



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

ZAŘÍZENÍ PRO SIMULACI REKUPERACE ENERGIE VOZIDEL

EQUIPMENT TO VEHICLES ENERGY RECOVERY SIMULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MATÚŠ RANUŠA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. JOSEF NEVRLÝ, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Matúš Ranuša

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Zařízení pro simulaci rekuperace energie vozidel

v anglickém jazyce:

Equipment to vehicles energy recovery simulation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je konstrukční návrh laboratorního hydraulického obvodu (stendu) pro simulaci rekuperace energie u užitkových vozidel s těmito parametry: vysokotlaký hydraulický obvod s hydrogenerátorem, vysokotlakým a nízkotlakým akumulátorem, hydrostatickým převodníkem hydrogenerátor/hydromotor, setrvačником, spojovacími, řídicími a měřicími prvky, napojenými na měřicí techniku

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci):

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr (Konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Forma práce: Průvodní zpráva, technická dokumentace

Typ BP: konstrukční

Účel zadání: pro potřeby průmyslu

Seznam odborné literatury:

- POURMOVAHED A., BEACHLEY N. H., FRONCZAK F. J. March 1992. Modeling of Hydraulic Energy Regeneration System – Part I: Analytical Treatment. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 114/155.
- POURMOVAHED A., BEACHLEY N. H., FRONCZAK F. J. March 1992. Modeling of Hydraulic Energy Regeneration System – Part II: Experimental Program. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, , Vol. 114/160.
- Pivoňka J.: Tekutinové mechanismy
- Paciga A., Ivantýšyn J.: Tekutinové mechanismy
- katalogy firem Bosch Rexroth, Parker, Olaer

Vedoucí bakalářské práce: prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2011

L.S.

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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá konštrukčným návrhom experimentálneho stendu pre simuláciu a rekuperáciu energie v úžitkových vozidlách. Začiatok práce popisuje spôsob zapojenia, princíp priebehu experimentu uskutočneného na Univerzite Wisconsin Madison a vhodnosť jednotlivých zvolených komponentov, v spolupráci s firmou Bosch Rexroth. Konštrukčný návrh sa zaoberá výpočtom zotrvačníku, ktorý svojimi parametrami zodpovedá požiadavkám matematického modelu a návrhom jednotlivých blokov stendu. Výstupom práce je kompletný 3D model experimentálneho stendu, vhodného pre testovanie účinnosti rekuperácie u jednotlivých aplikácií. Presné určenie účinnosti systému je jedným z cieľov experimentov, ktoré budú na stende prevádzané.

KLÍČOVÉ SLOVÁ

experimentálny stend, rekuperácia, Bosch Rexroth, piestový akumulátor, vakový akumulátor, axiálny piestový hydrogenerátor, axiálny piestový hydromotor

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with design and construction of an experimental device – stand for simulation and recovery energy at utility vehicles. The first parts of the thesis describe principle and process of experiment in the University of Wisconsin Madison and thesis deals with selection of hydraulic components in cooperation with company Bosch Rexroth. The second part of the thesis deals with calculation and construction proposal of the flywheel which meets the requirements of mathematical model and other parts of model. Result of the thesis is complete 3D model of experiment stand suitable for tests energy recovery in applications. Precise determination of the effectiveness of hydrostatic recovery is one of the objectives of experiments that will be implemented at the test stand.

KEY WORDS

experimental stand, hydrostatic recovery, Bosch Rexroth, piston accumulator, bladder accumulator, axial piston motor, axial piston pump

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

RANUŠA, M. *Zařízení pro simulaci rekuperace energie vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 50 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu *Zařízení pro simulaci rekuperace energie vozidel* vypracoval a napísal samostatne pod vedením prof. RNDr. Ing. Josefa Nevrlého, CSc. a Ing. Miroslava Juríka (Bosch Rexroth). V zozname zdrojov som uviedol všetky použité literárne a iné zdroje.

V Brne dňa 25.mája 2012

Matúš Ranuša

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som sa rád poďakoval všetkým, ktorý mi boli ochotní pomôcť pri tvorbe bakalárskej práce, ale predovšetkým vedúcemu mojej práce prof. RNDr. Ing. Josefovi Nevrlému, CSc. a Ing. Miroslavovi Juríkovi z firmy Bosch Rexroth, za ich cenné rady, ochotu a odborné vedenie.

OBSAH

1. Prehľad súčasného stavu poznania.....	14
1.1 Paralelný systém zapojenia HRB	14
1.2 Sériový systém zapojenia HRB	15
2. Formulácia riešeného problému a technická analýza	17
3. Vymedzenie cieľov práce.....	18
4. Analýza výskumného stendu sériového HRB systému	19
4.1 Riešenie výskumného stendu.....	19
4.1.1 Schéma zapojenia.....	19
4.1.2 Koncepcia a podklady experimentálneho riešenia.....	20
4.2 Požiadavky na výskumný stand.....	20
4.2.1 Vstupné parametre	21
4.2.2 Popis priebehu experimentu	22
5. Konštrukčný návrh stendu	23
5.1 Schéma usporiadania stendu	23
5.2 Simulačný blok	24
5.2.1 Zotrvačník.....	24
5.2.2 Snímanie krútiaceho momentu a HG/HM.....	32
5.2.3 Zastavovacia podložka.....	33
5.2.4 Tlmiace bloky	33
5.3 Odsávací blok	34
5.4 Rozvádzač blok	35
5.4.1 Schéma rozvádzacieho bloku	35
5.4.2 Konštrukcia rozvádzacieho bloku	36
5.5 Akumulátorový blok	36
5.6 Výstupný blok.....	37
5.7 Prietokomerový blok	38
5.8 Podstava stendu	38
5.9 Vedenie kvapaliny	39
5.10 3D model zostavy	40
5.11 Názorné prepojenie 3D modelu s konštrukčnou schémou	41
5.12 Hmotnostné vyjadrenie jednotlivých komponentov	42
6. Konštrukčné, technologické a ekonomické zhodnotenie riešenia	43
6.1 Konštrukčné zhodnotenie	43
6.2 Technologický rozbor	43
6.3 Ekonomický rozbor	44
7. Zoznam použitých skratiek a symbolov	45
8. Zoznam obrázkov a grafov	47
8.1 Zoznam obrázkov	47
8.2 Zoznam grafov.....	47
8.3 Zoznam tabuliek	47
9. Zoznam použitých zdrojov.....	48

ÚVOD

Efektívnosť využívania energie v širšom slova zmysle vyjadruje pomer medzi vynaloženými nákladmi a dosiahnutými výsledkami. Keďže náklady na energiu a spotrebné hmoty rastú a tvoria čoraz významnejšiu časť výdavkov na prevádzku, zameral som sa vo svojej bakalárskej práci na jednu z možností, ako šetriť energiu v automobilových systémoch. Cieľom práce je konštrukčný návrh laboratórneho hydraulického obvodu (stendu) pre simuláciu rekuperácie energie v úžitkových vozidlách. Experimenty prevádzané na tomto stende budú slúžiť k overovaniu efektívnosti rekuperácie pre celú radu mobilných aplikácií.

Zadáateľom bakalárskej práce je Ústav konštruování - Fakulta strojnóho inženýrství v Brne za podpory projektu EUREKA. Vývoj laboratórneho stendu prebiehal v úzkej spolupráci s firmou Bosch Rexroth. Výstupom mojej práce je 3D model experimentálneho stendu vytvorený vo vývojovom prostredí softwaru od spoločnosti Autodesk – Inventor Professional 2011. Model bude po schválení slúžiť k tvorbe výkresovej dokumentácie a následne bude možné zahájiť výrobu.

Jednou z dôležitých oblastí súčasného vývoja hydraulických rekuperačných zariadení je brzdový systém HRB (hydrostatický regeneratívny brzdový systém). Základnou myšlienkou HRB systému je premena brzdného energie na tlakovú energiu, ktorá sa ukladá v zásobníkoch. Pri následnom zrýchlení vozidla sa uložená energia vracia späť do pohonu, čím efektívne odľahčuje spaľovací motor. Hydraulický hybridný pohon vyvinutý firmou Bosch Rexroth znižuje spotrebu nafty u ťažkých nákladných vozidiel s častým rozjazdom a mobilných pracovných strojov až o 25%. V týchto aplikáciách existujú reálne možnosti návratnosti financií vložených do prestavby vozidla na systém HRB. Prvé pilotné vozidlo sa v súčasnosti testuje od augusta 2008 v Komunálnych službách mesta Berlína. Bosch Rexroth vyvinul pre rôzne koncepty pohonov úžitkových vozidiel a mobilných pracovných strojov paralelný a sériový HRB systém. [11]



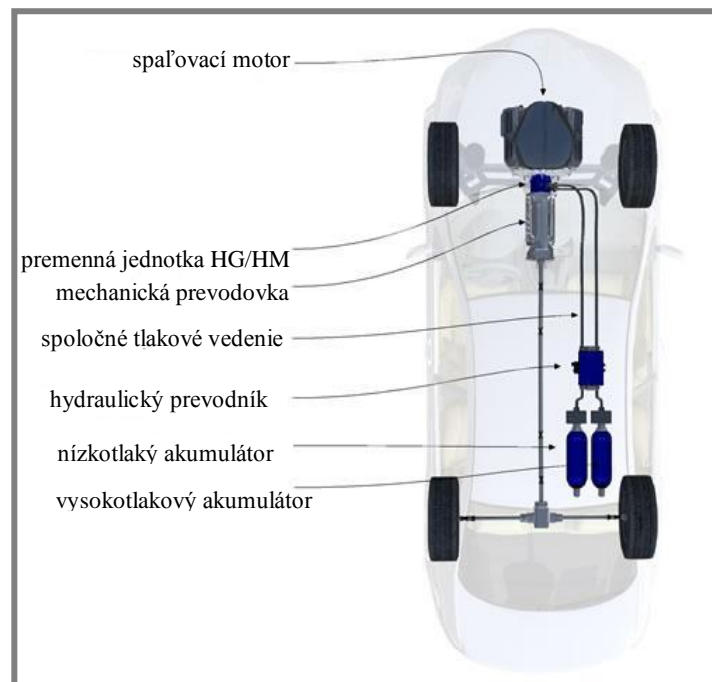
Obr. 1 Testovacie vozidlo systému HRB x2eco od firmy HALLEY

- vozidlo je uložené na podvozku Mercedes Benz Actros
- hmotnosť prázdneho vozidla/ úžitková hmotnosť – 15/26 ton
- hnací výkon naftového motora 235 kW

1. PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

1.1 Paralelný systém zapojenia HRB

Transformácia kinetickej energie sa uskutočňuje pomocou axiálnej piestovej jednotky (A4VG110 EP) [6], ktorá spĺňa funkciu hydromotora a hydrogenerátora. Je pripojená pomocou prevodovky k mechanicky hnacej časti vozidla. Táto jednotka umožňuje premeniť energiu získanú z brzdzenia vozidla na tlakovú energiu. Za pomoci HM/HG je hydraulický olej privádzaný do vysokotlakových vakových akumulátorov. Celý proces je riadený elektronickou jednotkou od firmy Bosch Rexroth a blokom hydraulických tlakových ventilov typu HIC s prepúšťacím ventilom pre bezpečnosť systému. Princíp systému pri akcelerácii sa obráti. Hydraulický olej z natlačovaného zásobníku je vytlačovaný cez poistný ventil späť do axiálnej piestovej jednotky, ktorá prevádza tlakovú energiu a energiu potrebnú pre rozbeh vozidla.[2]



Obr. 2 Systém zapojenia paralelného HRB vo vozidle[2]

Systémové komponenty pre paralelný HRB systém

- nastaviteľná axiálna piestová jednotka A4VG90 EP s prevodovkou pre striedavý chod čerpadla a motoru (HG/HM)
- vysokotlakový vakový akumulátor
- ventilový blok HIC s prepúšťacím ventilom
- elektronická riadiaca jednotka
- senzorové systémy

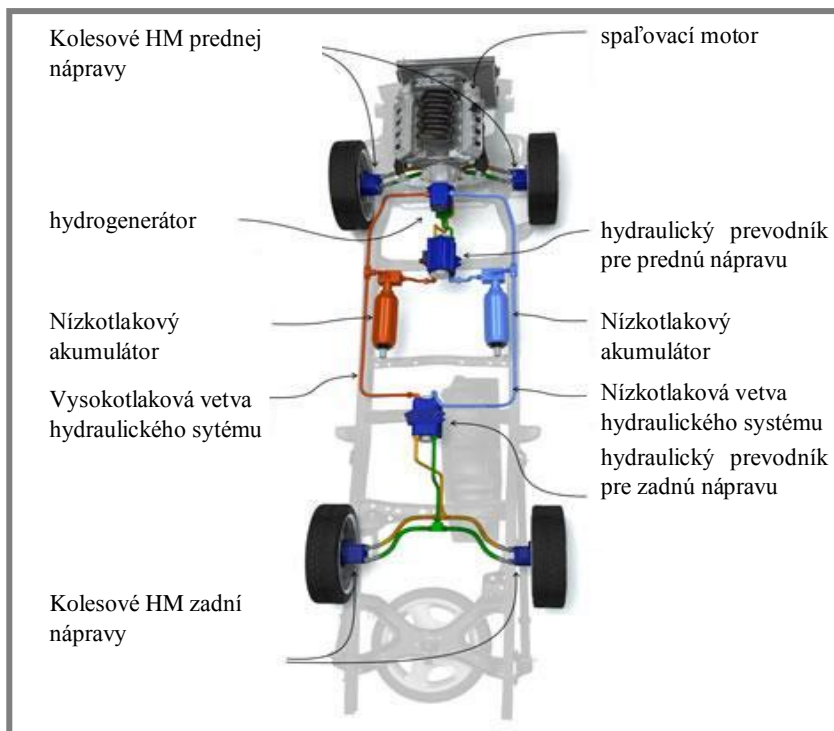


Obr. 3 Komponenty paralelného HRB systému[11]

1.2 Sériový systém zapojenia HRB

1.2

Podstatou sériového zapojenia je vedenie hydraulického energie na kolesá, pri brzdení a rozjazde. Takže systém pripojený priamo na hnaciu jednotku, prípadne na prevodovku, pracuje ako hydrogenerátor (HG) a prevádza krútiaci moment hnacej jednotky na energiu kvapaliny vysokotlakovej vetvy systému. Táto energia je opäť prevedená hydromotorom (HM) na hnací moment a odtiaľ na jednotlivé nápravy. Pri brzdení dochádza k tomu, že jednotka HM pracuje ako HG a prevádza kinetickú energiu vozidla na energiu kvapaliny uloženú vo vysokotlakovom akumulátore (až 40 MPa), ktorú je neskôr možné využiť k akcelerácii. Nízkotlaková vetva systému udržuje pod tlakom prívod kvapaliny do HM/HG, čím sa zabraňuje kavitácii. V systéme je zaradený nízkotlakový akumulátor (0,2 MPa). Hydraulická kvapalina sa premiestňuje medzi vysoko a nízko tlakovou vetvou, čo je jedným z hlavných rozdielov medzi sériovým a paralelným zapojením.[2]



Obr. 4 Systém zapojenia sériového HRB vo vozidle[2]

Systemové komponenty pre sériový HRB systém:

- nastaviteľná axiálna piestová jednotka A6VM pre striedavý chod čerpadla a motoru (HG/HM)
- vysokotlakový akumulátor pre tlak do 30 MPa
- nízkotlakový akumulátor s pracovným tlakom do 0,1 MPa
- ventilový blok s kontrolnými jednotkami
- elektronická riadiaca jednotka
- senzorové systémy



Obr. 5 Komponenty sériového HRB systému [11]

2. FORMULÁCIA RIEŠENÉHO PROBLÉMU A TECHNICKÁ ANALÝZA

2

V súčasnej dobe je kladený veľký dôraz na šetrenie a hospodárne využívanie energie. Štatistiky ukazujú, že spotreba ropy vo svete je väčšia, než koľko jej obsahujú novoobjavované ložiská. Kontrola nad energiami a ich cenami sa sústreďuje do rúk hŕstky krajín ťažiacich ropu. 80 % z nich očakáva pokles ťažby, alebo s poklesom v súčasnosti už zápasí, čo vedie k obrovskému nárastu cien pohonných látok. Podľa Amerického informačného úradu pre energie (EIA) a Medzinárodnej agentúry pre energiu (IEA) bude celosvetová spotreba energie aj naďalej rásť v priemere o 2 % ročne, ak nebudú prijaté príslušné opatrenia. Preto sa v svojej práci zaoberám jedným z možných spôsobov šetrenia pohonných látok pomocou rekuperácie.



Graf 1 Vývoj cien západotexaskej ropy od roku 2004

Pre efektívne využívanie rekuperačného systému vo vozidlách je potrebné previesť podrobnú analytickú a experimentálnu analýzu. Požadovaným výsledkom je zistenie charakteristiky transformácie potenciálnej energie uloženej v akumulátoroch na energiu potrebnú pre rozbeh vozidla. Na základe zistených parametrov je z ekonomického hľadiska potrebné zistiť účinnosť systému a porovnať ju s reálnymi nákladmi na aplikáciu rekuperačného systému. Z dôvodu zložitého výpočtu účinnosti rekuperačného systému je mojou prácou navrhnuť experimentálny stend. Simuláciou jazdných podmienok a následným zaznamenávaním údajov je možné získať požadované parametre. Na základe rozdielu otáčok simulačného zotrvačníku, na začiatku experimentu a na jeho konci je možné stanoviť účinnosť systému, ktorá je do značnej miery ovplyvnená spôsobom regulácie a algoritmami riadenia priebehu experimentu.

3. VYMEDZENIE CIEĽOV PRÁCE

Cieľom tejto práce je konštrukčný návrh simulačného stendu zodpovedajúci požadovaným parametrom vychádzajúci z analytických modelov. Po realizácii bude stend slúžiť k získavaniu údajov o aktuálnych hodnotách tlaku v požadovaných miestach, snímaniu krútiaceho momentu, otáčok v závislosti na čase priebehu experimentu a prietoku vo vytipovaných úsekoch. Tieto dáta budú využité v matematickom výpočte analyzujúcom teoretický priebeh, ktorý stanoví čo najefektívnejšie hodnoty parametrov pre voľbu jednotlivých komponentov.

Pri konštrukcii stendu som zvolil blokový systém inštalácie jednotlivých dielov. Stend bude rozdelený do celkov a postupne inštalovaný na dimenzovanú podstavu. Jednotlivé celky - bloky budú dosadať na pripravené dosadacie plochy a následne budú zafixované pomocou skrutiek. Stend bude obsahovať:

- Simulačný blok - skladá sa so zotrvačníka simulujúceho jazdné podmienky a HG/HM prevádzajúci krútiaci moment na tlakovú energiu. Chod točivých častí je zaznamenávaný snímačom krútiaceho momentu.
- Akumulátorový blok - obsahuje nízkotlaký a vysokotlaký akumulátor. Úlohou tohto bloku je udržiavanie akumulovanej energie v dimenzovaných akumulátoroch. V prípade poruchy je akumulátorový blok chránený bezpečnostnými prvkami spĺňajúcimi normu DIN 24552. Vertikálna poloha akumulátora je zaistená konzolou zváranou z jäcklových profilov.
- Odsávací blok - obsahuje zodpovedajúce čerpadlo pre odsávanie lekáži a hnací elektromotor s potrebným výkonom.
- Rozvádzač blok – rozvod kvapaliny a inštalácia cartiridgeových – vstavovaných ventilov. Uchytenie bloku na podložku stendu pomocou vypálenej konštrukcie.
- Prietokomerový blok – zabezpečenie správnej polohy prietokomerov

Blokový systém montáže je výhodný z hľadiska jednoduchosti zostavovania systému pri inštalácii, alebo prípadnom prenose. Ďalšou výhodou je možnosť výmeny jednotlivých blokov a prispôbenie požadovanej aplikácii.

4. ANALÝZA VÝZKUMNÉHO STENDU SÉRIOVÉHO HRB SYSTÉMU

4

Návrh a konštrukcia výskumného stendu je založená na teoretických podkladoch vychádzajúcich z aspektov použitých pri experimentálnom pokuse hydraulického rekuperačného systému. Myšlienka vychádza z článku Modeling of Hydraulic Energy Regeneration System [14]. Na základe článku som pristupoval ku konštrukčnému návrhu stendu a k systému využitia experimentu pre konkrétne aplikácie.

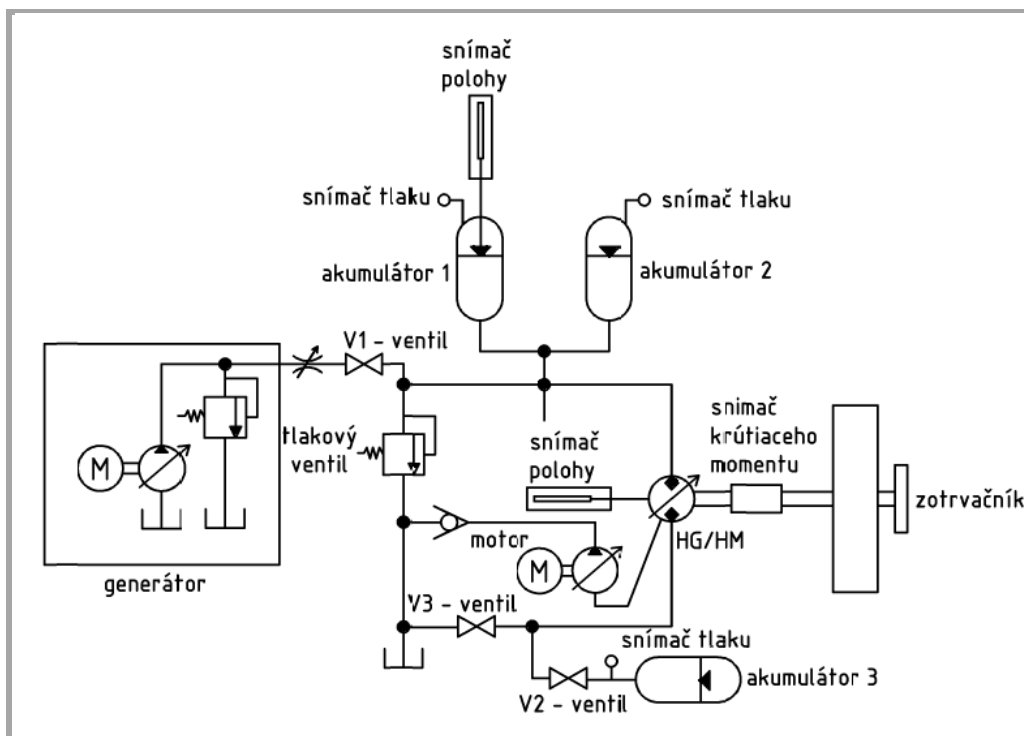
4.1 Riešenie výskumného stendu

4.1

Koncepcia a myšlienka testovania rekuperačných cyklov za pomoci experimentu bola prevzatá z testov uskutočnených na Univerzite Wisconsin Madison. V mojej práci som sa snažil zachovať pôvodnú koncepciu a parametre pôvodného experimentu a vo výslednom efekte sa priblížiť k vtedy dosiahnutým výsledkom. V pôvodnej aplikácii bola energia prevádzaná medzi dvoma hydraulickými akumulátormi a zotrvačníkom. Pri testoch bolo použité pre pohon zotrvačníku čerpadlo od firmy Bosch Rexroth s plynulou reguláciou otáčok a dva akumulátory plnené elastomerickou penou. Potrebné údaje boli zaznamenávané za pomoci snímačov a zbierané počítačom. Priebeh experimentu bol uskutočňovaný pri dvoch rozdielnych teplotách.

4.1.1 Schéma zapojenia

4.1.1



Obr. 6 Hydraulický obvod pre cyklickú rekuperáciu [15]

4.1.2 Konceptia a podklady experimentálneho riešenia

Počiatočná energia pre požadované natlačovanie akumulátorov bude dodávaná hydraulickým agregátom ABSKG o výkone 1,5 – 7,5 kW. Modulárny agregát je schopný vyvinúť tlak 25 MPa, čo je postačujúce pre našu aplikáciu. [16]



Obr. 7 Modulárny agregát – ABSKG od firmy Bosch Rexroth

Podľa pôvodného experimentu nastavíme bezpečnostné tlakové snímače na hodnotu 21,4 MPa tak, aby bol zaistený maximálny tlak v akumulátoroch pri nabíjaní agregátom. Dva piestové akumulátory od firmy Parker budú v stende nahradené akumulátormi od firmy Bosch a Olaer.

Prístrojové vybavenie zahŕňa 5 snímačov tlaku, dva lineárne nastaviteľné diferenciálne meniče (LVDT's) pre snímanie polohy dosky čerpadla a polohy piestu akumulátora, snímač momentu a dva prietokomery. Pôvodne použité snímače boli nahradené novými dostupnými prvkami v spolupráci s Bosch Rexroth, pretože jednotlivé komponenty sú prevažne od tej istej firmy. Parametre a funkcia ostáva zachovaná.

4.2 Požiadavky na výskumný stend

Hlavnou požiadavkou pri konštrukčnom návrhu je zachovanie a priblíženie sa výsledkom výskumného experimentu testovanom na univerzite Wisconsin Madison.

Parametre boli prevzaté z výskumnej správy zostavenej prof. RNDr. Ing. Josefom Nevrlým, CSc. Použité komponenty boli zvolené v spolupráci s firmou Bosch Rexroth. Návrh stendu je koncipovaný na základe dosiahnutých poznatkov v oblasti rekuperácie pomocou HRB systémov pre účel ďalšieho rozvoja a optimalizovania efektívnosti využitia.

4.2.1 Vstupné parametre

Nasledujúce údaje sú prevzaté z predchádzajúcich skúšobných experimentov [2]

- akumulátor

Merná kapacita peny :	2,3 kJ/kg.K
Hmotnosť plynu:	1,213 kg
Hmotnosť peny:	1,496 kg
Max. objem plynu:	15,271 l
Teplotná časová konštanta:	300 s
Trecie straty:	4 % zo vstupnej energie

- hydrogenerátor/hydromotor

Zdvihový objem:	107 cm ³ /otáčka
Súčiniteľ trenia:	0,0048
Súčiniteľ hydrodynamických strát:	0
Laminárny koef. sklzu:	1,042 x 10 ⁻⁹
Turbulentný koef. sklzu:	1,20 x 10 ⁻⁵
Koeficient viskózneho trenia:	153,407
Maximálny uhol naklonenia:	25°

- hadice, kvapalina, zotrvačník

Celková účinná dĺžka hadice:	11,96 m
Vnútorý priemer hadice:	0,025 m
Hustota oleja:	896 kg/m ³
Moment zotrvačnosti:	3,98 kg.m ²
Počiatkové otáčky zotrvačníku:	1 ot/min

- hodnoty použité pri teste systému:

	Test 1	Test 4
Teplota steny akumulátora (K)	302	325
Stav kvapaliny (hodnoty neuvedené)	studená	horúca
Kinematická viskozita kvapaliny (cSt)	60	24
Počiatková teplota plynu (K)	302	325
Uhol naklonenia HG/HM (stupne)	±20	±3
Tlak v zásobníku (MPa, abs)	302	325

4.2.2 Popis priebehu experimentu

Popisovanie experimentu je na základe schémy zapojenia pre cyklickú rekuperáciu z obr. 6.

Pre získanie potrebných údajov zohráva dôležitú úlohu správna prevádzková teplota kvapaliny. Tento stav dosiahneme otvorením ventilov V1 – V3 a cirkuláciou kvapaliny v systéme za pomoci externého agregátu. K cirkulácii kvapaliny dochádza za pomoci rezervoára. Pri dosiahnutí požadovanej teploty uzavrieme ventil V3, čím dochádza k prúdeniu kvapaliny do nízkotlakového akumulátora 3. Akumulátor je plnený na tlak 308 kPa, čo je požadovaná hodnota pre správnu funkciu HG/HM v režime hydrogenerátora. V tejto chvíli ja zotrvačník brzdený a prebieha kumulácia energie v akumulátoroch na tlak 20,79 MPa. Pri dosiahnutí tohto stavu uzatvárame ventil V1 a odbrzdíme zotrvačník, súčasne môžeme zahájiť snímanie cyklov. V priebehu experimentu dochádza k premene potenciálnej - tlakovej energie z akumulátorov do kinetickej – rotačnej zotrvačníku. Pri preklopení systému dochádza v HG/HM k prechodu „cez stred“, čo obráti funkciu hydrogenerátora na hydromotor. Tento jav umožňuje transformáciu energii a na základe neho prebieha samotná rekuperácia. Preklápanie systému sa cyklicky opakuje až dôjde prostredníctvom strát k spotrebovaniu energie.

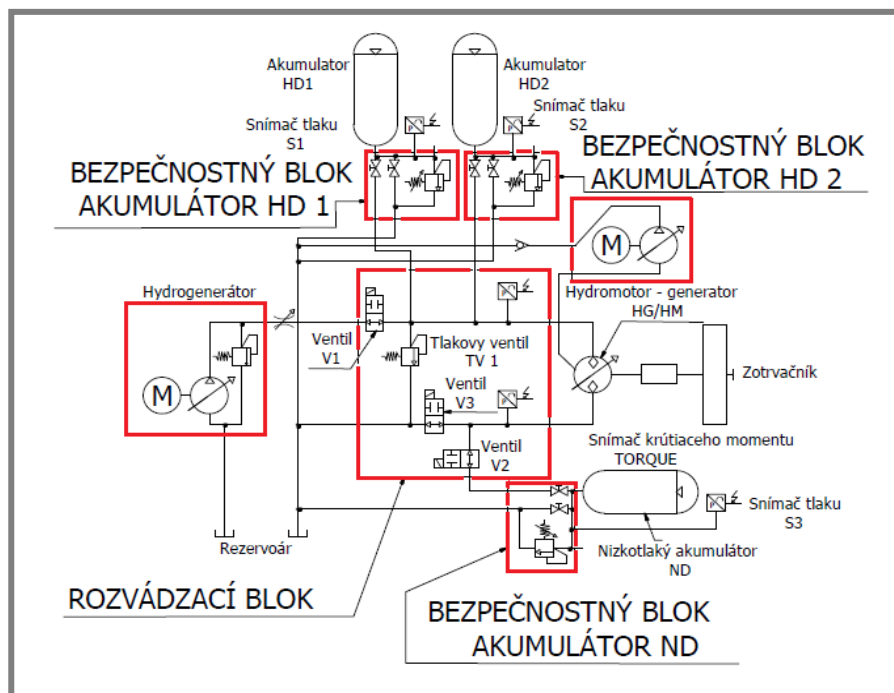
5. KONŠTRUKČNÝ NÁVRH STENDU

5.1 Schéma usporiadania stendu

Konštrukciu stendu som zvolil ako blokovú, tento systém je výhodný z hľadiska usporiadania a prehľadnej manipulácie v prípade výmeny jednotlivých komponentov. Jednotlivé bloky sú navzájom prepojené len hydraulickými hadicami. Pre prehľad som jednotlivé bloky pomenoval.

- simulačný blok – simulácia jazdných podmienok
- odsávací blok – odsávanie lekáži
- rozvádzací blok – hydraulické rozvody otváracie/ zatváracie ventily
- akumulátorové bloky – konzoly a telesá akumulátorov
- výstupný blok – rozvod hydraulických hadíc
- prietokový blok – konzola s dvoma prietokomerami

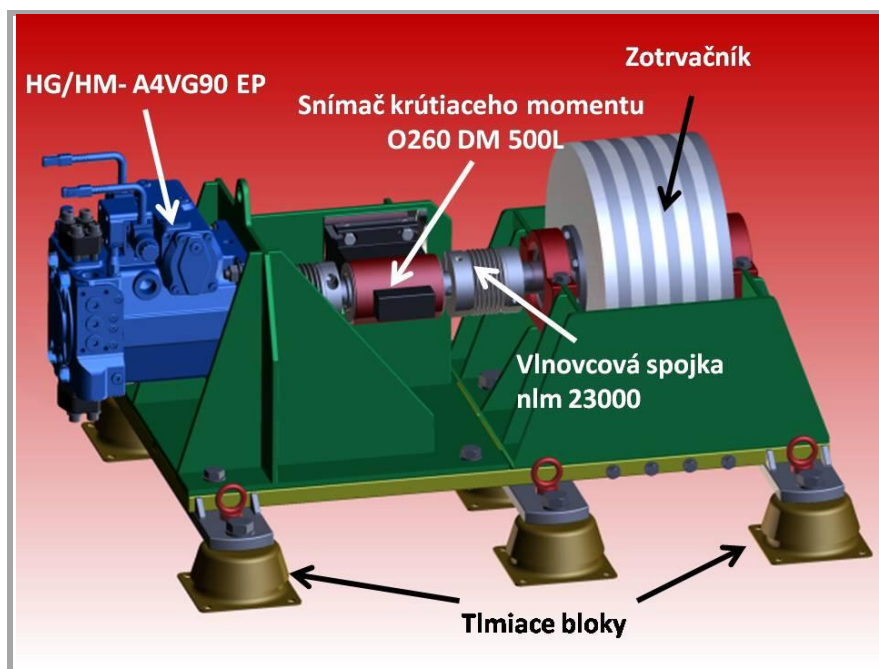
Celý stend bude napojený na Modulárny agregát – ABSKG od firmy Bosch Rexroth, ktorý zabezpečí vstupný požadovaný tlak pre rozbeh zotrvačníku a zároveň bude využívaný spoločný rezervoár pre odvod so stendu. Pre prehľad a rozlíšenie jednotlivých komponentov a samotných blokov som využíval širokého spektra farieb. Vo finálnej verzii je predpokladaná povrchová úprava a lakovanie podľa požiadaviek zákazníka. Konceptia usporiadania vychádza zo schémy rekuperačného stendu prevzatej z testovania na Univerzite Wisconsin Madison (Obr.6). Pre môj konštrukčný návrh som usporiadanie jednotlivých komponentov pozmenil, ale funkcia a jednotlivé radenie komponentov ostali zachované.



Obr. 8 Schéma usporiadania stendu

5.2 Simulačný blok

Simulačný blok slúži k napodobneniu jazdných podmienok. Pre samotnú simuláciu slúži zotrvačník zachovávajúci predpokladanú energiu vozidla prevedenú na rotačnú energiu telesa zotrvačníka. Prenos krútiaceho momentu je z pohľadu bezpečnosti a prípadnej minimálnej nesúososti hriadeľov (radiálna a uhlová nepresnosť) realizovaný za pomoci vlnovcovej spojky nlm 23000. Samotný rozbeh a brzdenie zotrvačníku je zabezpečené za pomoci HG/HM A4VG110 EP s príslušnými parametrami vychádzajúcimi z požiadaviek matematického modelu. [6] Celý priebeh rotácie telesa zotrvačníku je zaznamenaný snímačom krútiaceho momentu – Dr. Staiger Mohilo- O260 DM 500L umiestneným medzi HG/HM a hriadeľom zotrvačníka. [26] Všetky komponenty sú umiestnené na podkladovej doske. Doska je opatrená stredovou drážkou slúžiacou, ako vedenie blokov pre zabezpečenie súosovosti hriadeľov pri zostavovaní. Uvedením systému do chodu môže dochádzať k nežiaducim vibráciám a otrasom, prípadne rázom spôsobeným preklápaním dosky čerpadla, preto je celý blok umiestnený na siedmich tlmiacich blokoch rozmiestnených na základe výpočtu ťažiska celého bloku. Výpočet bol realizovaný softwarom Autodesk Inventor Professional 2011.



Obr. 9 Simulačný blok

5.2.1 Zotrvačník

Úlohou zotrvačníka v experimentálnom stende je simulácia jazdných podmienok vozidla. Dochádza k transformácii pohybovej- translačnej kinetickej energie E_{trans} vozidla na rotačnú kinetickú energiu zotrvačníku E_{rot} . Pri návrhu stendu som nevychádzal z parametrov konkrétneho vozidla, ale počítal som s údajmi použitými pri experimentálnom výpočtovom modeli. Pri prepočte na konkrétne vozidlo by bolo možné použiť nasledujúce vzťahy:

Pre kinetickú energiu vozidla platí :
$$E_{trans} = \frac{1}{2} m_v v_v^2$$

Pre rotačnú energiu zotrvačníka: $E_{rot} = \frac{1}{2} I_0 \omega^2$

Pri zanedbaní strát môžeme uvažovať: $E_{trans} = E_{rot}$

5.2.1.1 Teleso zotrvačníka

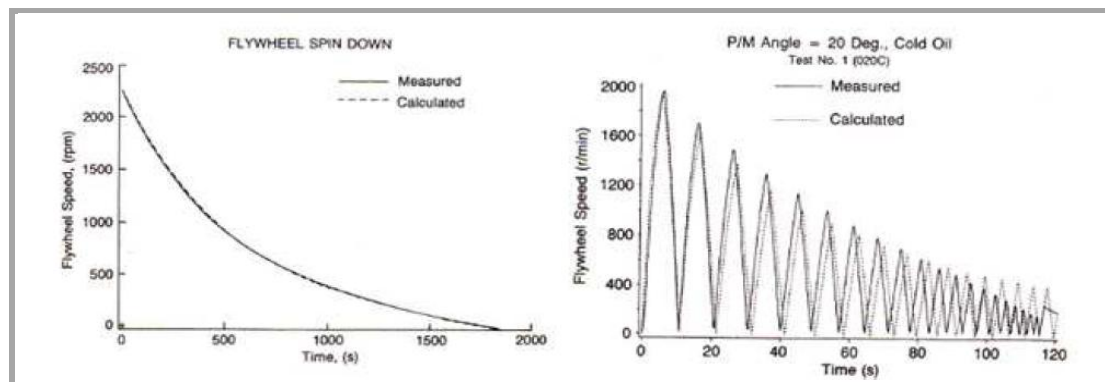
5.2.1.1

Vstupné parametre:

Pre získanie vstupných parametrov na výpočet rozmerov zotrvačníka som čerpal z podkladov experimentálneho programu, v ktorom prebehol výpočet a simulácia stendu. Ako vstupné parametre boli zadané :

Moment zotrvačnosti: $I = 3,98 \text{ kg.m}^2$

Počiatkové otáčky zotrvačníka: $n_0 = 1 \text{ min}^{-1}$



Obr. 10 Výsledky merania vzorového stendu [14]

V priebehu testu bol motor zasunutý do pozície tak, aby sa uviedol do činnosti snímač otáčok, pomocou ktorého bola následne nameraná hodnota 2250 min^{-1} . Tieto otáčky sú volené vzhľadom k výkonovým možnostiam hydrostatického prevodníku a sú závislé na uhle natočenia dosky HG/HM. Konkrétne otáčky boli namerané pre uhol natočenia dosky HG/HM 20° .

Použitie značenie:

E_{trans}	[J]	kinetická energia translačného pohybu vozidla
E_{rot}	[J]	kinetická energia rotačného pohybu zotrvačníka
m_v	[kg]	hmotnosť vozidla (reálneho)
v	$[\text{m.s}^{-1}]$	rýchlosť vozidla (reálneho)
I_0	$[\text{kg.m}^2]$	moment zotrvačnosti zotrvačníka
ω	$[\text{rad.s}^{-1}]$	uhlová rýchlosť zotrvačníka
ρ	$[\text{kg.m}^3]$	hustota materiálu zotrvačníka
B	[m]	šírka zotrvačníka
R	[m]	polomer zotrvačníka
n	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky zotrvačníka

5.2.1.2 Výpočet excentricity zotrvačníka

Z bezpečnostných dôvodov je nutné zotrvačník po jeho vyrobení dynamicky vyvážiť. Pokiaľ by k tomu nedošlo, bola by veľká pravdepodobnosť porušenia uloženia zotrvačníka pri vysokých otáčkach a možné ohrozenie osôb v okolí. Nevyváženosť zotrvačníkov (rotorov) vyjadruje tzv. nevyváženosť N_p [g.mm]. Pokiaľ je os rovnobežná s osou zotrvačnosti je nevyváženosť rovná excentricite - ε [mm, μm]. Nevyváženosť vyjadruje odchýlku osi rotácie s hlavnou osou zotrvačnosti. Pre plynulý chod zotrvačníka je dôležité previesť vyvažovanie. Pri statickom vyvažovaní je nutné pridať, alebo odobrať materiál v jednej vyvažovanej rovine. Tým je posunuté ťažisko do osi rotácie. Pri dynamickom vyvažovaní je nutné použiť minimálne dve vyvažovacie roviny. Tým sú eliminované nežiaduce momentové účinky. Dynamické vyvažovanie vykonávame podľa normy ISO 1940-1, ISO 1940-2, ČSN ISO 11342:1998 a ČSN ISO 10814:1996. Vyvažovanie musí byť prevádzané s osadenými ložiskami. Pre vyvažovanie zotrvačníka je nutné voliť triedu presnosti G 0,4 (0,4 mm.s⁻¹) – gyroskop, podľa normy ISO 1940-1.[33]

Použité značenie:

ε	[mm]	excentricita
ε_i	[mm]	excentricita (odpovedá danej triede presnosti G)
ω_{\max}	[rad.s ⁻¹]	uhlová rýchlosť
ω_p	[rad.s ⁻¹]	pracovná uhlová rýchlosť
G	[mm.s ⁻¹]	trieda presnosti
n_{\max}	[s ⁻¹]	maximálne otáčky (pri $v_g < v_{g \max}$)
n_n	[s ⁻¹]	pracovné otáčky
m_z	[kg]	celková hmotnosť zotrvačníka (z 3D modelu)
N_p	[g.mm]	nevyváženosť
F_o	[N]	odstredivá sila

$$m_z = 205,3 \text{ kg}$$

$$n_{\max} = 5600 \text{ min}^{-1} = \frac{5600 \text{ min}^{-1}}{60} = 93,33 \text{ s}^{-1}$$

$$n_n = 2250 \text{ min}^{-1} = \frac{2250 \text{ min}^{-1}}{60} = 37,5 \text{ s}^{-1}$$

Maximálna dovolená excentricita je:

$$\varepsilon = \frac{G}{\omega_{\max}} = \frac{G}{2\pi \cdot n_{\max}} = \frac{0,4 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}}{2\pi \cdot 93,33 \text{ s}^{-1}} = 0,68 \mu\text{m}$$

Maximálna dovolená nevyváženosť :

$$N_p = m_z \cdot \varepsilon = 0,68\mu\text{m} \cdot 205,3\text{kg} = 139,604 \text{ g.mm}$$

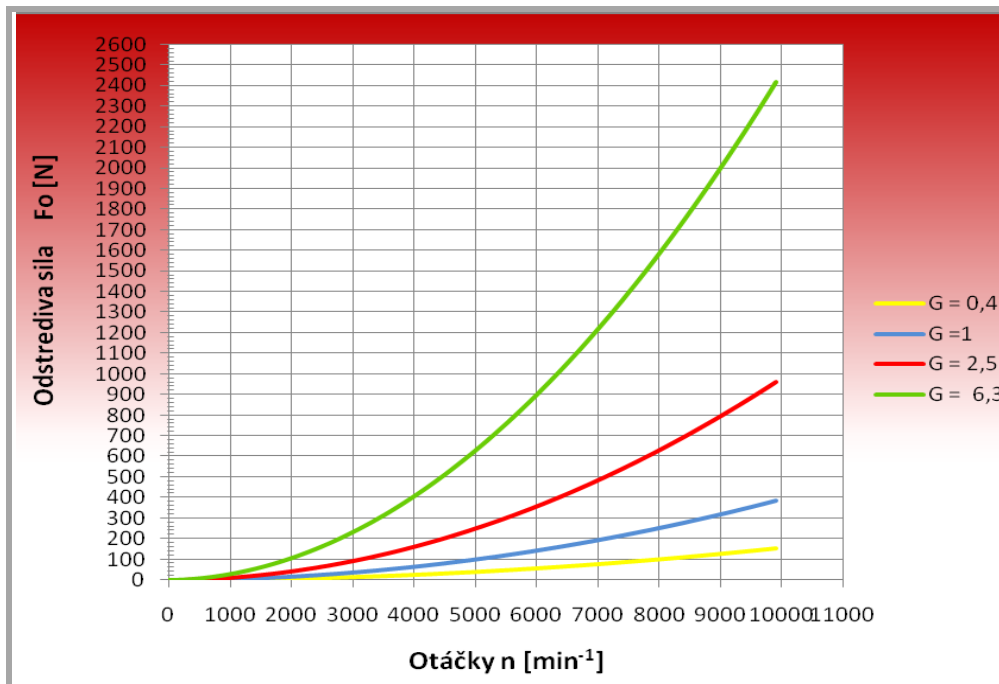
Pri výrobe zotrvačníka je potrebné tieto hodnoty dodržať, aby nedošlo k vibráciám a následnému poškodeniu zariadenia. V nasledujúcom grafe sú vynesené hodnoty

odstredivých síl pre rôzne hodnoty otáčok v závislosti na zvolenej triede presnosti podľa normy ISO 1940-1 .

Odstredivá sila:

$$F_o = m_z \cdot \varepsilon \cdot \omega_p^2$$

$$F_o = 205,3 \text{ kg} \cdot 0,68 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 93,33 \text{ s}^{-1})^2 = 48 \text{ N}$$



Graf 2 Voľba triedy presnosti pre vyvažovanie zotrvačníka

5.2.1.3 Uloženie a trvanlivosť ložísk

5.2.1.3

Voľba ložiska je prevádzaná s ohľadom na zvýšené nároky trvanlivosti. Hmotnosť telesa zotrvačníka dosahuje veľkosť 205,3 kg. Pri návrhu ložísk musí byť zohľadnený nevyvážok a pomerne vysoké maximálne otáčky. Taktiež je dôležité brať ohľad na vysoké náklady vyvažovania zotrvačníka, preto počas životnosti stendu nie je žiaduca výmena ložísk. Pri výpočte je zohľadnené premenlivé zaťaženie a otáčky o rôznej veľkosti. Preto je do výpočtu brané stredné myslené zaťaženie.

Použité značenie:

F_s	[N]	stredné myslené zaťaženie
F_{\min}	[N]	minimálna sila pôsobiaca na ložisko
F_{\max}	[N]	maximálna sila pôsobiaca na ložisko
F_g	[N]	gravitačná sila
g	[m/s ⁻²]	gravitačné zrýchlenie zeme

$$F_g = g \cdot m_z = 9,81 \cdot 205,3 = 2013,993 \text{ N}$$

$$F_{max} = F_g + F_o = 2013,993 + 48 = 2061,993 \text{ N}$$

$$F_{min} = F_g - F_o = 2013,993 - 48 = 1965,993 \text{ N}$$

Pokiaľ pôsobí na ložisko v čase premenlivé zaťaženie a pritom sa mení frekvencia otáčok, vypočíta sa stredné zaťaženie podľa vzťahu:

$$F_s = \frac{F_{min} + 2F_{max}}{3} = \frac{1965,993 + 2 \cdot 2013,993}{3} = 1997,993 \text{ N}$$

Pri voľbe ložísk je uvažované s vysokými nákladmi na dynamické vyvažovanie a preto výmena by bola nežiaduca. Pri návrhu a predpokladanom cykle zaťažovania uvažujem s predimenzovanými hodnotami, aby som tomu predišiel.

Pri výpočte trvanlivosti uvažujem s nasledujúcimi parametrami:

Pracovné zaťažovanie :

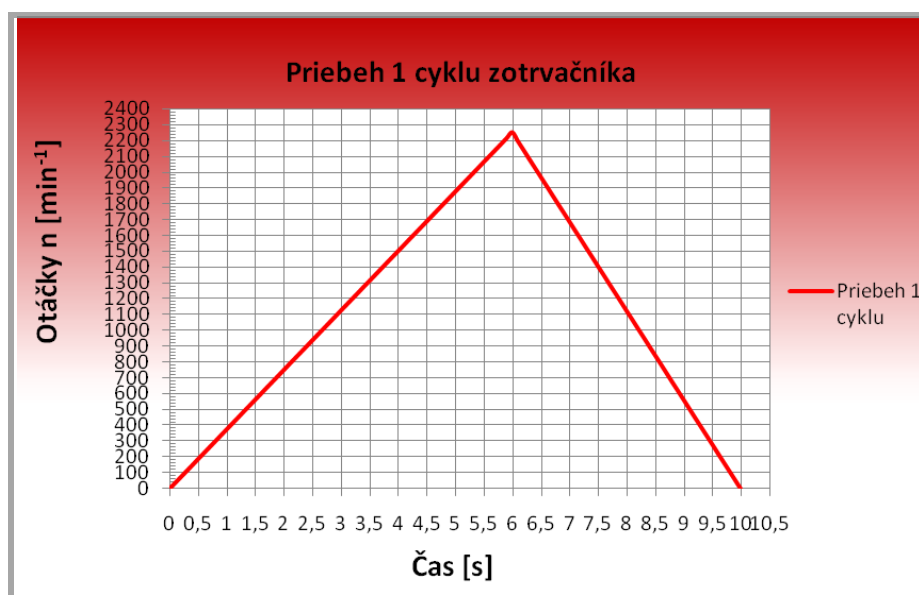
8 hodín denne počas pracovných dní. V priebehu tohto času je predpokladaných 30 experimentov. A celková uvažovaná životnosť je 3 roky.

Z experimentálneho pokusu uvedeného vo výskumnej správe rekuperačného systému vychádzam zo zjednodušených údajov pre jeden cyklus (neuvažujem straty v obvode a časovú zmenu pri priebehu skúšky).

Rozbeh zotrvačníka: cca 6 s

- pri dosiahnutí požadovanej rýchlosti dochádza k preklopeniu dosky hydrogenerátora a nastáva brzdenie

Brzdenie zotrvačníka : cca 4 s



Graf 3 Priebeh 1 cyklu zotrvačníka

Z grafu je možné získať počet otáčok za jeden cyklus. Pre čas 10 s zodpovedá priemerná hodnota $1102,941 \text{ min}^{-1}$. Dĺžka priebehu testu je 120 s, preto pri výpočte uvažujeme s približne 2200 otáčkami za jeden priebeh.

Z požadovaných údajov môžeme stanoviť maximálny počet experimentov za rok:

$$N_r = \frac{3600}{t_E} \cdot t_D \cdot d_R \cdot r_S = \frac{3600}{120} \cdot 6 \cdot 252 \cdot 3 = 136084 \text{ experimentov}$$

N_r	[-]	počet cyklov za dobu životnosti stendu
t_E	[h]	čas priebehu jedného experimentu
t_D	[h]	pracovný čas jedného dňa
d_R	[dni]	počet pracovných dní za rok
r_S	[roky]	počet rokov životnosti stendu
L_D	[h]	požadovaná základná trvanlivosť ložiska

$$L_D = N_r \cdot t_E = 4536,13 \text{ h}$$

So vzťahu pre výpočet základnej dynamickej únosnosti je použitý vzťah [12]:

$$C = F_S \cdot \left(\frac{L_D \cdot n_D \cdot 60}{L_{10}} \right)^{\frac{1}{a}} = 1,998 \cdot \left(\frac{4536,13 \cdot 1102,941 \cdot 60}{1 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 6,22 \text{ kN}$$

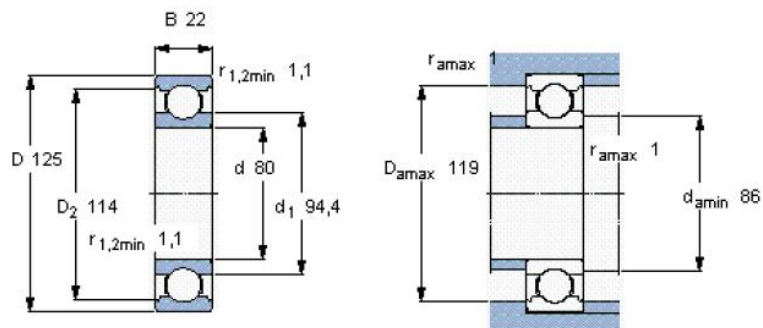
Použité značenie:

C	[kN]	základná dynamická únosnosť
L_{10}	[ot]	základná výpočtová trvanlivosť (výrobca SKF uvádza 10^6 otáčok)
n_D	$[\text{min}^{-1}]$	priemerná hodnota frekvencie otáčok
a	[-]	hodnota 3 pre ložiská s bodovým stykom

Ložisko volím podľa požadovaných parametrov od firmy SKF, typ 6016

Parametre ložiska:

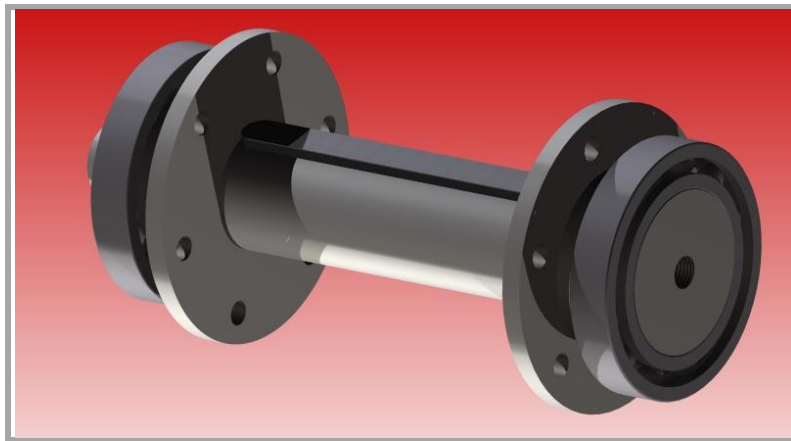
d	80 mm
D	125 mm
B	22 mm
C	49,4 kN
n_{\max}	7000 min^{-1}



Obr. 11 Ložiská SKF

5.2.1.4 Konštrukcia zotrvačníka

Teleso zotrvačníka je pre zvýšenie bezpečnosti rozdelené na 10 kotúčov, ktoré po spojení spĺňajú parametre navrhovaného zotrvačníka. Jednotlivé telesá sú uložené na hriadeli a voči pootočeniu sú zabezpečené perom. Pre presné vyvažovanie a splnenie excentricity podľa normy ISO 1940-1 musíme požadovať vysokú presnosť na seba dosadajúcich dielov. Vyvažovanie zotrvačníka musí byť prevádzané v stave po montáži všetkých dielov. Aby nedochádzalo k otláčaniu a tým k strate excentricity, je nutné funkčné časti v ktorých dochádza k namáhaniu cementovať a následne kaliť.



Obr. 12 Hriadel' pre disky zotrvačníku

Kontrola pera 18e7 x 11 x 200, ČSN 02 2562 :

Výpočet obvodovej sily na povrchu hriadeľa sa stanoví zo vzťahu:

$$F = \frac{2 \cdot M_k}{d} = \frac{2 \cdot 220000}{59} = 7458 \text{ N}$$

Pero je vyrobené z ocele 1.0060 ktorej zodpovedá medza klzu $R_e = 325 \text{ MPa}$, podľa teórie mernej napätosti zmeny tvaru je medza klzu v šmyku definovaná vzťahom:

$$R_{se} = 0,577 \cdot R_e = 0,577 \cdot 325 = 187,525 \text{ MPa}$$

Pri kontrole statickej pevnosti pera v strihu predpokladáme rovnomerne rozložené šmykové napätie po jeho priereze a návrhový súčiniteľ $k_n = 2,8$

$$\frac{R_{se}}{k_n} = \frac{F}{b \cdot l} \rightarrow \frac{187,525}{2,8} = \frac{7458}{18 \cdot l} \rightarrow l = 6,18 \text{ mm}$$

Pero kontrolujeme na otláčanie. Musí byť splnená podmienka, že tlak medzi bokom drážky v náboji a perom nepresiahne dovolenú hodnotu. Po dosadení do vzťahu vyjadríme najmenšiu dĺžku pera.

Základná hodnota p_o pre oceľový náboj, je volená– 150 MPa

Dovolený tlak na bokoch drážky v náboji je zvolený pre striedavé a veľké rázy

$$p_D = 0,45 \cdot p_o$$

$$p_D = 0,45 \cdot p_o = 0,25 \cdot 150 = 37,5 \text{ MPa}$$

$$p_D \geq \frac{F}{t_1 \cdot (l - b)} \rightarrow 37,5 \geq \frac{7458}{3,8 \cdot (l - 18)} \rightarrow l = 70,34 \text{ mm}$$

Na základe uvedených výpočtov môžeme stanoviť zvolenú dĺžku 200 mm, ako VYHOVUJÚCU

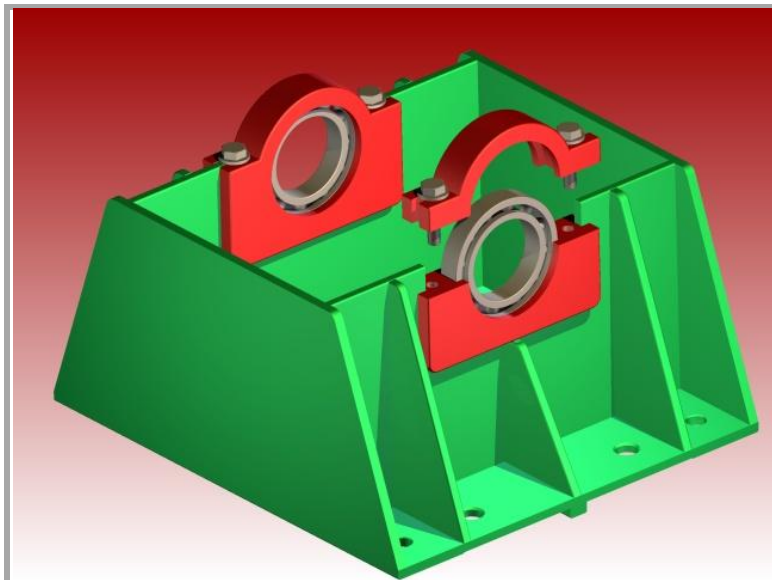
Použité značenie:

M_k	[N.mm]	Krútiaci moment na hriadelí
R_{se}	[MPa]	medza klzu v šmyku
d	[mm]	priemer hriadeľa
b	[mm]	šírka pera
l	[mm]	dĺžka pera
t_1	[mm]	výška pera v telese zotrvačníka
k_n	[-]	návrhový súčiniteľ

5.2.1.5 Konštrukcia uloženia zotrvačníka

5.2.1.5

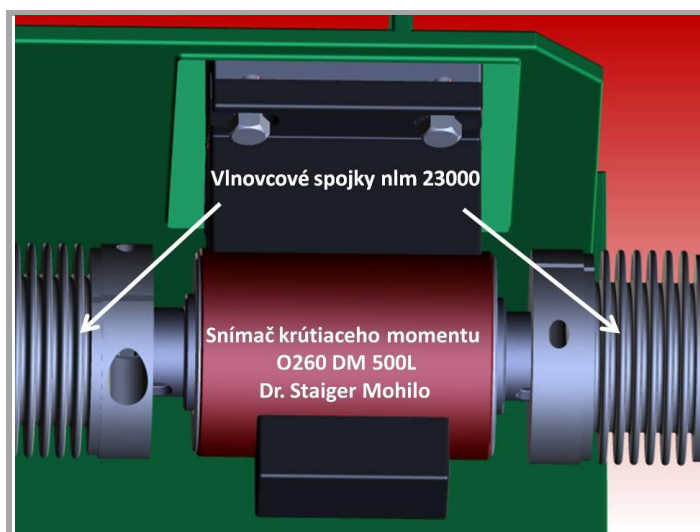
Pre celkové uloženie zotrvačníka som zvolil zvaranú konštrukciu z oceľových výpalkov o hrúbke 10 mm (zelená). Na spodnej časti konštrukcie sa nachádzajú presne opracované plochy, ktoré nám pri dosadnutí na podstavu zabezpečia presnú osovú výšku. Pre zabezpečenie súosovosti hriadeľa zotrvačníka, sa v spodnej časti nachádza výstupok pre presné zostavenie, zafixovanie na požadovanom mieste simulačného bloku a zabezpečenie presnosti voči ostatným rotujúcim komponentom. Proti translačnému pohybu je konštrukcia zabezpečená štyrmi lícovanými skrutkami. Samotné teleso zotrvačníka je umiestnené v dvoch ložiskách SKF 6016, ktoré sú uložené v oceľových puzdrách (červené). Presné uloženie puzdier je zabezpečené drážkovým vedením po okrajoch. Po presnom zostavení všetkých komponentov budú spodné diely puzdier k rámu zvarané. Pre montáž a prípadnú výmenu ložísk je možné puzdrá rozdeliť a spojiť pomocou lícovaných skrutiek s vysokou pevnosťou (trieda 8.8).



Obr. 13 Konštrukcia uloženia zotrvačníka

5.2.2 Snímanie krútiaceho momentu a HG/HM

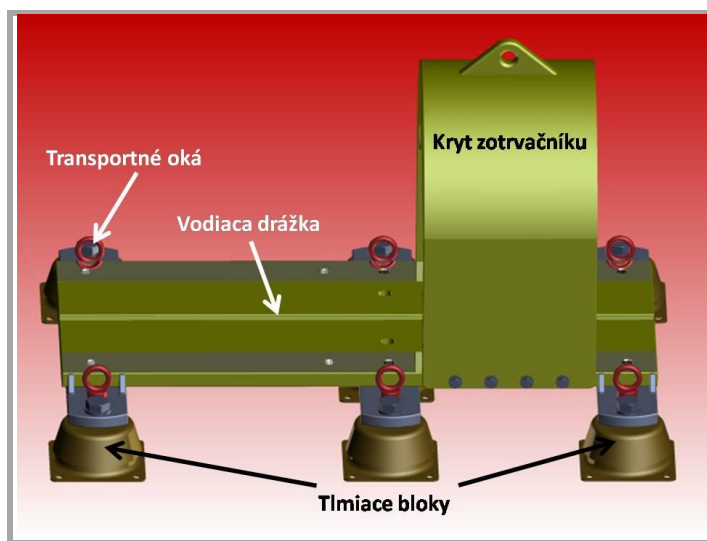
Snímač krútiaceho momentu od firmy Dr. Staiger Mohilo - O260 DM 500L je štandardne dodávaný s podstavovou podložkou, ktorá zabezpečí polohu snímača.[26] Ukotvenie podložky k rámu je zabezpečené normalizovanými skrutkami M 12x1,5. Skrutky sú umiestnené v konštrukcii s určitou vôľou, aby bolo možné pri zostavovaní dosiahnuť úplnej súosovosti snímača s hriadeľmi. V prípade, že by nebolo tejto súosovosti dosiahnuté, mohli by sme získať pri meraní skreslené hodnoty. Prenos krútiaceho momentu je zabezpečený trecím spojmom vlnovcovej spojky a perom. Prvky snímača a prenosu sú uložené v konzole zvarenej z oceľových výpalkov z 10 mm hrubého plechu. Na ľavej strane konzoly je uchytený HG/HM- A4VG110 EP podľa požiadavky firmy Bosch Rexroth. Celá konzola je vybavená transportným okom pre lepšiu manipuláciu pri zostavovaní.



Obr. 14 Snímač krútiaceho momentu

5.2.3 Zastavovacia podložka

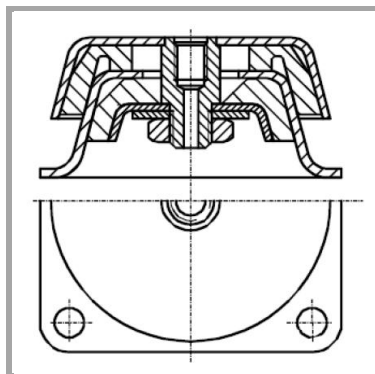
Jednotlivé, vyššie popísané bloky sú umiestnené na podstavovej podložke. Pre zabezpečenie presného zostavenia a umiestnenia v požadovanej polohe je stredom podložky frézovaná drážka, do ktorej jednotlivé bloky zapadnú. Pre zafixovanie v pozdĺžnom smere drážky ukotvíme jednotlivé bloky skrutkami. Vzhľadom k zvýšeniu bezpečnosti stendu je nad zotrvačnickým blokom umiestnený zvaraný kryt z 10 mm hrubého plechu, ktorý v prípade havárie zotrvačníka zmierni následky spôsobené kotúčmi telesa zotrvačníka. Pre zníženie hlučnosti a eliminovanie prípadných otrasov je celý blok umiestnený na 7 tlmiacich blokoch, umiestnených podľa výpočtov ťažiska bloku za pomoci programu Autodesk Inventor Professional 2011.



Obr. 15 Zostavovacia podložka zotrvačníka

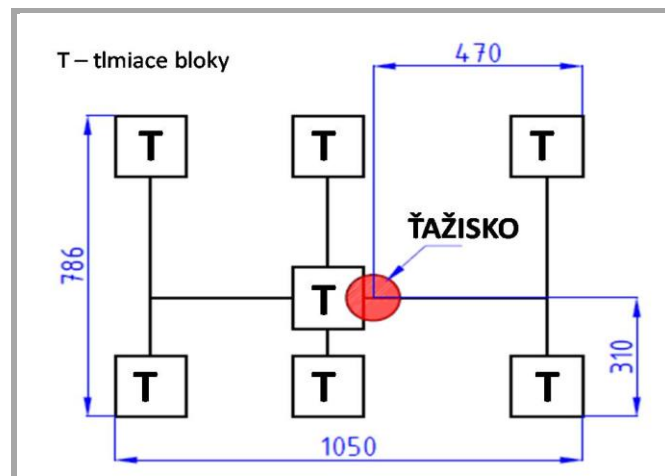
5.2.4 Tlmiace bloky

Tlmiace bloky slúžia k eliminovaniu vibrácií na požadovanú prípustnú hodnotu. 100 % izolácia sústavy nie je z praktického hľadiska možná. Preto pre naše účely bude postačovať zníženie vibrácií na 20 % (nižších hodnôt by sme dosiahli zmenou budiaceho kmitočtu) Podľa normy AB 33-11 boli pre stend zvolené tlmiace bloky s označením AB33-11 / D1 – 50.



Obr. 16 Usporiadanie a konštrukcia tlmiaceho bloku

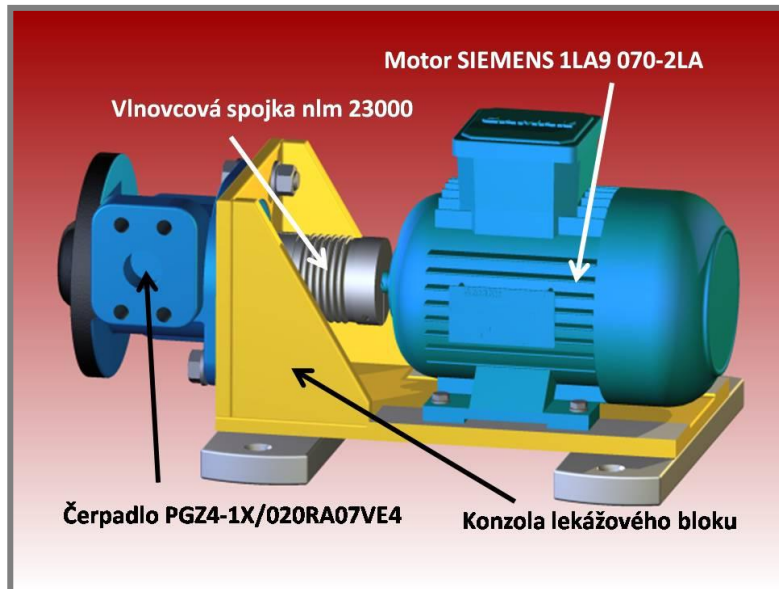
Rozmiestnenie tlmiacich blokov bolo na základe určenia polohy ťažiska sústavy.



Obr. 17 Poloha ťažiska bloku

5.3 Odsávací blok

V prípade nežiaducich priesakov z čerpadla HG/HM – lekáž, je do stendu zaradený modul čerpadla pre odsávanie kvapaliny a následné vrátenie do systému. Pre zvolený HG/HM - A4VG110 EP na základe konzultácie s firmou Bosch Rexroth bolo zvolené zubové čerpadlo typu PGZ4-1X/020RA07VE4 o prietoku 28 l/min pri tlaku 0,1 MPa. [10] Pohon čerpadla je realizovaný motorom od firmy Siemens typu 1LA9 070-2LA s výkonom 0,45 kW. [27] Prenos krútiaceho momentu medzi hriadeľom čerpadla a motoru je kvôli plynulému chodu prenášaný vlnovcovou spojkou nlm 23000 so schopnosťou preniesť krútiaci moment 2,3 Nm. Komponenty sú uložené v zvaranej konštrukcii z ocelových výpalkov o hrúbke plechu 8 mm. Uloženie bloku na stende ploche je pomocou skrutiek M12x1,5 na pripravené dosadacie plochy.



Obr. 18 Odsávací blok

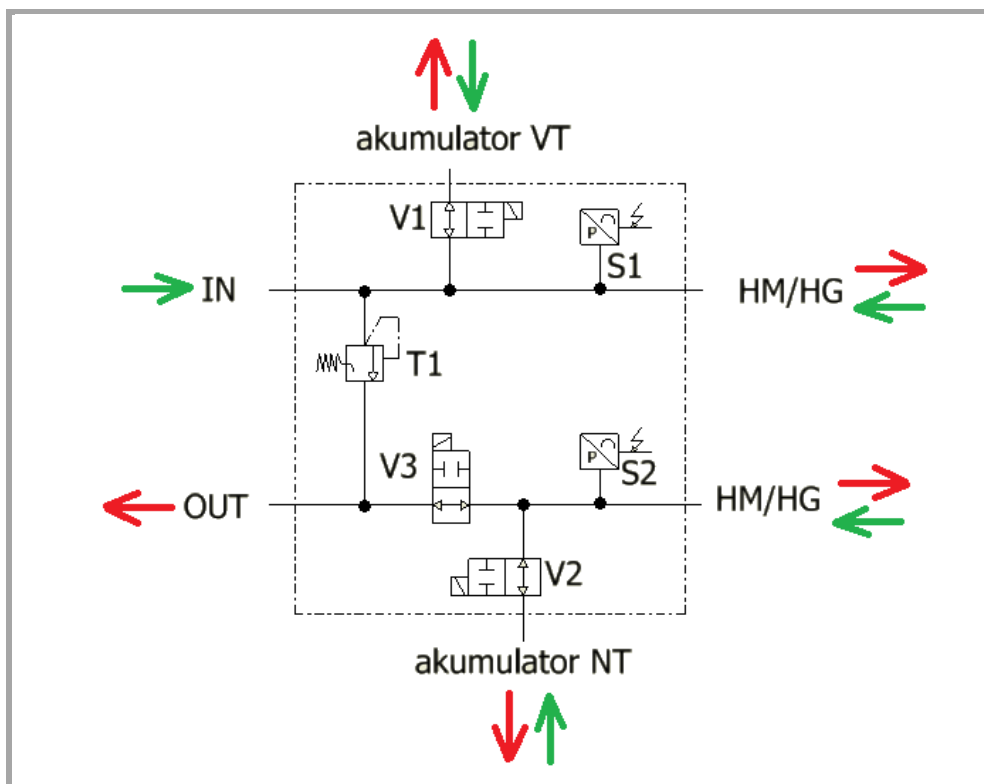
5.4 Rozvádzačí blok

5.4

5.4.1 Schéma rozvážacieho bloku

5.4.1

Pre prepojenie jednotlivých komponentov a zabezpečenie správnej funkcie medzi nimi je navrhnutý rozvážací ventilový blok v súlade s funkčnou schémou celého stendu. Ventilový blok je vyrábaný na objednávku pre potreby stendu s použitím vstavaných prvkov od firmy Bosch Rexroth.



Obr. 19 Schéma funkcie rozvážacieho blok

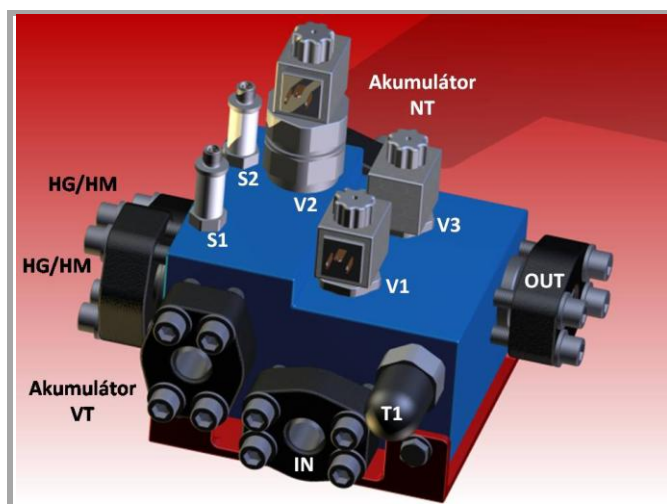
Použité značenie:

IN	vstupný tlak z generátoru (zelená)
OUT	výstup - rezervoár (červená)
S1	snímač tlaku
S2	snímač tlaku
T1	tlakový snímač
V1	elektromagnetický ventil
V2	elektromagnetický ventil
V3	elektromagnetický ventil
akumulátor VT	vysokotlakový akumulátor
akumulátor NT	nízkotlakový akumulátor
HM/HG	vstup a výstup hydromotora A4VG90 EP

- šípky naznačujú možný smer toku kvapaliny

5.4.2 Konštrukcia rozvádzacieho bloku

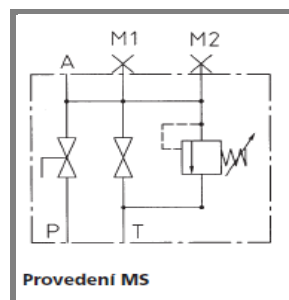
Teleso rozvádzacieho bloku je vyrobené z konštrukčnej ocele podľa návrhu uvedeného vo funkčnej schéme. Jednotlivé otvory a závitové pre komponenty sú vytvorené podľa požiadaviek výrobcu – Bosch Rexroth. Podklady je možné nájsť v priložených katalógových listoch. Pri návrhu usporiadania boli prioritou čo najkratšie a najmenej komplikované cesty pre prechod kvapaliny. Príruby použité pre rozvod kvapaliny sú kompatibilné s ostatnými použitými prvkami stendu. Na odporúčanie firmy Bosch Rexroth boli zvolené príruby od výrobcu VOSS. Príruby spĺňajú normu ČSN EN ISO 228-1 – G1 A. Rozvádzací blok je umiestnený a k stendu pomocou držiaku vyrábaného ako výpalok a následne ohýbaný do požadovaného tvaru.



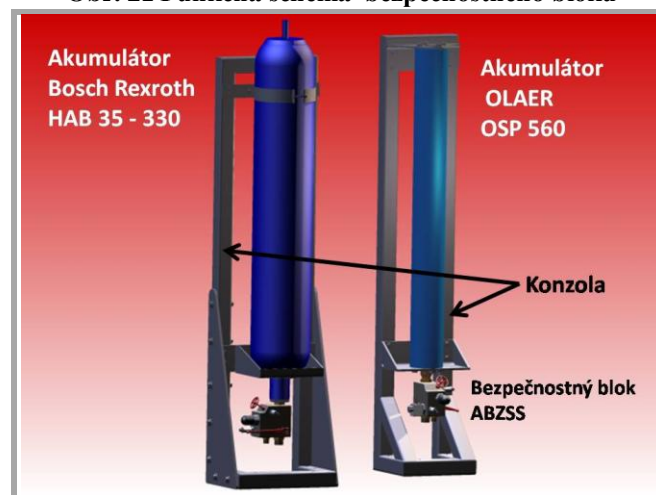
Obr. 20 Rozvádzací blok

5.5 Akumulátorový blok

Pre správnu funkciu a ekonomické usporiadanie stendu je nutné navrhnuť konzoly držiace akumulátory vo vertikálnej polohe. Konzoly budú vyrobené zo zváraných jeklových profilov a dosadacích plechov. Samotné držiaky akumulátorov je možné objednať priamo s akumulátorom. Jedná sa o upevňovací strmeň a konzolu s pryžovým krúžkom. Podrobnejšie informácie je možné vyhľadať v katalógovom liste. Ako príslušenstvo akumulátorov je dodávaný firmou OLAER bezpečnostný a uzatvárací blok DI 32 MS2-211 BH-FL, s rozsahom teplôt $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. [5]



Obr. 21 Funkčná schéma bezpečnostného bloku

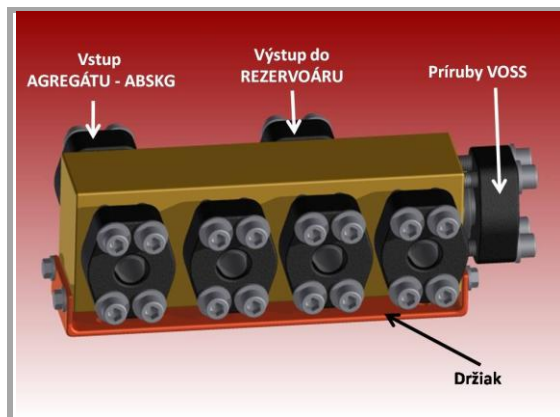


Obr. 22 Konzoly akumulátorov

5.6 Výstupný blok

5.6

Zber jednotlivých hadíc so systému s odvodom kvapaliny do rezervoáru je realizovaný výstupným blokom. Jednotlivé hadice sú k bloku pripájané za pomoci príruby od firmy VOSS. Príruby splňujú normu SAEJ 518 C / ISO 6162. Maximálny tlak predpísaný výrobcom je 40 MPa. Vstupy bloku sú kompatibilné s ostatnými komponentami použitými v stende. Ďalšou funkciou bloku je vstupné pripojenie agregátu vytvárajúceho tlak pre rozbeh zotrvačníku. Vstupný blok slúži ako periférne zariadenie pre pripojenie externých častí – agregátu ABSKG od firmy Bosch Rexroth.

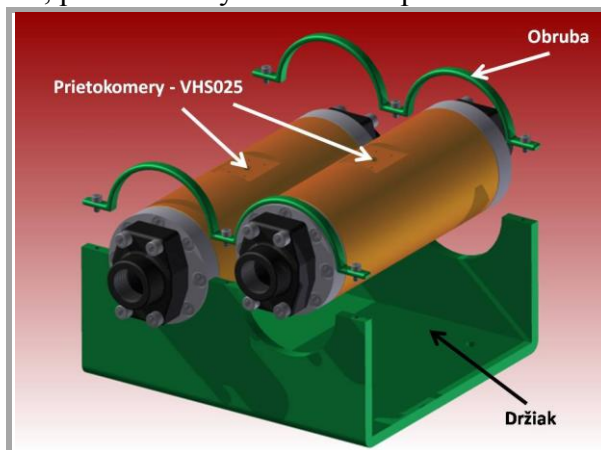


Obr. 23 Vstupný blok

5.7 Prietokomerový blok

5.7

Snímanie prietoku v každom okamihu priebehu je realizované prietokomerami od firmy Honsberg. [30] Na základe technických parametrov a rozmerových výkresov bola navrhnutá konštrukcia pre uchytenie v požadovanej polohe. Držiak je vyrobený z vypaľovaného plechu o hrúbke 7 mm. Do požadovaného tvaru je prispôbentý ohýbaním. Prietokomery sú uložené v čelných častiach držiaku a prichytené obrubou, pre možnú výmenu a manipuláciu.



Obr. 24 Prietokomerový blok

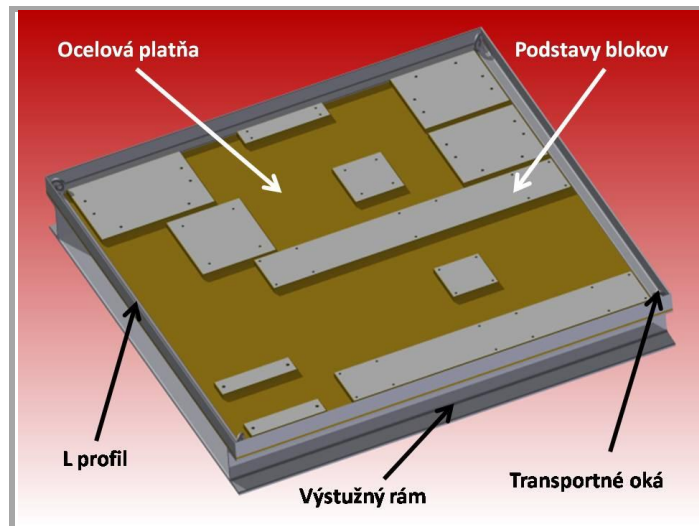
5.8 Podstava stendu

Základom celého stendu je zváraná oceľová platňa vystužená rámom z U profilov. Podstava je tvorená valcovaným plechom o hrúbke 8mm, prispôbentým do požadovaných rozmerov. Na plechu sú navarené podstavy jednotlivých blokov. Povrch podstáv je upravený so zvýšenou presnosťou, aby bolo možné dosiahnuť požadovanú presnú polohu. Podstavy obsahujú závitové otvory pre potrebnú inštaláciu blokov. Z dolnej strany po celom obvode je k platni privarený oceľový nosný rám z UE profilov o rozmeroch UE160 – ČSN 42 5571. Pre zvýšenie únosnosti je podstava vystužená dvoma priečnymi profilmi.

Z hornej strany je k plechu po celom obvode privarený L profil s rozmermi DIN L60 x 40 x 5, ktorý v prípade poruchy – úniku oleja zo systému, zabraňuje znečisteniu okolitého priestoru.

Manipulácia

Pre manipuláciu so stendom sú v rohoch podstavy umiestnené normalizované transportné oká- AS 2317 – M16. Celkové rozmery podstavy sú – 1486 x 1540 mm a požadovaná únosnosť –1177 kg.



Obr. 25 Podstava stendu

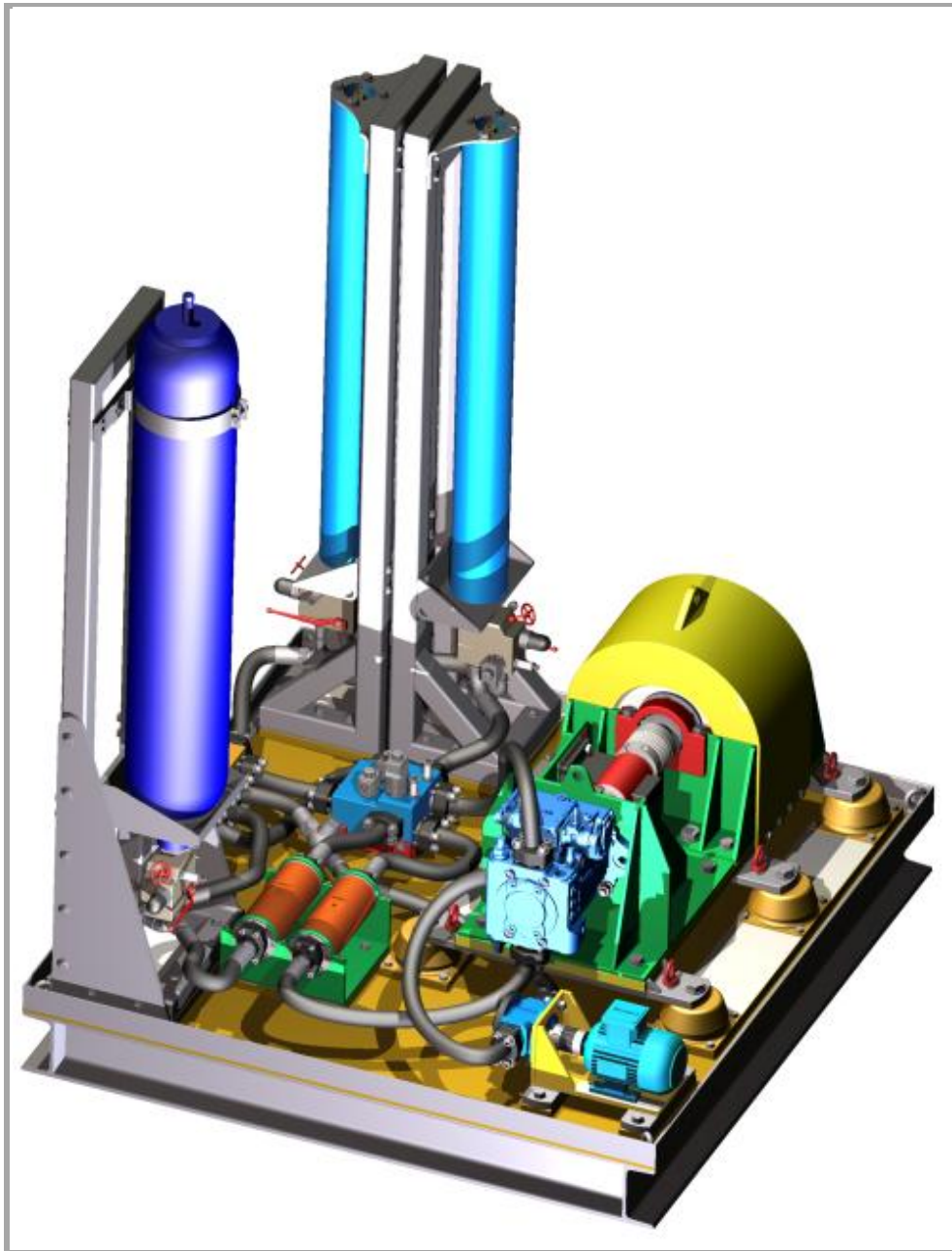
5.9 Vedenie kvapaliny

5.9

Pre vedenie kvapaliny je možné použiť tlakové potrubia, alebo hydraulické hadice. Aby bolo zabránené prenosu vibrácii volím pre prenos kvapaliny medzi jednotlivými komponentmi hydraulické hadice od firmy Parker. Hadice sú volené so svetlosťou G1, ohľadom na prietoky a požiadavky jednotlivých komponentov. Celková dĺžka použitých hadíc je 4530 mm. Svetlosť hadíc je v niektorých miestach predimenzovaná pre zníženie strát na minimálne možné hodnoty. Pre pripojenie jednotlivých komponentov sú použité príruby od firmy VOSS prípadne iné splňujúce DIN ISO 6162-1, DIN ISO 6162-2 a internú normu Bosch Rexroth AB22-14. Redukcie a iné armatúry sú zvolené od výrobcu Parker. Pri návrhu hydraulických rozvodov je nutné dbať na minimálny možný polomer ohybu hadíc. Tento polomer je udávaný výrobcom 12,7 mm.

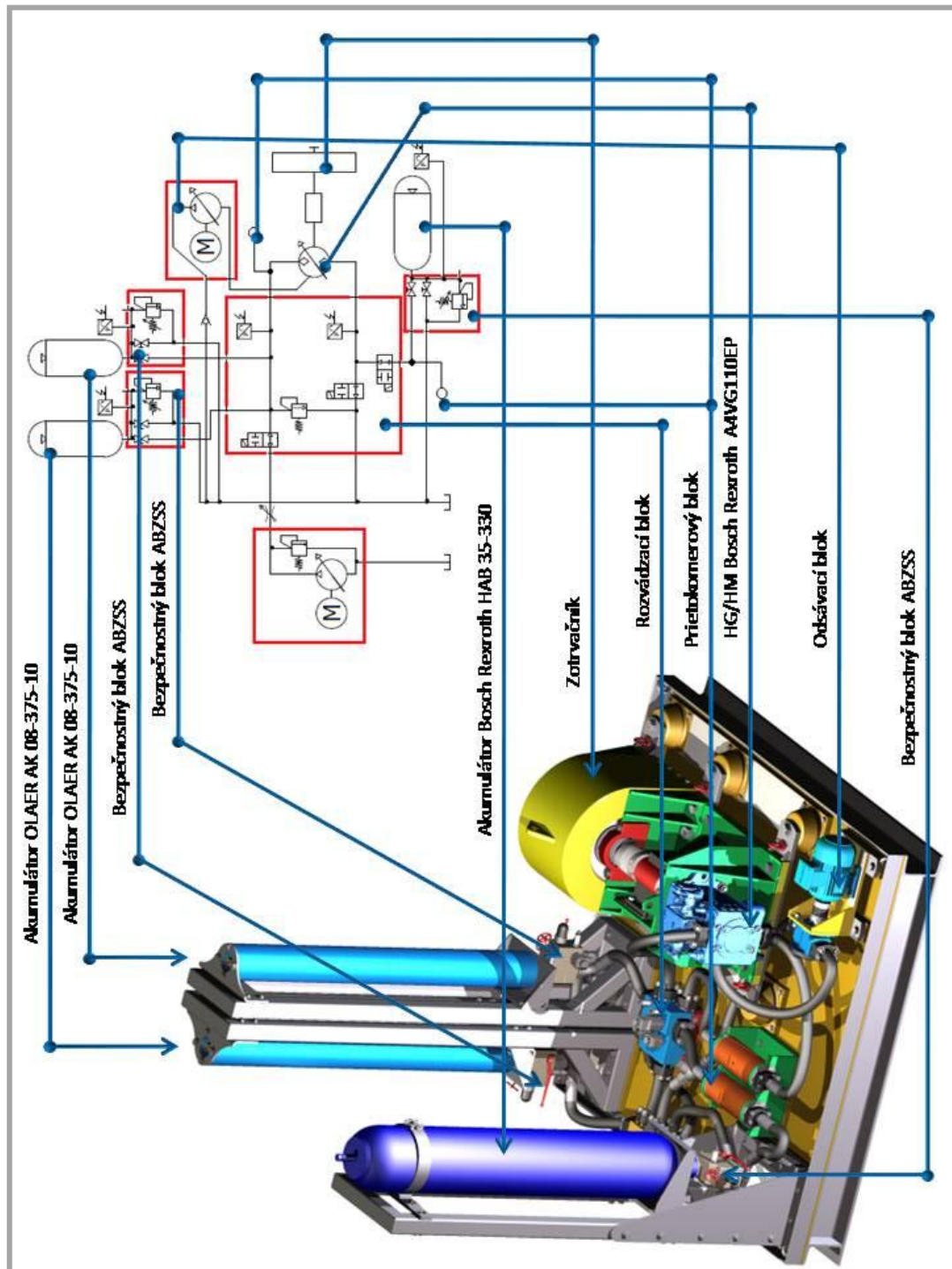
5.10 3D model zostavy

Celkové zostavenie modelu za pomoci programu Autodesk Inventor Professional 2011 v 3D podobe. Farebné rozlíšenie dielov je pre prehľadnejšie rozlišovanie jednotlivých komponentov a pre rýchlejšiu orientáciu v stende. Celkové rozloženie blokov a funkčnosť komponentov je v súlade s doteraz uvažovanými riešeniami.



Obr. 26 3D model stendu

5.11 Názorné prepojenie 3D modelu s konštrukčnou schémou



Obr. 27 Názorné prepojenie 3D modelu s konštrukčnou schémou

5.12 Hmotnostné vyjadrenie jednotlivých komponentov

Hmotnosti jednotlivých objednávaných komponentov som prevzal z katalógových listov výrobcov uvedených v prílohe a ostatné hmotnosti vyrábaných dielov sú vygenerované z konštrukčného návrhu stendu za pomoci softwaru Autodesk Inventor Professional 2011.

Komponent	Typ	Dodávateľ	Počet [ks]	Hmot. [kg]	Hmot. [kg]
Akumulátor	HAB 35-330	Bosch Rexroth	1	85	85
Akumulátor	AK 08-375-10	Olaer	2	49	98
Jednosmerný ventil		Parker	1	0,4	0,4
Tlmiaci blok	AB33-11 / D1	Bosch Rexroth	11	5,185	57,035
Ventil	VEI-8A-12-NA	Bosch Rexroth	2	0,52	1,04
Ventil	VEI-8A-2B-16	Bosch Rexroth	1	1,31	1,31
Tlakový ventil	DBD-10	Bosch Rexroth	1	0,5	0,5
Tlakový snímač	HM 17	Bosch Rexroth	2	0,05	0,1
Prietokomer	VHS025	Hornsberg	2	3,44	6,88
Hydrogenerátor HM/HG	A4VG110EP	Bosch Rexroth	1	88	88
Vlnocová spojka	n1m 23000 - 400	Norelem	2	1,5	3
Vlnocová spojka	n1m 23000 - 020	Norelem	1	0,3	0,3
Snímač krútiaceho momentu	0260 DM	Staiger Moh.	1	5	5
Motor	1LA9-070-2LA	Siemens	1	6	6
Čerpadlo	PGZ4/20	Bosch Rexroth	1	4,7	4,7
Príruba	ZAKO 1"	VOSS	17	0,987	16,779
Bezpečnostný blok	ABZSS 20/3X/M	Bosch Rexroth	3	8,5	25,5
Rozvádzací blok		3D návrh	1		23,676
Konzola lekážového bloku		3D návrh	1		12,197
Teleso zotrvačníka		3D návrh	1		205,909
Konzola simulačného bloku		3D návrh	1		256,482
Konzola akumulátora		3D návrh	2	48,649	97,298
Konzola akumulátora		3D návrh	1		71,725
Konzola prietokomerov		3D návrh	1		9,896
Výstupný blok		3D návrh	1		16,684
Podložka stendu		3D návrh	1		482,905
Redukcia		3D návrh	1		0,278
SPOLU					1177,05

Tabuľka 1. Výsledné hmotnosti jednotlivých komponentov

6. KOŠTRUKČNÉ, TECHNOLOGICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE RIEŠENIA

6

6.1 Konštrukčné zhodnotenie

6.1

Usporiadanie a návrh jednotlivých komponentov rekuperačného stendu vychádza z experimentu a zaznamenaných výsledkov cyklických testov rekuperačného stendu zostrojeného na univerzite Wisconsin – Madison. Experiment sa odvíjal od teoretických predpokladov spracovaných v článku Modeling of Hydraulic Energy Regeneration System. Na základe porovnávania experimentálnych dát a dosiahnutých výsledkov boli v spolupráci s pracovníkmi firmy Bosch Rexroth volené požadované komponenty, splňujúce naše požiadavky priblížiť sa k čo najpresnejším dátam potrebným pre matematický model stendu. Zvolené hydraulické komponenty splňujú funkciu požadovanú zadáním. Pri návrhu konštrukcie stendu bol braný ohľad na parametre a inštalačné požiadavky výrobcov jednotlivých prvkov. Informácie boli dohľadane v katalógových listoch (vid. príloha), prípadne konzultované s poverenými pracovníkmi. Samotný stend bol dimenzovaný so zvýšenou bezpečnosťou, pretože v systéme bude dochádzať k veľkým tlakovým zmenám a vysokým otáčkam zotrvačníka. Taktiež je braný ohľad na únosnosť rámu pretože predpokladaná hmotnosť stendu na základe 3D modelu je 1177 kg. Pretože sa nejedná o sériovú výrobu, ale o jeden experimentálny model predimenzovanie niektorých prvkov konštrukcie nie je tak ekonomicky náročné. Špeciálna pozornosť bola venovaná návrhu zotrvačníka, ktorý bude dosahovať otáčok 2250 min^{-1} . Pri tak vysokých otáčkach je povolená minimálna excentricita, ktorá je v súlade s dynamickým vyvažovaním podľa normy ISO 1940-1 a požadovanou vysokou bezpečnosťou.

6.2 Technologický rozbor

6.2

Pre výrobu stendu som volil bežne dostupné materiály a polotovary. Pri výbere jednotlivých spojovacích prvkov bol braný ohľad na ekonomickú náročnosť a kompatibilitu s volenými komponentmi, preto vo väčšine prípadov boli navrhnuté prvky bežne používané firmou Bosch Rexroth. Výrobu zotrvačníka je dôležité objednať u špecializovanej firmy, pretože vzhľadom na rozmery a otáčky sa jedná o veľmi náročný a drahý proces. Katalógové prvky testovacieho stendu od jednotlivých výrobcov, boli zvolené na základe experimentu uskutočneného na Univerzite Wisconsin Madison. Požiadavkou na návrh stendu bolo dosiahnuť, čo najvhodnejších parametrov volených prvkov a následne aj získaných výsledkov z výpočtového modelu. Voľbou jednotlivých komponentov sa podrobnejšie zaoberá bakalárska práca J. Vašíčka. Výsledné zhodnotenie je uvedené v Tab.2.

Komponent	Zrovnávaná veličina	Volený komponent		Komponent vzorového stendu		Odchylka [%]
		Hodnota	Jednotka	Hodnota	Jednotka	
HG/HM	objem	107	[cm ³ /ot]	107	[cm ³ /ot]	0
	max. uhol dosky	29	[°]	25	[°]	13,8
Vysokotlakový akumulátor	objem	8	[l]	8,185	[l]	2,3
	maximálny tlak	37,5	[MPa]	20,7	[MPa]	44,8
Nízkotlakový akumulátor	objem	35	[l]	38	[l]	7,9
Zotrvačník	moment zotrvačnosti	3,98	kg.m ²	3,98	kg.m ²	0

Tabuľka 2. Porovnanie komponentov so vzorovým stendom [1]

6.3 Ekonomický rozbor

Ovládacie prvky, hydrogenerátor, čerpadlo na odsávanie lekáži, akumulátory a ostatné komponenty sú bežne používané firmou Bosch Rexroth. Po odsúhlasení konštrukcie a prípadnom realizovaní stendu bude vypracovaná cenová ponuka podľa aktuálnych cenníkov.

7. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV
7

Symbol	Jednotka	Význam
E_{trans}	[J]	- kinetická energia translačného pohybu vozidla
E_{rot}	[J]	- kinetická energia rotačného pohybu zotrvačníka
m_v	[kg]	- hmotnosť vozidla (reálneho)
v	[m.s ⁻¹]	- rýchlosť vozidla (reálneho)
I_0	[kg.m ²]	- moment zotrvačnosti zotrvačníka
ω	[rad.s ⁻¹]	- uhlová rýchlosť zotrvačníka
ρ	[kg.m ³]	- hustota materiálu zotrvačníka
B	[m]	- šírka zotrvačníka
R	[m]	- polomer zotrvačníka
n	[min ⁻¹]	- otáčky zotrvačníka
ε	[mm]	- excentricita
ε_i	[mm]	- excentricita (odpovedá danej triede presnosti G)
ω_{max}	[rad.s ⁻¹]	- uhlová rýchlosť
ω_p	[rad.s ⁻¹]	- pracovná uhlová rýchlosť
G	[mm.s ⁻¹]	- trieda presnosti
n_{max}	[s ⁻¹]	- maximálne otáčky (pri $v_g < v_{g\ max}$)
n_n	[s ⁻¹]	- pracovné otáčky
m_z	[kg]	- celková hmotnosť zotrvačníka (z 3D modelu)
N_p	[g.mm]	- nevyváženosť
F_o	[N]	- odstredivá sila
F_s	[N]	- stredné myslené zaťaženie
F_{min}	[N]	- minimálna sila pôsobiaca na ložisko
F_{max}	[N]	- maximálna sila pôsobiaca na ložisko
F_g	[N]	- gravitačná sila
g	[m/s ⁻²]	- gravitačné zrýchlenie zeme
N_r	[-]	- počet cyklov za dobu životnosti stendu
t_E	[h]	- čas priebehu jedného experimentu
t_D	[h]	- pracovný čas jedného dňa
d_R	[dni]	- počet pracovných dní za rok
r_S	[roky]	- počet rokov životnosti stendu
L_D	[h]	- požadovaná základná trvanlivosť ložiska
M_k	[N.mm]	- krútiaci moment na hriadeli
R_{se}	[MPa]	- medza klzu v šmyku
d	[mm]	- priemer hriadeľa
b	[mm]	- šírka pera
l	[mm]	- dĺžka pera
t_l	[mm]	- výška pera v telese zotrvačníka
k_n	[-]	- návrhový súčiniteľ

<i>HRB</i>	- hydrostatický regeneratívny brzdoý systém
<i>3D</i>	- tri dimenzie
<i>CO₂</i>	- oxid uhličitý
<i>EIA</i>	- informačný úrad pre energiu
<i>IEA</i>	- medzinárodná agentúra pre energiu
<i>LVDT</i>	- linear variable differential transformer
<i>IN</i>	- vstup
<i>OUT</i>	- výstup
<i>S1</i>	- snímač tlaku
<i>S2</i>	- snímač tlaku
<i>T1</i>	- tlakový snímač
<i>V1</i>	- elektromagnetický ventil
<i>V2</i>	- elektromagnetický ventil
<i>V3</i>	- elektromagnetický ventil
<i>VT</i>	- vysokotlakový akumulátor
<i>NT</i>	- nízkotlakový akumulátor
<i>HM/HG</i>	- axiálny hydrogenerátor A4VG110 EP
<i>HM</i>	- hydromotor

8. ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV

8

8.1 Zoznam obrázkov

8.1

Obr. 1 Testovacie vozidlo x2eco od firmy HALLEY	13
Obr. 2 Systém zapojenia paralelného HRB vo vozidle.....	15
Obr. 3 Komponenty paralelného HRB systému	15
Obr. 4 Systém zapojenia sériového HRB vo vozidle.....	14
Obr. 5 Komponenty sériového HRB systému	16
Obr. 6 Hydraulický obvod pre cyklickú rekuperáciu.....	19
Obr. 7 Modulárny agregát – ABSKG od firmy Bosch Rexroth.....	20
Obr. 8 Schéma usporiadania stendu	23
Obr. 9 Simulačný blok	24
Obr. 10 Výsledky merania vzorového stendu	25
Obr. 11 Ložiská SKF	29
Obr. 12 Hriadeľ pre disky zotrvačníku	30
Obr. 13 Konštrukcia uloženia zotrvačníka	32
Obr. 14 Snímač krútiaceho momentu	32
Obr. 15 Zostavovacia podložka zotrvačníka	33
Obr. 16 Usporiadanie a konštrukcia tlmiaceho bloku.....	33
Obr. 17 Poloha ťažiska bloku	34
Obr. 18 Odsávací blok	35
Obr. 19 Schéma funkcie rozvážacieho blok	35
Obr. 20 Rozvážací blok	36
Obr. 21 Funkčná schéma bezpečnostného bloku	37
Obr. 22 Konzoly akumulátorov.....	37
Obr. 23 Vstupný blok.....	38
Obr. 24 Prietokomerový blok	38
Obr. 25 Podstava stendu	39
Obr. 26 3D model stendu	40
Obr. 27 Prepojenie 3D modelu s konštrukčnou schémou.....	41

8.2 Zoznam grafov

8.2

Graf 1 Vývoj cien západotexaskej ropy od roku 2004	17
Graf 2 Voľba triedy presnosti pre vyvažovanie zotrvačníka.....	27
Graf 3 Priebeh 1 cyklu zotrvačníka.....	28

8.3 Zoznam tabuliek

8.3

Tabuľka 1. Výsledné hmotnosti jednotlivých komponentov	42
Tabuľka 2. Porovnanie komponentov so vzorovým stendom	44

9. ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] VAŠÍČEK, J. *Prvky experimentálního zařízení k výzkumu rekuperace energie vozidel*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.
- [2] NEVRLÝ, J. *Rekuperace kinetické energie těžkých užitkových vozidel s cyklickým provozem*. Brno, 2011. Výzkumná správa. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství - ústav konstruování.
- [3] INDRUCH, J. *Stend pro analýzu rekuperace energie v experimentálním vozidle*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.
- [4] OLAER. *Accumulateur: Série AK*. France: Olaer, 2006.
- [5] BOSCH REXROTH AG. *Accumulator safety block: Type ABZSS*. RE 50131/08.11. Lohr am Main, Germany: Bosch Rexroth AG, 2008.
- [6] BOSCH REXROTH CORPORATION. *Axial Piston Variable Pump A4VG (US-Version): Data sheet*. RA-A 92004/12.11. USA: Bosch Rexroth Corporation, 2012.
- [7] BOSCH REXROTH OIL CONTROL. *Bosch Rexroth Oil Control Cartridge Program U.S. Release*. AB4.050. Bosch Rexroth Oil Control, 2002.
- [8] BOSCH REXROTH OIL CONTROL. *Compact Controls: Product Range Information*. RE 00164/01.06. Germany: Bosch Rexroth Oil Control, 2001.
- [9] VOSS. *Flange couplings: ZAKO / ZAKO LP*. VOSS.
- [10] BOSCH REXROTH AG. *Gerotor pump, fixed displacement volume: Type PGZ*. RE 10545/12.11. Lohr am Main, Germany: Bosch Rexroth, s.r.o, 2011.
- [11] BOSCH REXROTH AG. *Hydraulic Hybrid from Rexroth: Hydrostatic Regenerative Braking System HRB*. RE 98310/08.10. Germany: Bosch Rexroth AG, 2008.
- [12] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

- [13] NORELEM. *Metal Bellows Couplings: nlm 23000*. Norelem.
- [14] POURMOVAHED, A, N.H. BEACHLEY a F.J. FRONCZAK. *Modeling of Hydraulic Energy Regeneration System – Part I: Experimental Program. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*. 114/160. Marec 1992.
- [15] POURMOVAHED, A, N.H. BEACHLEY a F.J. FRONCZAK. *Modeling of Hydraulic Energy Regeneration System – Part II: Analytical Treatment. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*. Vol. 114/155. March 1992.
- [16] BOSCH REXROTH AG. *Modular standard power units: Type ABSKG. RE 51013/04.06*. Lohr am Main, Germany, 2004.
- [17] BOSCH REXROTH AG. *Pressure relief valve, direct operated: Type DBD. RE 25402/10.10*. Lohr am Main, Germany: Bosch Rexroth AG, 2010.
- [18] BOSCH REXROTH AG. *Pressure transducer with integrated electronics: Type HM 17. RE 30 269/02.03*. Lohr am Main, Germany: Bosch Rexroth AG, 2002.
- [19] BOSCH REXROTH AG. *Product Catalog Mobile Hydraulics: Part 3: Compact Hydraulics: mechanical, solenoid and proportional cartridge valves, integrated circuits. RE 90005-03/04.10*. Germany: Bosch Rexroth AG, 2004.
- [20] BOSCH REXROTH AG. *Průmyslová hydraulika Hydraulické a elektronické komponenty: Informace o programu. R-CZ 00208/08.08*. Germany: Bosch Rexroth AG, 2008.
- [21] BOSCH REXROTH OIL CONTROL S.P.A. *Solenoid operated valves pilot operated poppet type 2-way normally closed: VEI-8A-2B-16-NC-NSS. RE 18323-15/01.10*. Italy: Bosch Rexroth Oil Control S.p.A., 2001.
- [22] BOSCH REXROTH OIL CONTROL S.P.A. *Solenoid operated valves pilot operated poppet type 2-way normally open: Type VEI-8A-12-NA. RE 18323-08/02.11*. Nonantola – Modena, Italy: Bosch Rexroth Oil Control S.p.A., 2002.
- [23] VÁVRA, P a J LEINVEBER. *Strojnické tabulky*. 4 doplnené vydanie. Úvaly: Albra- pedagogické nakladatel'stvo, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [24] PIVOŇKA, Josef. *Tekutinové mechanismy*. Praha: SNTL, 1987. ISBN 000033908.

- [25] PACIGA, A. a J. IVANTYŠIN. *Tekutinnové mechanizmy: celoštátna vysokoškolská učebnica pre strojnícke fakulty vysokých škôl*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1985. ISBN 2-0890.216.
- [26] DR. STAIGER, Mohilo+Co GmbH. *Torque sensors: 0260 DM*. E/06-03/TC/2.000. Lorch: Dr. Staiger, Mohilo+Co GmbH, 2006.
- [27] SIEMENS S.R.O. *Trojfázové asynchronní motory nakrátko: 1LA9 osová výška 56 až 160 výkon 0,14 až 24,5 kW*. K 05 - 0607 CZ. Praha: Siemens s.r.o., 2006.
- [28] TYP HAB. *Vakový akumulátor: Typ HAB*. R-CZ 50170/12.10. Typ HAB: Lohr am Main, Germany, 2012.
- [29] BOSCH REXROTH AG. *Vakový akumulátor: Návod k obsluze*. R-CZ 50170-B/08.10. Germany: Bosch Rexroth AG, 2008.
- [30] HONSBURG INSTRUMENTS GMBH. *VHS Screw Flow Meter: product data*. HONSBURG Instruments GmbH, 2010.
- [31] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. vyd. 2. Brno: CERM, 2007, 223 s. ISBN 978-80-7204-534-1.
- [32] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Základy konstruování*. Vyd. 3., upr. a dopl. Brno: CERM, 2009, 234 s. ISBN 978-80-7204-633-1.
- [33] CSN ISO 1940-1. *Vibrace. Požadavky na jakost vyvážení tuhých rotorů: Část 1: Stanovení přípustných zbytkových nevyvážků*. 1.2.2005. 2005.
- [34] *Motor GEMAK: 3D model* [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.3dcontentcentral.com>
- [35] *Vlnovcová spojka: nlm 23000*. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.tracepartsonline.net>

PRÍLOHY

1.

1. Axiálny piestový hydrogenerátor – typ A4VG110EP

Úlohou zvoleného hydrogenerátora je možnosť chodu v režime hydromotora a v obrátenom režime, kedy plní úlohu hydrogenerátora – HG/HM. Princíp spočíva v prevode tlaku oleja na krútiaci moment o požadovaných parametroch. V experimentálnom stende je HG/HM využívaný pre rozbeh a brzdenie zotrvačníka, ktorý simuluje pohyb automobilu. Pri brzdení, je tlaková sila vytvorená hydrogenerátorom uskladňovaná vo vysokotlakých akumulátoroch. Voľba HG/HM bola predurčená výpočtovým modelom simulácie. Volený HG/HM splňuje požiadavky.

- Axiálny piestový hydrogenerátor s nakloneným blokom
- Vhodný pre otvorený a uzatvorený okruh
- Možnosť naklonenia bloku až k 0°

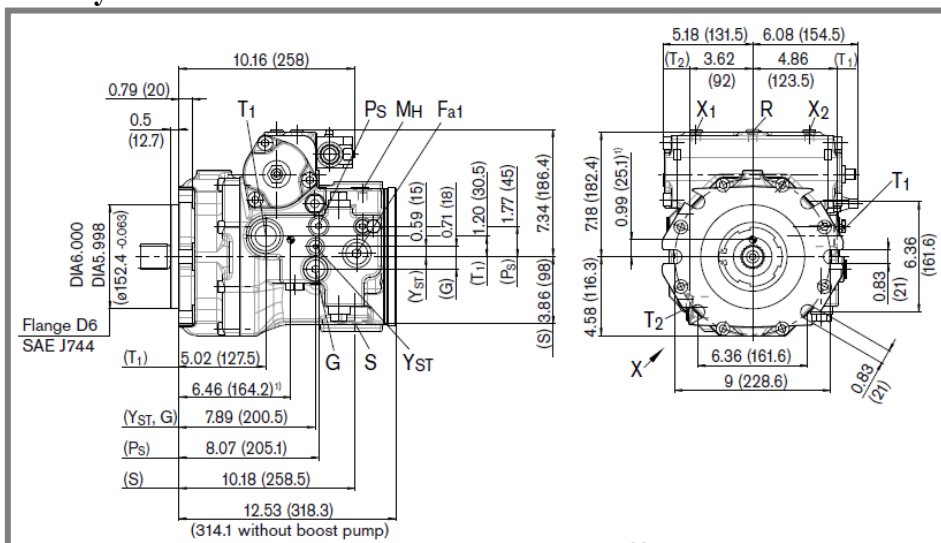
Dodávateľ : BOSCH Rexroth, katalógový list - RA-A 9200412.11

Technické parametre:

Hydrogenerátor A4VG110EP		
Menovitá veľkosť	A4VG	110
Menovitý tlak	p_n	45 MPa
Maximálny tlak	p_{max}	50 MPa
Geometrický objem	$V_{g\ max}$	110,4 cm ³
Počet otáčok	n_{nom} (pri $v_{g\ max}$)	3150 min ⁻¹
	n_{max} (pri $\Delta p = 4$ MPa)	3350 min ⁻¹
Prietok	$q_{v\ max}$	348 l/min
Točivý moment	T ($\Delta p=43$ MPa)	756 Nm
Hmotnosť	m	88 kg

Tabuľka 1

Konštrukčný náčrt:



Obr. 1 Axiálny piestový hydrogenerátor – typ A4VG110EP

2. Vysokotlaký akumulátor AK 08-375-10

Pre uskladňovanie energie uchovanej z brzdzenia a ďalej potrebnej pre rozbeh zotrvačníka, sú zaradené v obvode dva vysokotlakové akumulátory. Z dôvodu uskutočniteľnosti potrebných meraní, pre matematický výpočtový model, je dôležité vedieť v každom čase presný objem kvapaliny v akumulátore. Pre tento účel bol zvolený piestový akumulátor s možnosťou inštalácie snímača polohy piestu. Snímač je k zvolenému typu akumulátora možné objednať. Pre správnu funkciu akumulátora je potrebné použiť minerálne hydraulické oleje podľa DIN 51524.

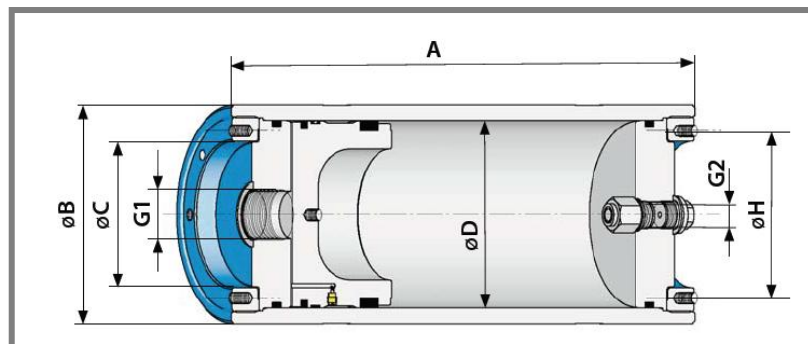
Dodávateľ : OLAER, katalógový list - Série AK - AK 08-375-10

Technické parametre:

Akumulátor AK 08-375-10		
Menovitý objem	v	8 l
Priemer piestu	Ø D	100 mm
Pracovný tlak	p _{max}	37,5 MPa
Hmotnosť	m	49 kg
Rozsah pracovných teplôt	t	-10 až +80°C

Tabuľka 2

Konstrukčný náčrt:



Obr. 2 Vysokotlaký akumulátor AK 08-375-10

Désignation	AK 08-375-10
Pression maxi en bar	375
Volume utile V0 en litres	8
Masse en kg	49
Ø D PISTON	100
A	1.200
Ø B	125
Ø C	
E	
G 1" Côté huile	1
G 2" Côté gaz	3/4
Ref colliers	
Ref chaises / console	

Tabuľka 3

3. Nízkotlaký akumulátor typ HAB 35 - 330

V preklopenom režime obvodu, keď je zotrvačník v pohybe (simulácia pohybových vlastností vozidla) a vysokotlakový akumulátor vyprázdnený. Stály pracovný tlak (0,308 kPa), potrebný pre chod HG/HM je v obvode udržiavaný nízkotlakým akumulátorom. Voľba akumulátora je limitovaná celkovým objemom kvapaliny pri úplnom vyprázdnení vysokotlakého akumulátora a potrebným prietokom pri odsávaní kvapaliny. Požiadavka na vnútornú konštrukciu akumulátora nieje bližšie špecifikovaná, preto bol zvolený vakový akumulátor série 4X plnený dusíkom. Podľa bezpečnostných predpisov podľa normy DIN 24552 je nutné za akumulátor radiť bezpečnostný blok. Bezpečnostný blok a konzoly pre uchytanie akumulátora sú dodávané ako príslušenstvo.

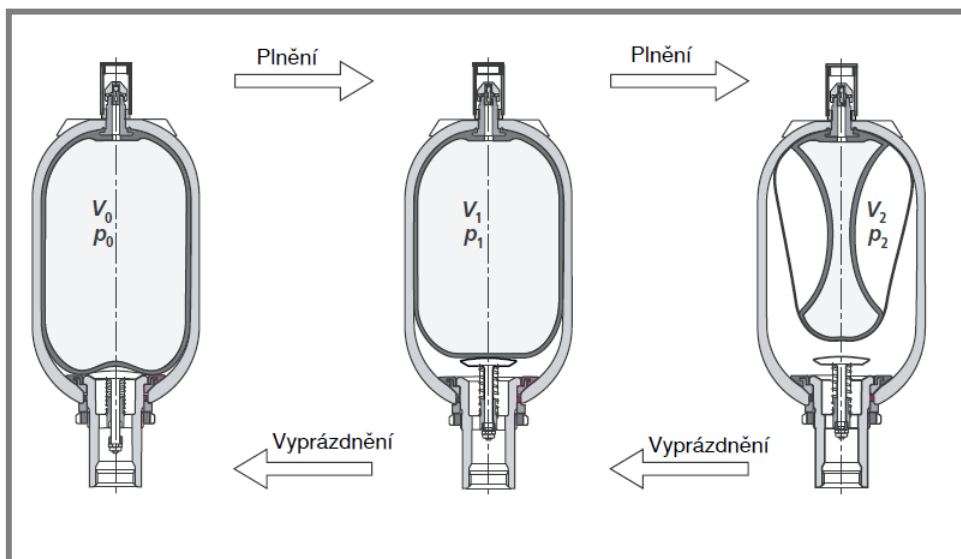
Dodávateľ : BOSCH Rexroth, katalógový list - R-CZ 5017012.10

Technické parametre:

Akumulátor HAB 35 - 330		
Menovitý objem	v	35 l
Efektívny objem plynu	v_e	33,4 l
Prietok	$q_{v \max}$	900 l/min
Pracovný tlak	p_p	330 bar
Hmotnosť	m	85 kg

Tabuľka 4

Princíp funkcie:



Obr. 3 Princíp funkcie akumulátora HAB 35-330

4. Bezpečnostný blok –typ ABZSS

Do obvodu je potrebné zaradiť bezpečnostný blok z dôvodu poistenia, uzatvárania a odľahčovania hydraulických akumulátorov. Blok spĺňa požiadavky o bezpečnostných predpisoch podľa normy DIN 24552, nariadenie o tlakových nádobách a technických pravidiel pre tlakové nádoby (TRB 403)

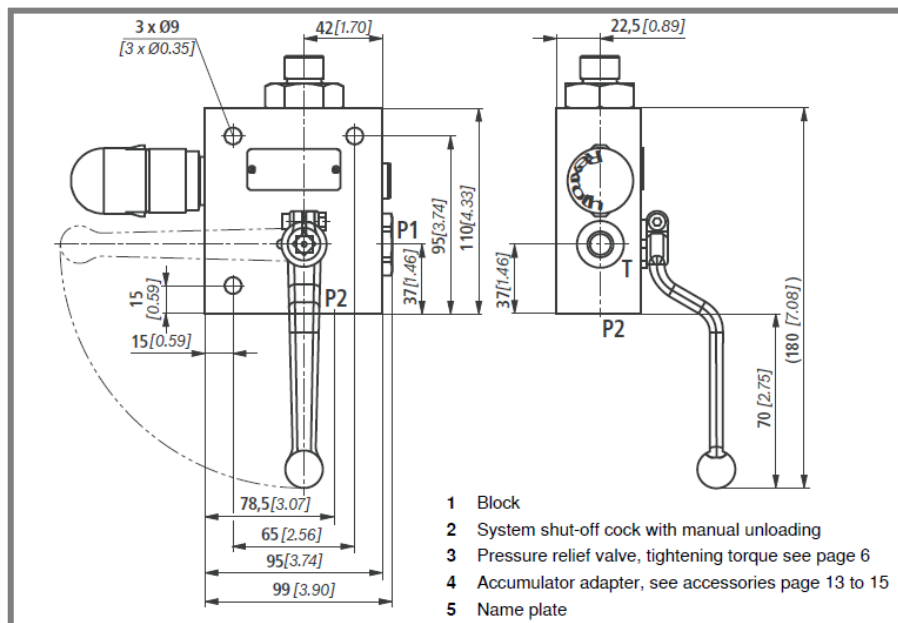
Dodávateľ: Bosch Rexroth, katalógový list - RE 5013108.11

Technické parametre:

Bezpečnostný blok ABZSS		
Menovitá veľkosť	ABZSS	20
Prevádzkový tlak	p_{max}	350 bar
Hmotnosť	m	8,5 kg

Tabuľka 5

Konštrukčný náčres:



Obr. 4 Bezpečnostný blok ABZSS

5. Snímač krútiaceho momentu - O260 DM 500L

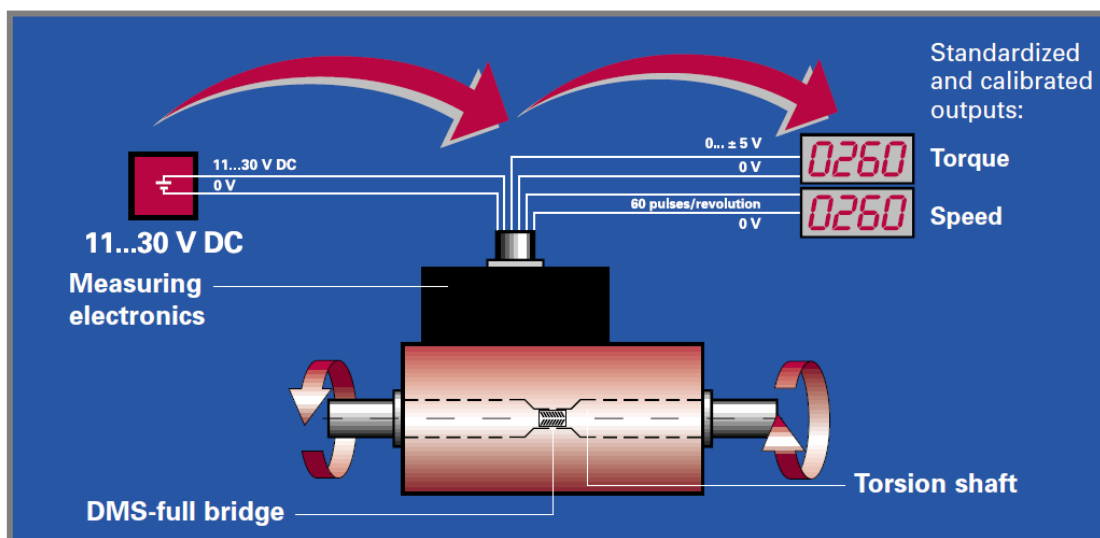
Dôležitým prvkom pre zber dát a vyhodnocovanie experimentu je snímač krútiaceho momentu, umiestnený medzi jednotkou HG/HM a telesom zotrvačníka. Krútiaci moment je na snímač prenášaný za pomoci vlnovcových spojok. Snímač musí mať priechodnú hriadeľ, aby umožnil prenos z jedného prvku na druhý. Zvolený snímač od firmy Dr. Staiger Mohilo, som zvolil zámerne na odporúčanie firmy Bosch Rexroth, pretože sú firmou bežne používané. Požiadavkou na snímač bola schopnosť zvládnuť vysoké otáčky a preniesť požadovaný krútiaci moment.

Technické parametre:

Snímač krútiaceho momentu - O260 DM 500L		
Merací rozsah	N.m	0 – 500 N.m
Maximálne otáčky	n_{\max}	8000 min^{-1}
Axiálne zaťaženie	meraný hriadeľ	500 N
	hnaný hriadeľ	2000 N
Radiálne zaťaženie	meraný hriadeľ	1000 N
	hnaný hriadeľ	2000 N
Trieda presnosti		0,1

Tabuľka 6

Princíp funkcie:



Obr. 5 Princíp funkcie snímača krútiaceho momentu

6. Prietokomer - VHS025

Pre snímanie údajov o rýchlosti prúdenia média, vo vybraných úsekoch hydraulického systému bol vybraný prietokomer od firmy HONSBURG. Pri vyberaní boli rozhodujúce kritéria prietok, maximálny tlak a predpokladané teploty. Zvolený snímač pracuje na princípe snímania otáčok dvoch skrutkovic ktoré sú roztáčané prúdiacim médiom.

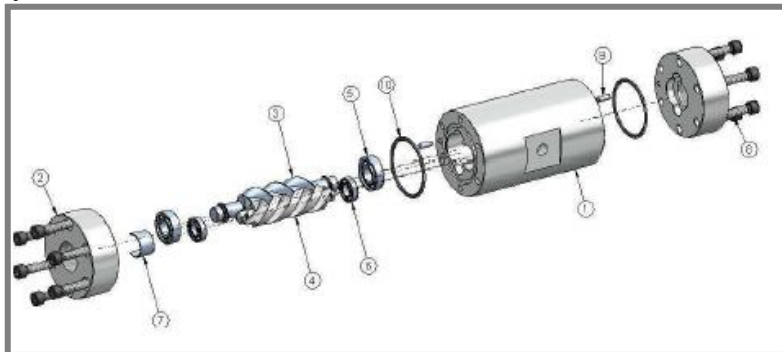
Dodávateľ: HONSBURG Industrial fluidcontrol, katalógový list - VHS_e6

Technické parametre:

Prietokomer - VHS025		
Rozsah prietoku	Δq	0-140 l/min ⁻¹
Presnosť merania	závislé na teplote	1%
Prietok	$q_{v \max}$	900 l/min
Pracovný tlak	p_p	350 bar
Maximálny tlak	p_{\max}	525 kg
Napätie	U	10-30 V (DC)
Rozsah teploty	T	-25 až 150°C

Tabuľka 7

Konštrukčný náčrt:



Obr. 6 Rozbor snímača prietoku

7. Snímač tlaku - HM17 -1X/250 -X-V0/0

Pre účel snímania tlaku v systéme som zvolil tlakový snímač s integrovanou elektronikou. Vstupnými požiadavkami pre voľbu komponentu bol maximálny predpokladaný tlak v systéme, ktorý by nemal dosiahnuť hranicu 25 MPa. V katalógu je možné objednať snímač s požadovanou výstupnou charakteristikou - prúdový alebo napäťový v závislosti na požiadavkách prevodníku. Požadujeme snímač cartridgeového typu, pretože bude vstavaný do rozvážacieho bloku.

Dodávateľ: Bosch Rexroth, katalógový list - RE 30 269_02.03

Technické parametre:

Snímač tlaku - HM17 -1X/250 -X-V0/0 (X – volíme na základe požadovaného výstupu)		
Rozsah tlaku	Δp	0 až 250 bar
Maximálny tlak	p_{max}	780 bar
odchýlka merania	k plnému meraciemu rozsahu	0,15 %
Rozsah teploty	T	-40 až 90°C

Tabuľka 8



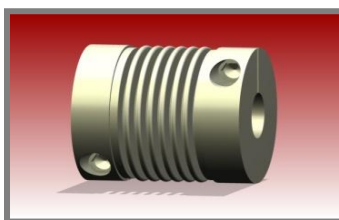
Obr. 7 Snímač tlaku HM17 -1X/250 -X-V0/0

8. Vlnovcová spojka – nlm 23 000 - 400

Spojku som volil s ohľadom na veľkosti hriadeľov, prenos krútiaceho momentu a maximálne otáčky. V konštrukčnom návrhu je prvá vlnovcová spojka zaradená medzi HG/HM a snímačom krútiaceho momentu, druhá medzi snímačom a vlastným telesom zotrvačníka. Spojka menších rozmerov slúži k prenosu krútiaceho momentu z motora na čerpadlo pre odsávanie lekáži. Ich úlohou je prenášať požadovaný krútiaci moment, vymedziť prípadné malé nesúososti a v prípade poruchy predísť nebezpečenstvu prerušením pevného spojenia. Krútiaci moment je prenášaný pomocou svorného spojenia, v prípade potreby je možné objednať model s perom.

Dodávateľ: Norelem, katalógový list - nlm_23000

Model :



Obr. 8 Vlnovcová spojka nlm 23000

9. Ventil – tlakový typ DBD

V dôsledku bezpečnosti, je v obvode zaradený tlakový ventil, ktorého funkciou je regulácia tlaku. Pri náraste pracovného tlaku nad prípustnú mieru, tlakový ventil prepúšťa kvapalinu do rezervoáru, na základe čoho dôjde k zníženiu tlaku v obvode. Pri voľbe ventilu bol braný ohľad na maximálny prípustný tlak, reguláciu prepúšťacieho tlaku a možnosť vstavania do rozvádzacieho bloku. Tlakový homologovaný ventil typu DBD spĺňa požiadavky smernice o tlakových zariadeniach 97/23/ES.

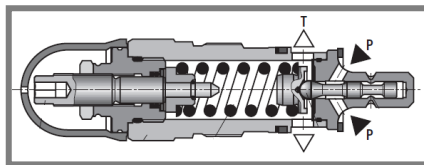
Dodávateľ : BOSCH Rexroth, katalógový list - RE 2540210.10

Technické parametre:

Tlakový ventil DBD		
Menovitá veľkosť	DBD	10 – prevedenie „K“
Prevádzkový tlak	p_{max}	630 bar
Prietok	$q_{v,max}$	120 l/min

Tabuľka 9

Konstruktívny náčrt:



Obr. 9 Prevedenie „K“ – vstavateľný ventil

10. Elektromagnetický ventil typ VEI-8A-12-NA, VEI-8A-16-NA

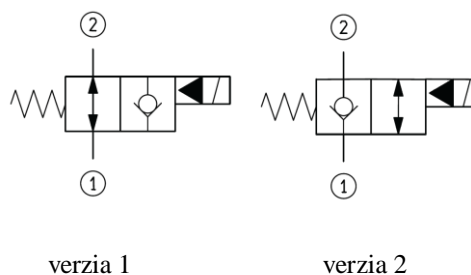
Pre požiadavky stendu je potrebné použiť 3 uzatváracie ventily (v bezpečnostných blokoch sú zakomponované ďalšie, ale tie sú súčasťou blokov). Pri voľbe ventilov bol braný ohľad na maximálny prietok kvapaliny, svetlosť a predpokladaný tlak v obvode. Reakčná doba bola taktiež jeden z rozhodujúcich aspektov, pretože pre náš účel požadujeme čo najkratší čas – rádovo milisekundy. Z ohľadom na požiadavky volím dvojcestný, neproporciálny (vypnutý/zapnutý) ventil. Ventil je dostupný v dvoch prevedeniach:

- verzia1: počiatočný stav – otvorený
- verzia2: počiatočný stav- zavretý

V obvode stendu sú použité dva ventily verzie 1 a jeden ventil verzie 2, ventily budú inštalované do rozvádzacieho bloku s príslušným montážnym otvorom

Dodávateľ: Bosch Rexroth, Oil control, katalógový list - RE 18323-0802.11 a RE 18323-1501.10

Schematické značenie podľa Bosch :



Technické parametre:

Elektromagnetický ventil VEI-8A-12-NA		
Menovitá veľkosť	VEI	12A
Prevádzkový tlak	p_{max}	350 bar
Prietok	$q_{v max}$	150 l/min

Tabuľka 10

10.1.Cievka – S8-356 SERIES - CLASS H

10.1.

Ovládanie činnosti ventilov je riadené za pomoci elektromagnetov – cievok. Cievka uvádza do pohybu piest ktorý podľa potreby ventil otvorí alebo uzavrie. Cievka je inštalovaná na driek ventilu a voči pohybu zaistená maticou. Cievku je možné zvoliť v závislosti od veľkosti ventilu a spôsobu prevádzania signálu. Pre stand bol zvolený trojpinový konektor (DIN 43650 - ISO 4400). Na základe kompatibility ventilu a riadiacej jednotky boli volené parametre:

- napätie 24V (DC)
- Prúd 0,61 – 0,85 A
- príkon 20 W

Dodávateľ: Bosch Rexroth, Oil control, katalógový list - OD.02.17 - 14 - 30 – OC

Model:



Obr. 10 Ovládací ventil VEI-8A-12-NA s cievkou

11. Čerpadlo pre odsávanie lekáži – Gerotor PGZ 4/20

V priebehu činnosti hydrogenerátora - A4VG110EP dochádza k priesakom kvapaliny – lekáži. Pre odsatie kvapaliny je nutné využiť čerpadlový systém , ktorý vráti nežiaducu kvapalinu naspäť do obehu. Vzniknuté lekáže nie sú pod vysokým tlakom, preto bolo zvolené zubové čerpadlo od výrobcu Bosch Rexroth PGZ 4/20 ktoré je poháňané elektromotorom od firmy Siemens. Rozhodujúcim parametrom pre výber čerpadla je HG/HM - A4VG/40 s objemom 110 cm³ a hodnotou maximálneho objemu lekáži 25 l/min. Výber bol navrhnutý a schválený – odborníkmi z firmy Bosch Rexroth.

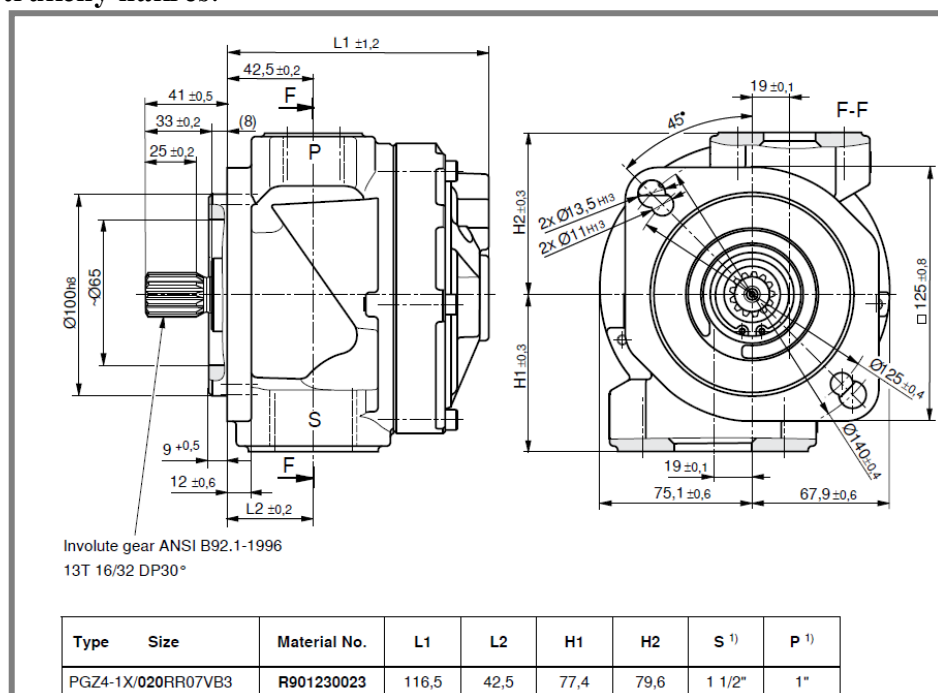
Dodávateľ : BOSCH Rexroth, katalógový list - RE 10545_12.11

Technické parametre:

Čerpadlo - Gerotor PGZ 4/20		
Menovitá veľkosť	PGZ	20
Menovitý tlak	p_n	45 MPa
Maximálny tlak	p_{max}	15 MPa
Geometrický objem	$V_{g \max}$	21 cm ³
Počet otáčok	n_{nom} (pri $v_{g \max}$)	200 min ⁻¹
	n_{max} (pri $\Delta p = 4$ MPa)	3000 min ⁻¹
Prietok	$q_{v \max}$	$q = \frac{V_g \cdot n}{1000 \cdot \eta}$ [l / min]

Tabuľka 11

Konštrukčný náčrt:



Obr. 11 Konštrukčný náčrt čerpadla PGZ 4/20

12. Elektromotor pre pohon PGZ 4/20 – Siemens 1LA9-070-2LA

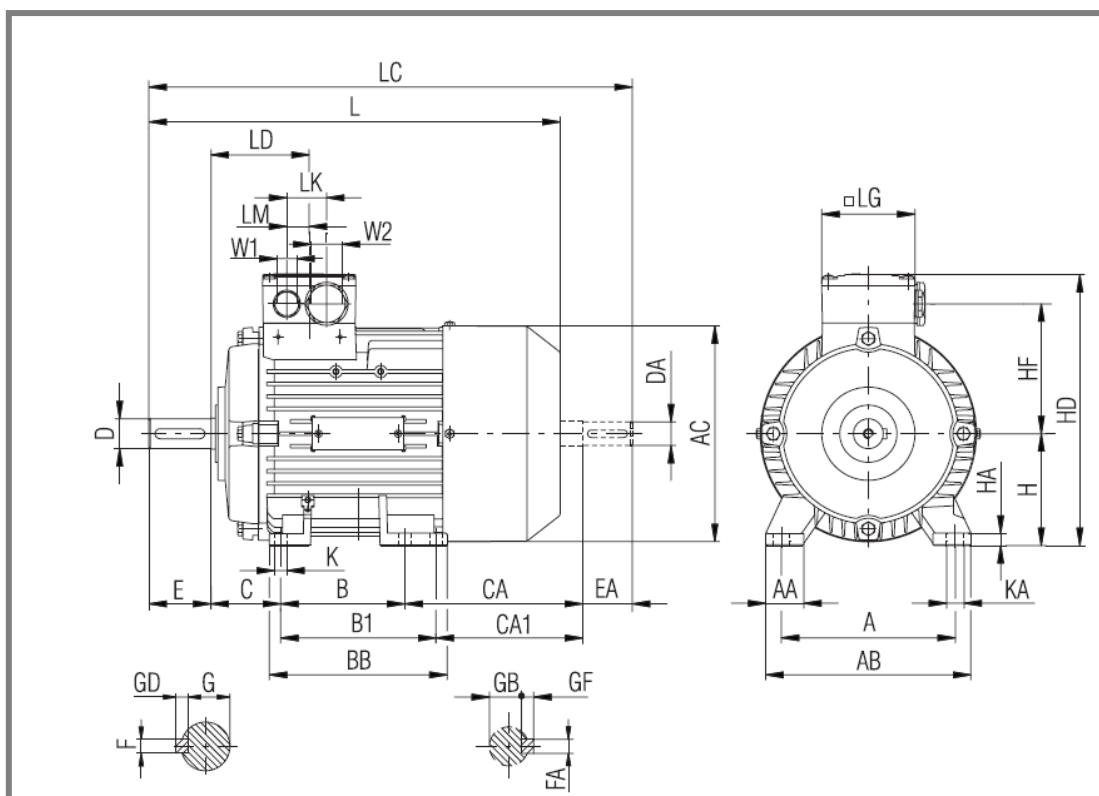
Výber elektromotoru bol prevedený na základe parametrov čerpadla PGZ 4/20. Ako najvhodnejší model bol zvolený motor 1LA9-070-2LA od firmy Siemens s výkonom 450 W.

Dodávateľ : Siemens, katalógový list K 05 - 0607 CZ

Technické parametre:

Motor - 1LA9-070-2LA		
Menovitá veľkosť	1LA9	70
Otáčky	n	2720 min ⁻¹
Účinnosť	η	72 %
Menovitý moment	M	2,3 Nm
Hmotnosť	m	6 kg
Výkon	P	650 W

Konstrukčný náčrt:



Obr. 12 Konštrukčný náčrt motor Siemens 1LA9-070-2LA