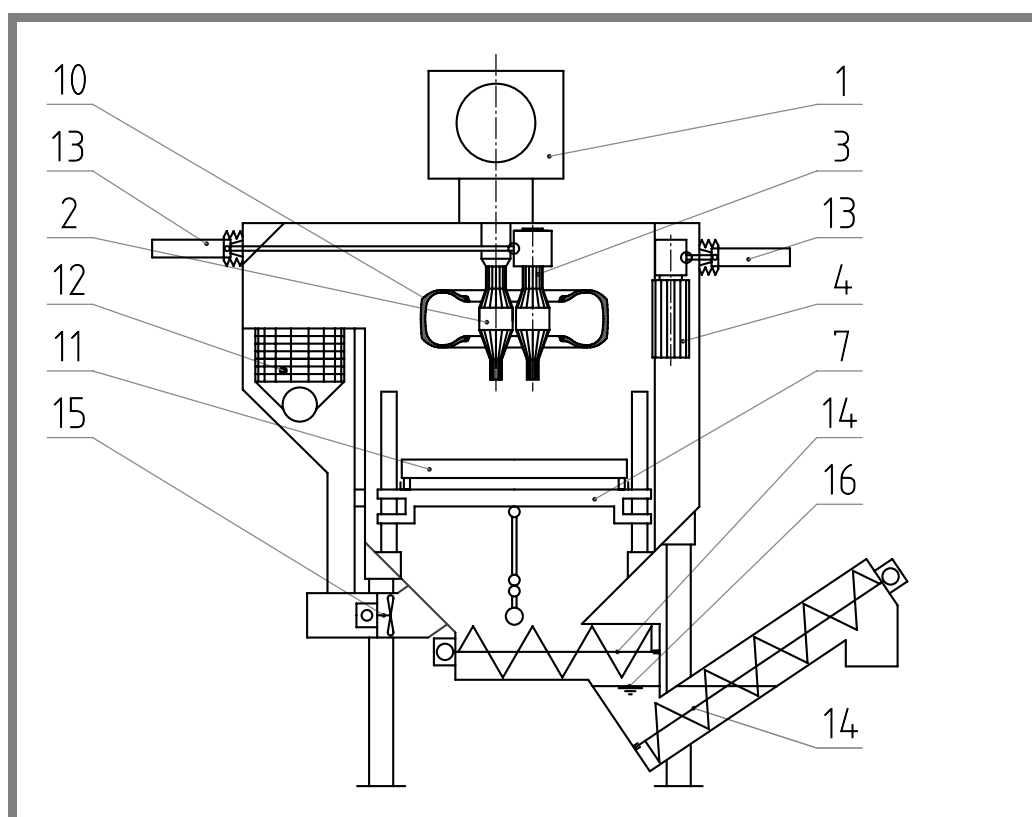
Popis komponent:

- 1 - motor
- 2 - hřídel poháněná motorem
- 3 - hřídel uložená v pohyblivém rameni
- 4 - přítlačný válec
- 5 - pohyblivé rameno
- 6 - pohyblivé rameno přítlačného válce
- 7 - zdvižná deska
- 8 - vstupní/výstupní komora
- 10 - pneumatika určená k rozpadu
- 11 - dopravní vozíky
- 12 - prachový filtr
- 13 - pneumatické válce
- 14 - šnekový dopravník
- 15 - ventilátor
- 16 - vodní hladina
- 17 - kolejnice

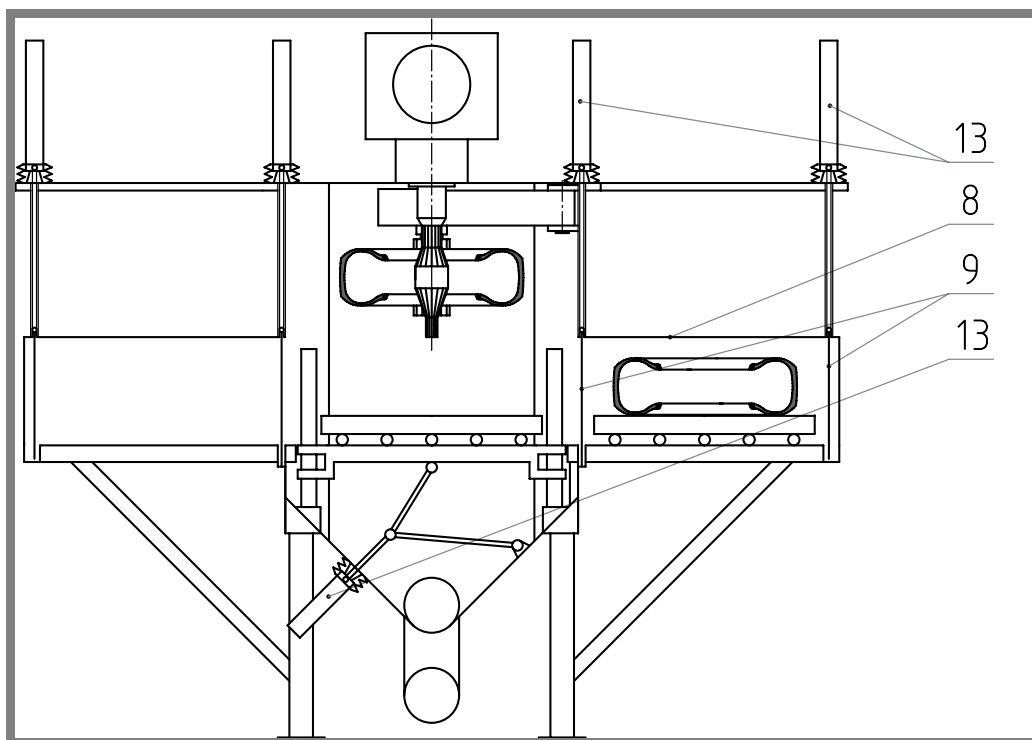
6.4.2 Schematický návrh linky - varianta 2

6.4.2

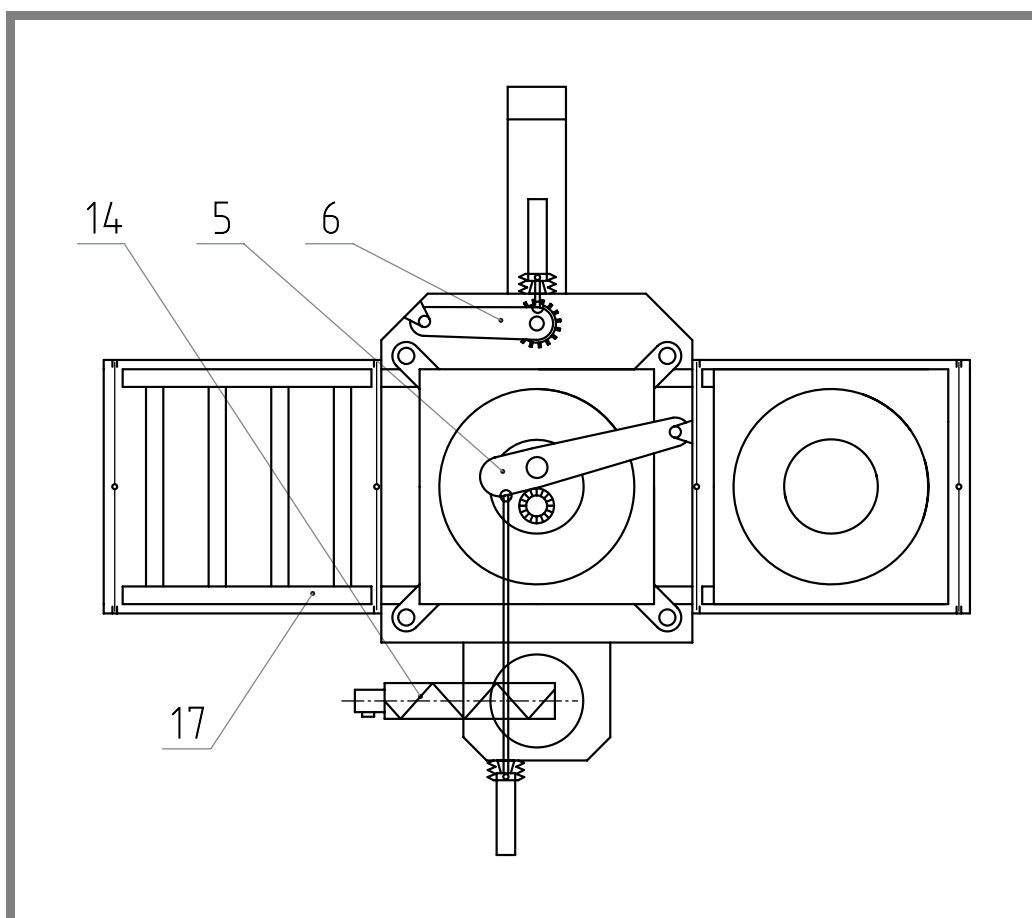
Na následujících třech obrázcích je návrh druhé varianty linky – pohled z boku (Obr. 6-51), pohled zepředu (Obr. 6-52) a pohled shora (Obr. 6-53). Tato varianta se od první varianty liší tím, že zde nebude trať s kolejnicemi okolo celé linky. Výhodou této varianty jsou menší rozměry celé linky a dále také levnější výroba linky. V lince se budou pohybovat dva vozíky najednou. Není zde rozlišena vstupní a výstupní komora. Obě komory jsou vstupní a zároveň výstupní. Na jedné straně se na první vozík umístí pneumatika a vozík s pneumatikou se posune směrem do komory. Nerozpadlé části pneumatiky po rozpadu pak na vozíku opustí box stejnou komorou, kterou se do ní vozík přesunul. Zároveň se do boxu z opačné strany může přemístit druhý vozík s již připravenou pneumatikou. Během rozpadu se pak odstraní z prvního vozíku nerozpadlé části pneumatiky a připraví se pneumatika nová.



Obr. 6-51 Schéma linky – pohled z boku (varianta 2)



Obr. 6-52 Schéma linky – pohled zepředu (varianta 2)

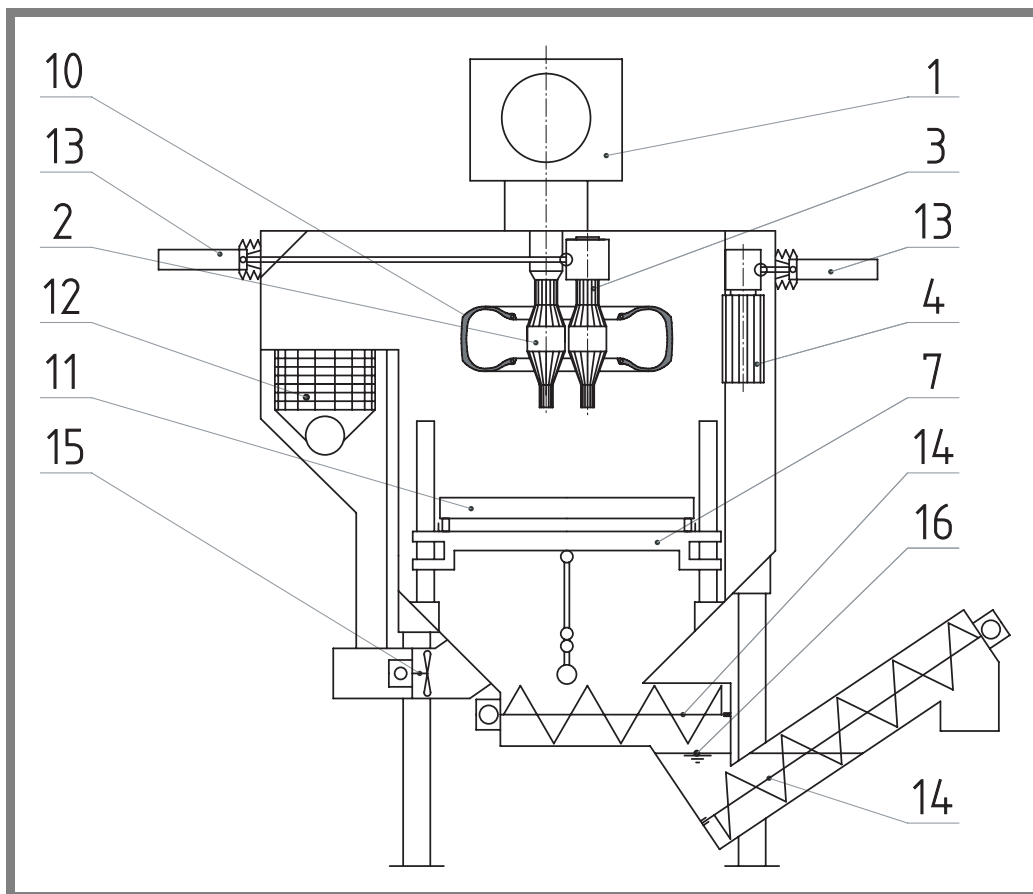


Obr. 6-53 Schéma linky – pohled shora (varianta 2)

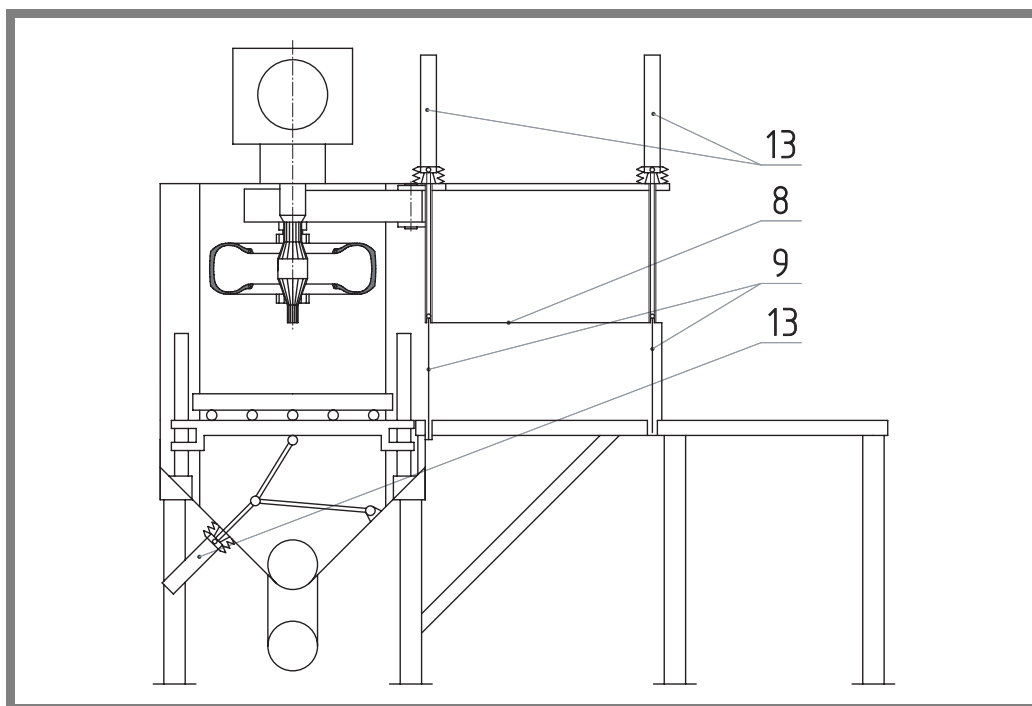
6.4.3 Schematický návrh linky - varianta 3

6.4.3

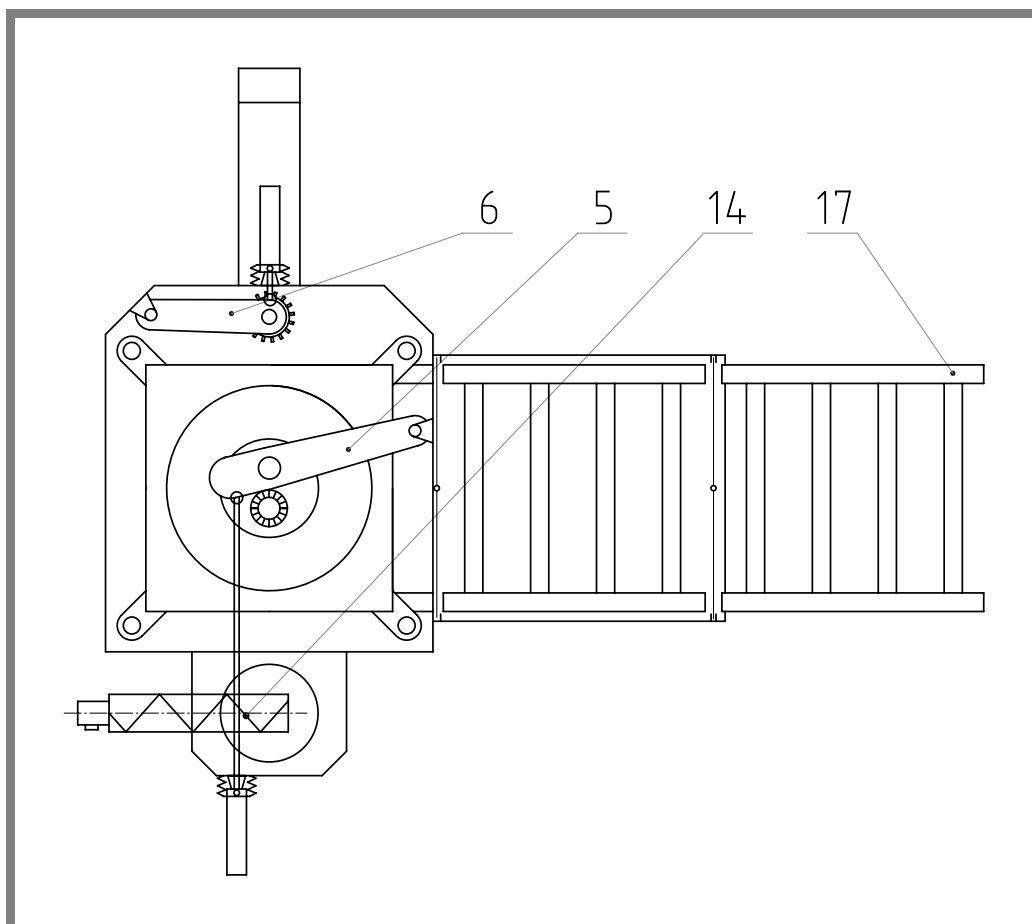
Na následujících třech obrázcích je návrh třetí varianty linky – pohled z boku (Obr. 6-54), pohled zepředu (Obr. 6-55) a pohled shora (Obr. 6-56). Tato varianta se od druhé varianty liší tím, že zde bude pouze jeden vozík. Tento vozík bude zajíždět a vyjíždět z boxu pouze přes jednu komoru. Výhodou této varianty jsou menší rozměry celé linky. Nevýhodou je pak použití pouze jediného vozíku. To neumožňuje přípravu nové pneumatiky, zatímco se jiná pneumatika bude rozpadat.



Obr. 6-54 Schéma linky – pohled z boku (varianta 3)



Obr. 6-55 Schéma linky – pohled zepředu (varianta 3)



Obr. 6-56 Schéma linky – pohled shora (varianta 3)

7 KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ

Cílem této diplomové práce bylo stanovení optimálního způsobu zatěžování pneumatik a konstrukční návrh zkušební komory pro ozónovou degradaci ojetých pneumatik o rozměrech 13" až 15". Konstrukce zkušební komory vyplynula právě ze zvoleného zatěžování pneumatik. Konečným výstupem diplomové práce je pak schematický návrh linky pro sériovou likvidaci opotřebovaných pneumatik pomocí ozónu.

Zpočátku byla navržena malá zkušební stanice, ve které se prováděly zkoušky rozpadu segmentu pneumatiky. Na základě těchto zkoušek byl stanoven optimální způsob zatěžování pneumatik. Dále bylo potřeba zjistit velikosti sil, které jsou potřebné pro zvolené zatěžování pneumatik. K tomuto účelu bylo navrženo a vyrobeno měřicí zařízení. Toto zařízení bylo navrženo včetně kompletní výkresové dokumentace. Po naměření těchto sil byla navržena zkušební komora pro ozónový rozpad pneumatik. Tato komora bude sloužit ke zkouškám rozpadu celých pneumatik a k ověření použitelnosti zvoleného způsobu zatěžování pneumatik. Zkušební komora byla navržena ve formě 3D modelu v programu Autodesk Inventor 2008. Z ekonomických důvodů byla komora vyrobena konstrukčními úpravami z výše zmíněného měřicího zařízení.

Dále zde byl proveden návrh linky pro sériovou likvidaci ojetých pneumatik pomocí ozónu. Tato linka byla navržena pouze schematicky bez řešení konstrukčních detailů. Linka by měla sloužit jako ověřovací zařízení, kterým by se měla zjistit ekonomická návratnost tohoto způsobu likvidace ojetých pneumatik.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Barum Continental - Konstrukce pneumatik*. [online]. [cit. 2008-04-07]. URL: < http://www.conti-online.com/generator/www/cz/cz/barum/automobil/temata/vyber_pneumatiky/karkasse_cz. >
- [2] *Michaelin - Konstrukce pneumatiky*. [online]. [cit. 2008-04-07]. URL: < http://www.michelin.cz/cz/auto/auto_cons_bib_qu_est_pne.jsp >
- [3] *Construction of the tyres*. [online]. [cit. 2008-04-07]. URL: < <http://www.tyre.ie/faq.html> >
- [4] ECO trend s.r.o. *Stanovení procenta recyklace pneumatik ve vazbě na technické a ekonomické možnosti získaných produktů: Projekt MŽV VaV/720/4/03, Oddíl I, Oddíl II*. [online]. Praha: 2004. Závěrečná zpráva za rok 2004. [cit. 2008-04-05]. URL: < [http://www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/\\$pid/MZPITF84VMXB](http://www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/$pid/MZPITF84VMXB) >
- [5] PTÁČEK, L., KOLEKTIV. *Nauka o materiálu II*. 2. opravené a rozšiřující vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. vii, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [6] *KAHL Recycling Plants for Waste Tyres*. [online]. [cit. 2008-04-15]. URL: < http://www.akahl.de/inc/opensoc.php?id=159&type=t_documents >
- [7] Procon-CL a.s. *Likvidace pryže v ozonové atmosféře: Zhodnocení stavu k 28.3.2008*. Česká Lípa: 2008. 20 s. Přehled současného stavu poznání.
- [8] Zpravodajský server hospodářských novin. *Na pneumatiky ozonem*. [online]. [cit. 2008-03-20]. 2006. URL: < http://ihned.cz/3-19273920-Kysilka-000000_d-e0 >
- [9] GUTFREUND, E., et al. *Zařízení pro zpracování průmyslového pryžového a plastového odpadu*. [online]. Patent CZ 284889 B6. 1999. [cit. 2008-14-5]. URL: < <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/284/284889.pdf> >
- [10] Procon-CL a.s. *Likvidace pryže v ozonové atmosféře: Zhodnocení stavu k 11.12.2007*. Česká Lípa: 2007. 14 s. Protokol o měření
- [11] Procon-CL a.s. *Likvidace pryže v ozonové atmosféře 2: Zhodnocení stavu k 9.4.2008*. Česká Lípa: 2008. 18 s. Protokol o měření
- [12] *Elrning - Těsnící tmely*. [online]. [cit. 2008-05-01]. URL: < http://www.ekag1.de/pdf/dm/Dichtmassen_CZ_5.pdf >
- [13] *Sortimentní katalog FERONA a.s.* [online]. [cit. 2007-11-11]. URL: < <http://62.168.62.45/cze/katalog/search.php?kat=1> >
- [14] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Třetí a doplněné vydání. Praha: Pedagogické nakladatelství Scientia, 1999. xiv, 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [15] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., PROKEŠ, F. *Základy konstruování*. 2. přepracované vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 200 s. ISBN 80-7204-306-4.
- [16] Hartl, M. *Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Ústav konstruování: Části a mechanismy strojů I*. Přednáška 5. 2005.
- [17] *Kluzná ložiska – Exvalos*. [online]. [cit. 2008-03-23]. URL: < http://www.exvalos.cz/soubory/Image/kluzna_loziska/ku02max.gif >
- [18] *Upínací nářadí – JC-Metal*. [online]. [cit. 2008-03-30]. URL: < http://www.jc-metal.cz/hakove-upinky?d=401_415 >
- [19] *O-kroužky – K&F Technická guma*. [online]. [cit. 2008-03-23]. URL: < <http://www.guma.cz/o-krouzky.htm> >

- [20] *Převodové motory – SEW-EURODRIVE*. [online]. [cit. 2008-04-07]. URL:
< <http://www.sew-eurodrive.cz/> >
- [21] *EKAT / 4.21 – Electronic product katalog – SEW-Eurodrive*. [CD-ROM].
- [22] DOČKAL, V., KOVANDA, J., HRUBEC, F. *Pneumatiky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. 71s. ISBN 80-01-01882-2
- [23] SOBEK, E., et al. *Základy konstruování: Návod pro konstrukční cvičení* . 6. přepracované vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 53 s. ISBN 80-7204-331-5.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

3D	- trojrozměrný
ČSN	- česká státní norma
PA	- polyamid
TPE	- termoplastický elastomer
TPE-PP	- termoplastický polypropylen
Na OH	- hydroxid sodný
C-S	- vazby uhlíku a síry
CO ₂	- oxid uhličitý
A ₁ [mm]	- vnější vodorovný rozměr protažené pneumatiky
A ₂ [mm]	- vnitřní vodorovný rozměr protažené pneumatiky
B ₁ [mm]	- vnější svislý rozměr protažené pneumatiky
B ₂ [mm]	- vnitřní svislý rozměr protažené pneumatiky
d _m [mm]	- střední průměr závitu
l [mm]	- rozteč závitu
M ₁ [Nm]	- moment potřebný k otáčení pneumatikou
M ₂ [Nm]	- moment potřebný k natahování pneumatiky pomocí závitové tyče
M _p [Nm]	- moment potřebný k přitlačování přitlačného válce pomocí matic na závitových tyčích
F [N]	- síla potřebná k natahování pneumatiky vypočtená z M ₂
F _p [N]	- síla potřebná k přitlačování přitlačného válce vypočtená z M _p
P [mm]	- velikost posunutí pohyblivé hřídele mezi jednotlivými měřeními
P _p [mm]	- velikost posunutí přitlačné hřídele mezi jednotlivými měřeními
π [1]	- Ludolfovo číslo
α [°]	- úhel profilu závitu
μ [1]	- součinitel tření v závitech

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1-1 Konstrukce pneumatiky [1]	13
Obr. 1-2 Konstrukce diagonální pneumatiky [3].....	14
Obr. 1-3 Konstrukce radiální pneumatiky [3]	14
Obr. 1-4 Graf materiálového složení pneumatiky [4]	17
Obr. 1-5 Mlecí stroj firmy KAHL [6]	19
Obr. 1-6 Schéma linky [9].....	21
Obr. 5-1 Schematické zobrazení principu namáhání pneumatiky.....	25
Obr. 6-1 Schéma zkušební stanice (pohled zepředu)	27
Obr. 6-2 Schéma zkušební stanice (pohled shora)	27
Obr. 6-3 3D model návrhu zkušební stanice [10]	28
Obr. 6-4 Fotografie vyrobené zkušební stanice [10].....	29
Obr. 6-5 Fotografie částečně rozpadlé pneumatiky [10].....	30
Obr. 6-6 Odpadlé kousky pryže z pneumatiky [10]	30
Obr. 6-7 Graf závislosti destrukce pryže na natažení [11]	31
Obr. 6-8 Graf časové závislosti destrukce pryže na koncentraci ozónu [11]	32
Obr. 6-9 Graf časové závislosti destrukce pryže na teplotě pryže [11].....	32
Obr. 6-10 3D model zařízení pro měření sil potřebných k deformaci pneumatiky.....	33
Obr. 6-11 Svařovaný rám	34
Obr. 6-12 Kluzná ložiska napevno přišroubovaná k rámu	35
Obr. 6-13 Uložení hřídele.....	35
Obr. 6-14 Uložení posuvného hřídele	36
Obr. 6-15 Připevnění příčnicku.....	36
Obr. 6-16 Pohyblivé uložení příčnicku a závitové tyče	37
Obr. 6-17 Pohyblivé uložení závitové tyče na nosném rámu	37
Obr. 6-18 Vodící lišty	38
Obr. 6-19 Přítlačný hřídel.....	38
Obr. 6-20 Vodící lišta v místě přítlačného hřídele	39
Obr. 6-21 Fotografie vyrobeného měřicího zařízení	39
Obr. 6-22 Schéma měřených veličin	40
Obr. 6-23 Graf závislosti momentu M_1 na tažné síle F	43
Obr. 6-24 Graf závislosti rozměrů pneumatiky na tažné síle F	43
Obr. 6-25 Graf závislosti momentu M_1 na přítlačné síle F_p	44
Obr. 6-26 Graf závislosti momentu M_1 na tažné síle F	45
Obr. 6-27 Graf závislosti rozměrů pneumatiky na tažné síle F	46
Obr. 6-28 Graf závislosti momentu M_1 na přítlačné síle F_p	46
Obr. 6-29 Graf závislosti momentu M_1 na tažné síle F	47
Obr. 6-30 Graf závislosti rozměrů pneumatiky na tažné síle F	48
Obr. 6-31 Graf závislosti momentu M_1 na přítlačné síle F_p	48
Obr. 6-32 Porovnání závislosti M_1 na F všech tří pneumatik.....	48
Obr. 6-33 Natažená pneumatika.....	49
Obr. 6-34 Použití přítlačného hřídele.....	49
Obr. 6-35 Zkušební komora pro ozónovou degradaci pneumatik.....	50
Obr. 6-36 Základ zkušební komory.....	51
Obr. 6-37 ukončení hřídele.....	52
Obr. 6-38 Spodní kryty	52
Obr. 6-39 Horní kryty	53
Obr. 6-40 Víko	53
Obr. 6-41 Rychloupínka.....	54
Obr. 6-42 Konzolka.....	54

Obr. 6-43 Utěsnění hřídele.....	55
Obr. 6-44 Spojka.....	55
Obr. 6-45 Převodový motor od SEW-EURODRIVE.....	56
Obr. 6-46 Vývod do komína	57
Obr. 6-47 Destruktor ozónu	57
Obr. 6-48 Schéma linky – pohled z boku (varianta 1)	59
Obr. 6-49 Schéma linky – pohled zepředu (varianta 1)	59
Obr. 6-50 Schéma linky – pohled shora (varianta 1)	60
Obr. 6-51 Schéma linky – pohled z boku (varianta 2)	61
Obr. 6-52 Schéma linky – pohled zepředu (varianta 2)	62
Obr. 6-53 Schéma linky – pohled shora (varianta 2)	62
Obr. 6-54 Schéma linky – pohled z boku (varianta 3)	63
Obr. 6-55 Schéma linky – pohled zepředu (varianta 3)	64
Obr. 6-56 Schéma linky – pohled shora (varianta 3)	64

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Hodnoty naměřené na pneumatice Barum Brillantis	42
Tab. 2 Přítlačné síly naměřené na pneumatice Barum Brillantis	43
Tab. 3 Hodnoty naměřené na pneumatice Michelin Enenergy	44
Tab. 4 Přítlačné síly naměřené na pneumatice Michelin Enenergy	45
Tab. 5 Hodnoty naměřené na pneumatice First Stop Winter	46
Tab. 6 Přítlačné síly naměřené na pneumatice First Stop Winter	47

SEZNAM PŘÍLOH

Vytištěné přílohy:

Příloha 1:

ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ	1-Zd-92/00	- výkres sestavení
KOSTRA	1-Zd-92/01/00	- výkres svarku
VÁLEC	3-Zd-92/02/00	- výkres svarku
HŘÍDEL 1	3-Zd-92/02/01	- výrobní výkres
HŘÍDEL 2	3-Zd-92/03	- výrobní výkres
PŘÍTLAČNÁ HŘÍDEL	4-Zd-92/04	- výrobní výkres
PŘÍČNÍK	3-Zd-92/05	- výrobní výkres
ZÁVITOVÁ TYČ	4-Zd-92/06	- výrobní výkres
DOLNÍ NÁBOJ	4-Zd-92/07	- výrobní výkres
HORNÍ NÁBOJ	4-Zd-92/08	- výrobní výkres
TÁHLO 1	4-Zd-92/09	- výrobní výkres
TÁHLO 2	4-Zd-92/10	- výrobní výkres
VODÍCÍ LIŠTA 1	4-Zd-92/01/01	- výrobní výkres
VODÍCÍ LIŠTA 2	4-Zd-92/01/02	- výrobní výkres
KOSTKA	4-Zd-92/01/03	- výrobní výkres