

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

1127288

**SKÚŠOBNÉ ZARIADENIA NA MERANIE
PRIETOKOVÝCH CHARAKTERISTÍK
HYDROSTATICKÝCH GENERÁTOROV**

2010

Ľubomír Bureš

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**SKÚŠOBNÉ ZARIADENIA NA MERANIE
PRIETOKOVÝCH CHARAKTERISTÍK
HYDROSTATICKÝCH GENERÁTOROV
(Bakalárska práca)**

Študijný program: Preádzka dopravných a manipulačných strojov
Študijný odbor: 5.2.3. Dopravné stroje a zariadenia
Školiace pracovisko: Katedra dopravy a manipulácie
Školiteľ: doc. Ing. Zdenko Tkáč, PhD.

Nitra, 2010

Ľubomír Bureš

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Ľubomír Bureš vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Skúšobné zariadenia na meranie prietokových charakteristík hydrostatických generátorov“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 27. marca 2010

Ľubomír Bureš

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som chcel poďakovať vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Zdenkovi Tkáčovi, PhD. za pripomienky a odbornú pomoc pri vypracovaní práce.

Abstrakt

Práca prináša systematické poznatky a charakteristické znaky hydrostatických prevodníkov energie, ich rozdelenie, vlastnosti a základné parametre. Zameriava sa na prehľad v problematike merania prietokových charakteristík, ako aj fyzikálnych veličín hydrostatických obvodov. Osobitná kapitola je venovaná meracej technike, meracím postupom a spôsobom merania. Cieľ práce bol zameraný na návrh skúšobného zariadenia na meranie prietokových charakteristík. Zariadenie na meranie prietokových charakteristík bolo navrhnuté tak aby umožňovalo merať prietokové charakteristiky rôznych typov hydrogenerátorov. Teda navrhnuté zariadenie je univerzálne použiteľné. Zariadenie umožňuje merať prietokové charakteristiky priamou aj nepriamou metódou. Dosiahnuté výsledky boli overené praktickými meraniami čím bola overená správna funkcia zariadenia a jeho vhodnosť pre použitie v rámci výskumu ekologických hydraulických kvapalín.

Kľúčové slová: hydraulická kvapalina, hydraulický obvod, prietok, tlak.

Abstract

This work gives systematic knowledge and characteristic features of hydrostatic pumps, their dividing, properties and basic parameters. The work contents wiew in area of measurement of flow characteristics as well as physical parameters of hydrostatic circuits. The particular chapter is intended to measurement technics, the measurement progresses and measurement styles. The aim of the work was intended to suggestion of test device which can measure the flow characteristics of hydrostatic pumps. The test device was suggested to measure the flow characteristics of various types of hydrostatic pumps. Therefore, the test device is universally usefull. The device aloows to measure the flow characteristics by direct and indirect method. The work is results were verified by practical measurement and their availability for use within the scope of research of biodegradable fluids.

Key words: hydraulic fluid, hydraulic circuit, flow, pressure.

Obsah

Obsah	5
Zoznam skratiek a značiek.....	7
Úvod	8
1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí.....	9
1.1 Hydrostatické prevodníky energie.....	9
1.1.1 Hydrogenerátory	10
1.1.2 Rozdelenie a vlastnosti hydrogenerátorov	10
1.2 Meranie parametrov hydrostatických prevodníkov.....	11
1.2.1 Význam a účel merania parametrov hydrostatických prevodníkov.....	11
1.2.2 Meranie neelektrických veličín.....	12
1.2.3 Meranie združených veličín.....	13
1.3 Meranie prietokových charakteristík hydrogenerátorov.....	15
1.3.1 Prietokové charakteristiky hydrogenerátorov	15
1.3.2 Meranie prietoku	16
1.3.3 Základné usporiadanie meracieho obvodu.....	18
1.3.4 Zariadenie na meranie prietokových charakteristík – otvorený obvod.....	19
1.3.5 Zariadenie na meranie prietokových charakteristík – uzatvorený obvod	21
2 Cieľ práce.....	23
3 Metodika práce.....	24
3.1 Hydraulické stavebné prvky skúšobného zariadenia.....	24
3.1.1 Hydrogenerátor použitý v skúšobnom zariadení	24
3.1.2 Tlakový ventil	25
3.2 Stavebné prvky meracieho raťazca.....	26
3.2.1 Snímač tlaku HDA 3800.....	26
3.2.2 Snímač prietoku EVS 3100.....	27
3.2.3 Snímač otáčok SICK WL 18-2P132.....	28
3.2.4 Snímač teploty Pt 1000	28
3.2.5 Merací prístroj na združené meranie parametrov hydrogenerátora	29
4 Výsledky práce	30
4.1 Navrhnuté skúšobné zariadenie na meranie charakteristík	30
4.1.1 Postup merania charakteristík hydrogenerátora.....	32

4.1.2	Nepriame meranie prietoku.....	32
4.1.3	Priame meranie prietoku	32
4.1.4	Podmienky merania prietokových charakteristík.....	32
4.2	Nameraná prietoková charakteristika	34
5	Návrh na využitie výsledkov	37
6	Záver.....	38
7	Použitá literatúra	39

Zoznam skratiek a značiek

α	uhol medzi lopatkami turbíny, °
ρ	hustota kvapaliny, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
n_G	otáčky hydrogenerátora, s^{-1}
n_t	otáčky turbíny, s^{-1}
S	vnútorný prierez prietokomeru, m^2
r	stredný polomer turbíny, m
t	čas, s
V	geometrický objem, m^3
V_G	geometrický objem hydrogenerátora, m^3
Q_G	skutočný prietok hydrogenerátora, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{GZ}	zvodový prietok hydrogenerátora, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{Gt}	teoretický prietok hydrogenerátora, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_m	hmotnostný prietok, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
Q_V	objemový prietok, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Úvod

V súčasnej dobe sú skoro všetky systavy poľnohospodárskych strojov vybavené hydraulickými mechanizmami, z tohto dôvodu sú na tieto zariadenia kladené stále vyššie požiadavky, hlavne na ich technickú úroveň. Osobitná požiadavka je kladená na ich spoľahlivosť a pracovnú účinnosť, v neposlednej rade na bezpečnosť a ekologickú prevádzku. Prenos výkonu pomocou hydrostatických prevodníkov sa v súčasnosti javí ako najefektívnejší, a preto ich považujeme za základné a hlavné prvky na prenos energie. V súčasnej dobe hydrostatické systémy tvoria samostatný vedný odbor. Hydraulická sústava strojov je tvorená jedným alebo viacerými hydrostatickými obvodmi. Každý hydrostatický obvod je tvorený z hydrostatických prvkov, ktoré spolu vytvárajú základné stavebné prvky hydraulických obvodov. K týmto hydraulickým prvkom musíme ešte priradiť aj iné prvky, ktoré nám zaisťujú požadovanú funkciu a bezpečnosť hydrostatických obvodov. Zo všetkých týchto skutočností nám vyplýva, že úmerne s rozvojom hydraulických obvodov rastú i požiadavky na rozvoj diagnostiky. Ku kvalitnej diagnostike neodmysliteľne patrí meranie technických parametrov, vlastností hydraulických systémov a ich jednotlivých hydrostatických prvkov. Len pri poznaní všetkých technických parametrov a vlastností hydrostatických prevodníkov môžeme správne navrhnúť pre jednotlivé pracovné stroje správny hydraulický obvod, tak aby spĺňal všetky požiadavky na prevádzku z hľadiska technického, obchodného a ekonomického a v neposlednom rade aby vyhovoval všetkým bezpečnostným a ekologickým požiadavkám. Hydrostatické prevodníky (hydrogenerátory, hydromotory) podliehajú neustálemu vývoju s nadväznosťou na to rastú i požiadavky na ich základné parametre. Vybrané posudzované parametre sú základom pre stanovenie dôležitých parametrov, základných technických podmienok pri vývoji nových hydrostatických systémov. Skúšobné zariadenia na meranie prietokových charakteristík sú jedny z tých zariadení, ktoré nám slúžia na stanovenie týchto technických parametrov a podmienok.

1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí

1.1 Hydrostatické prevodníky energie

Hydrostatická sústava strojov je tvorená jedným alebo viacerými hydrostatickými obvodmi. Každý hydrostatický obvod sa skladá z hydrostatických prvkov, ktoré nám vytvárajú základnú stavebnú jednotku hydrostatického obvodu. Hydrostatický obvod je teda zloženie hydrostatických prvkov a prvkov zabezpečujúcich požadované funkcie a bezpečnosť. Hydrostatické obvody môžeme rozdeliť:

- podľa obehu kvapaliny: otvorené a uzatvorené,
- podľa funkcie: výkonové, riadiace, pomocné,
- podľa pohybu výstupného člena hydromotora: pre priamočiare pohyby (jednočinný hydromotor, dvojčinný hydromotor), pre otáčavé pohyby, pre kývavé pohyby,
- podľa zmyslu prietoku kvapaliny: s jednosmerným prietokom, so striedavým prietokom,
- podľa druhu nositeľa energie: nositeľ energie je iba kvapalina, nositeľom energie je kvapalina a mechanický prevod.

Hydrostatické prevodníky energie sú prvky hydraulického systému, v ktorých sa uskutočňuje transformácia mechanickej energie na energiu prenášanú väčšinou tlakom kvapaliny (Paciga A., Ivantyšin J. 1985).

Hydrostatické prevodníky sa delia na:

- hydrogenerátory, ktoré slúžia na prevod energie z tuhého telesa na kvapalinu,
- hydromotory slúžiace na prevod energie z kvapaliny na tuhé teleso.

Hydrogenerátory a hydromotory pracujú na rovnakom fyzikálnom princípe, rozdiel je iba v smere prevodu mechanickej a hydraulickej formy energie, ide iba o vzájomne opačný dej. Hydrogenerátory a hydromotory sú konštruované podľa rovnakých zásad, spravidla s rovnakými elementami. Hydrogenerátor je možné použiť ako hydromotor a opačne, samozrejme v závislosti od konštrukčného usporiadania, resp. dosahovaných vlastností (Pivoňka a kol. 1987).

1.1.1 Hydrogenerátory

Hydrogenerátor je prvok určený na prenos energie z poháňacieho motora na kvapalinu. Mechanická energia na vstupe sa transformuje na energiu kvapaliny väčšinou vo forme tlakovej energie (Petranský a kol. 2004). Hydrogenerátor pracuje pri reálnych podmienkach stlačiteľnej kvapaliny a aj pri vôľach medzi činným prvkom a telesom, ak aj s odpormi v ložiskách a upchávkach. Reálnosť podmienok sa prejaví v rozdieloch skutočných výstupných parametrov od teoretických. Hydrogenerátor je vlastne vysokotlakové hydrostatické čerpadlo používané v hydrostatických mechanizmoch. Pri tomto použití však nie je určujúce vlastné prečerpávanie kvapaliny, ale vytváranie (generovanie) tlaku kvapaliny daného objemu (Paciga, Ivantyšin 1985). V súčasnosti sa u hydraulických pohonoch používajú hlavne tzv. objemové generátory, u ktorých sa uskutočňuje prestup tlakovej energie z tuhého nositeľa na stĺpec nositeľa v tekutom stave. Medzi menej používané patria odstredivé generátory, v ktorých prebieha kinetická energia (Kučík a kol., 2000).

1.1.2 Rozdelenie a vlastnosti hydrogenerátorov

Objemové hydrogenerátory rozdeľujeme na:

- zubové,
- lopatkové (lamelové),
- skrutkovicové,
- piestové.

Vlastnosti hydrogenerátorov môžeme zhrnúť do týchto bodov:

- zvodový odpor (odpor prvku proti pohybu kvapaliny, prejavujúci sa nežiaducim úbytkom kvapaliny) má byť čo najväčší, aby sa dosiahlo čo najväčšieho prenosu prúdu,
- prúd dodávaný hydrogenerátorom má mať čo najmenšiu amplitúdu prúdových pulzácií,
- vnútorný odpor (odpor prvku proti pohybu kvapaliny, prejavujúci sa nežiaducim úbytkom tlakovej energie) má byť čo najmenší,
- hydrogenerátory majú byť rýchlobežné a znášať zaťaženie dostatočne vysokým tlakom, aby sa dosiahlo ich malých rozmerov,
- hydrogenerátory majú mať tichý a kludný chod, dostatočnú životnosť a spoľahlivosť (Pivoňka a kol., 1987).

1.2 Meranie parametrov hydrostatických prevodníkov

Súčasný trend v technike a mechanizácii poľnohospodárstva je zavádzanie stále dokonalejších strojov a zariadení, v ktorých významné a nezastupiteľné miesto majú hydraulické a pneumatické mechanizmy. Táto skutočnosť priamo pôsobí na rozvoj diagnostických metód hydraulických sústav a rozvoj merania hydraulických prvkov, hlavne v špecializovaných opravovniach. V tejto situácii je pochopiteľné, že stúpa význam a potreba merania technických parametrov i vlastností hydraulických prvkov a celých systémov, a to v každej fáze cyklu výskum – vývoj - výroba – prevádzka. Plnenie tejto úlohy nie je možné zaistiť bez premysleného meracieho zariadenia, ani bez potrebných znalostí a skúseností. Určujúcimi parametrami všetkých hydrostatických prevodníkov sú tlak, geometrický objem, otáčky a v hydromotoroch krútiaci moment (Drabant a kol., 2008).

1.2.1 Význam a účel merania parametrov hydrostatických prevodníkov

Meracia technika a zabezpečovanie kvality v modernej výrobe s del'bou práce a špecializáciou sa stále viac navzájom prelínajú. Sú to oblasti, ktoré majú čoraz väčšiu dôležitosť vo výskume, vývoji, výrobe a vo využití. Meracia technika poskytuje informácie na analýzu, posudzovanie a riadenie spojitých a nespojitých technických procesov. Je nevyhnutná pre riadenie výroby a kvality, ako aj pre organizáciu výroby a jej bezpečnosť. Meracia technika sa stále vo väčšej miere používa vo všetkých oblastiach národného hospodárstva a integruje sa do technických druhov tovarov. V technickej praxi sa stále častejšie požaduje rozhodnúť a posúdiť z hľadiska funkcie a spoľahlivosti, či daný skúšaný objekt splňuje určité kritéria. K tomuto cieľu je možno dôjsť dvoma spôsobmi, a to teoretickou alebo experimentálnou analýzou. Obidva spôsoby prakticky predstavujú analytický spôsob riešenia. V mnohých prípadoch slúži experiment ako kontrola správnosti teoretickej analýzy.

Meranie hydraulických a pneumatických prvkov a sústav je nevyhnutnou súčasťou výskumu, výroby i prevádzky. Meraním sa snažíme určiť skutočnú hodnotu určitej veličiny, a tým overiť, či daný prvok či sústava má očakávané alebo predpísané vlastnosti. V niektorých prípadoch je cieľom merania zistiť, podľa akých zákonov prebieha sledovaný fyzikálny dej.

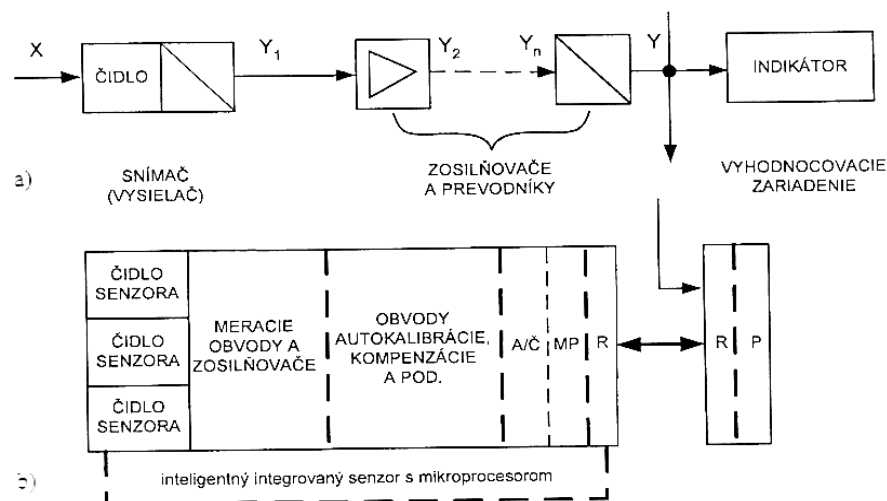
Podľa účelu a cieľov je možno merania vykonávané v technickej praxi rozdeliť na merania:

- výskumné,
- vývojové,
- preberacie a kontrolné
- prevádzkové.

1.2.2 Meranie neelektrických veličín

Rozvoj elektrického merania neelektrických veličín nie je náhodný, ale je vynútený niektorými vlastnosťami a výhodami, ktoré sú inými metódami prakticky nedosiahnuteľné. Splnenie stále rastúcich požiadaviek na presnosť a pohotovosť merania, na možnosť sledovania priebehov a registráciu meraných veličín a na ich diaľkový prenos, nie je možné zaistiť inak než použitím metód elektrického merania neelektrických veličín. Je ale potrebné si uvedomiť istú zložitosť elektrického merania neelektrických veličín, kedy na realizáciu potrebujeme tri základné časti, a to snímač, elektrický merací obvod a merací prístroj (Drabant a kol., 2008, 21-24).

Klasický merací reťazec (obr. 1) pozostáva zo snímača a obvodu na úpravu a vyhodnotenie signálu. Súčasná doba je spojená s vývojom a praktickým nasadením inteligentných meracích systémov pripojených cez rozhranie do zbernicových sietí.



Obr. 1

Bloková schéma meracích reťazcov

a) klasický, b) inteligentný: A/Č- analógovo číslicový prevodník, MP- jednočipový mikropočítač alebo zbernicový systém, R- rozhranie, P- nadradený počítač, (Drabant a kol., 2008)

Inteligentné vysielače meraných veličín obsahujú obvody pre spracovanie a analýzu signálu z čidla v jedinom kompaktnom prevedení spolu s čidlom. Cieľom je integrácia meracieho reťazca na jediný čip obvodu. Na obrázku 1b) je uvedená schéma zapojenia integrovaného inteligentného meracieho systému.

Podľa technológie výroby môžeme senzory rozdeliť na mechanické, elektromechanické, monolitické, tenko vrstvomé a hrubo vrstvomé. Mechanické a elektromechanické senzory tvoria skupinu klasických prvkov staršej generácie. Sú vyrábané v menších sériách, sú robustné, nákladné, ale môžeme ich vyrobiť veľmi precízne.

1.2.3 Meranie združených veličín

Pre kontrolné, prevádzkové a diagnostické skúšky hydraulických prvkov a sústav mnohí výrobcovia vyrábajú združené snímače, umožňujúce súčasné meranie tlaku, prietoku a teploty, prípadne aj otáčok.

Pre združené meranie teplôt, prietoku, tlaku, relatívnej vlhkosti, prúdenia plynov a kvapalín firma AHLBORN, SRN vyrába celý rad meracích prístrojov. Jeden z nich má typové označenie ALMENO 2290-8 je zobrazený na obrázku 2. Prístroj umožňuje súčasné meranie piatich veličín podľa vhodne zvolených snímačov. Rýchlosť merania je stanovená na 3 merania za sekundu, presnosť merania $\pm 0,03 \%$, kapacita pamäte 130 kB. Po ukončení merania je možné namerané údaje preniesť do PC za účelom ďalšieho spracovania. (Drabant a kol. 2008)



Obr. 2

Prístroj na meranie združených veličín Almeno 2290-8

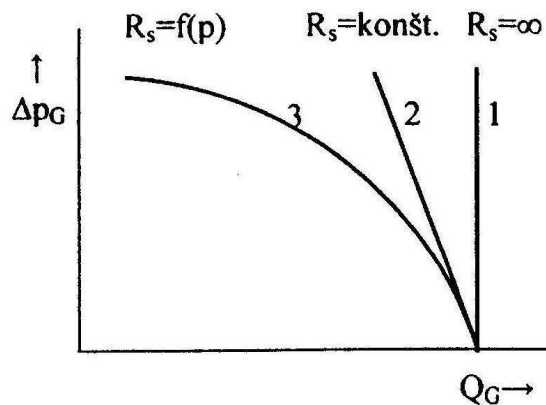
Meranie združených veličín umožňuje tri typy meraní:

- Normálne meranie: jedná sa o zobrazovaciu funkciu, tzn. namerané hodnoty sú priamo zobrazované, napr. pri meraní tlaku odpovedá táto funkcia manometru.
- Meranie krivky: namerané hodnoty sú zobrazované a súčasne kontinuálne ukladané v internej pamäti. Priebehy kriviek môžu byť vytlačené na tlačiarni priamo po ukončení merania alebo môžu byť prenesené do PC na ďalšie spracovanie.
- Meranie protokolu: namerané hodnoty sú zobrazované a môžu byť ako riadky protokolu ukladané v internej pamäti. Tento mód merania sa používa predovšetkým pri dlhodobých meraniach. Riadky protokolu môžu byť priamo vytlačené na tlačiarni po ukončení merania alebo prenesené do PC.
- Interná pamäť môže zaznamenať až 50 rôznych kriviek a protokolov s celkovým počtom 250 000 nameraných hodnôt.

1.3 Meranie prietokových charakteristík hydrogenerátorov

1.3.1 Prietokové charakteristiky hydrogenerátorov

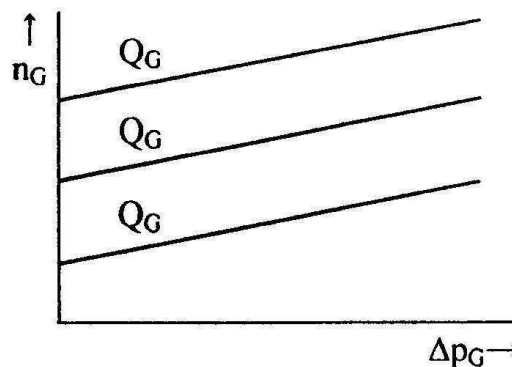
Nakoľko hydrogenerátor pracuje ako zdroj prúdu je v ideálnom prípade prietok nezávislý na tlaku v prípade nekonečne veľkého zvodového odporu. V tomto prípade je charakteristika $\Delta p_G - Q_G$ priamka rovnobežná s osou y (charakteristika 1 na obr. 3). Skutočné hydrogenerátory nemajú nekonečne veľký zvodový odpor, takže skutočný prietok Q_G sa od teoretického odlišuje ako je zobrazené na charakteristikách 2 a 3.



Obr. 3

Charakteristika $\Delta p_G - Q_G$ pre rôzne zvodové odpory R_s

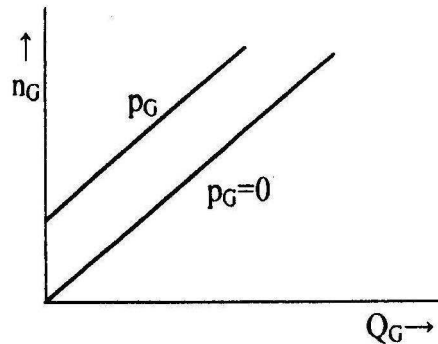
Pokiaľ by bol zvodový odpor konštantný, nezávislý na zaťažení, bola by charakteristika $\Delta p_G - Q_G$ opäť priamka odklonená od vertikály – charakteristika 2 na obr. 3. Zvodový odpor je funkciou teploty a tlakového spádu $R_s = f(T, \Delta p)$. Potom charakteristika $\Delta p_G - Q_G$ má priebeh odpovedajúci priebehu 3 na obr. 3.



Obr. 4

Charakteristika $n_G - \Delta p_G$ pre rôzne $Q_G = \text{konšt.}$

Charakteristika $n_G - \Delta p_G$ pri $Q_G = \text{konšt.}$ je pre rôzne hodnoty prietokov vynesená v grafe na obr.5 a charakteristika $Q_G - n_G$ v nezaťaženom a zaťaženom stave je na obr. 5, (Petranský, Vtázek, 1993).



Obr. 5

Charakteristika $n_G - Q_G$ pre rôzne $p_G = \text{konšt.}$

1.3.2 Meranie prietoku

Meranie prietoku tekutín je jedna s najčastejších meraných hydrostatických veličín hovoríme tiež o objemovom, respektíve o hmotnostnom meraní. V praxi rozoznávame dva druhy merania prietoku :

- objemové meranie prietoku,
- rýchlostné meranie prietoku.

Objemové meranie prietoku je presné meranie, ktoré využívame v prevádzke pri kalibračných a overovacích meraniach a môžeme ho vyjadriť vzťahmi:

$$Q_v = \frac{V}{t}, \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \quad \text{resp.} \quad (1)$$

$$Q_m = \frac{V}{t} \cdot \rho, \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (2)$$

kde: Q_v – objemový prietok, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Q_m – hmotnostný prietok, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$

V - geometrický objem, m^3

t – čas, s

ρ – hustota kvapaliny, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Objemové meranie prietoku patrí medzi absolútne meracie metódy a používa sa na overovanie iných meradiel prietoku pre jeho presné meranie. Pri objemovom meraní prietoku používame tieto meradlá:

- S prerušovanou činnosťou, využívané v laboratórnych podmienkach na kalibráciu a overovanie, pričom meranie prebieha v meracej a vyprázdňovacej fáze. Meriame buď v priestore plne zaplnenom tekutinou a meriame dobu plnenia vo vymedzenom priestore alebo meriame pretečené množstvo v odmernej nádrži za stanovený čas a po tomto cykle nasleduje vyprázdnenie priestoru a nasleduje ďalší merací cyklus.
- S neprerušovanou činnosťou, využívané v prevádzkových prístrojoch, menej už v laboratórnych prístrojoch. Meradlo je tvorené niekoľkými obmedzenými priestormi, ktoré sa postupne plnia a vyprázdňujú. Množstvo tekutiny je dané počtom naplnení a vyprázdnení priestoru. Prietok stanovíme počtom nameraných jednotlivých cyklov za jednotku času, čiže frekvenciou cyklov. Medzi najbežnejšie používané prietokomery s neprerušovanou činnosťou patrí zubový prietokometer, ktorý pracuje na rovnakom princípe ako zubový hydromotor.

Rýchlostné meranie prietoku sa používa v prevádzkových prístrojoch na meranie strednej rýchlosti prietoku, pri ktorej sa prietočný prierez nemení a na merame zmeny prietočného prierezu, pri ktorej stredná rýchlosť prúdenia zostáva konštantná a vyjadrujeme to vzťahmi:

$$Q_V = w \cdot S, \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \text{ resp.} \quad (3)$$

$$Q_m = w \cdot S \cdot \rho, \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4)$$

kde: Q_V – objemový prietok, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Q_m – hmotnostný prietok, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$

S – prierez potrubia, m^2

w – rýchlosť prúdenia kvapaliny v potrubí, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Na rýchlostné meranie prietoku najčastejšie používame turbínové a prierezové meradlá prietoku. Turbínové prietokomery používame na kontinuálne meranie prietoku. Výhodou merania je, že kvapalina môže byť i pod tlakom. Základom turbínového prietokomeru je lopatkový rotor, čiže „turbína“, ktorá je uvádzaná do pohybu pretekanou meranou kvapalinou. Turbína je vložená do priamej časti toku prietokomera a vyplňa takmer celý prierez prietokomera. Otáčky turbíny sú potom priamoúmerné strednej hodnote rýchlosti pretekajúcej kvapaliny pri konštantnom priereze a prietoku kvapaliny.

$$Q = 2\pi \cdot r \cdot n_t \cdot \cot\alpha \cdot S, \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (5)$$

kde: r – stredný polomer turbíny, m

n_t – otáčky turbíny, s^{-1}

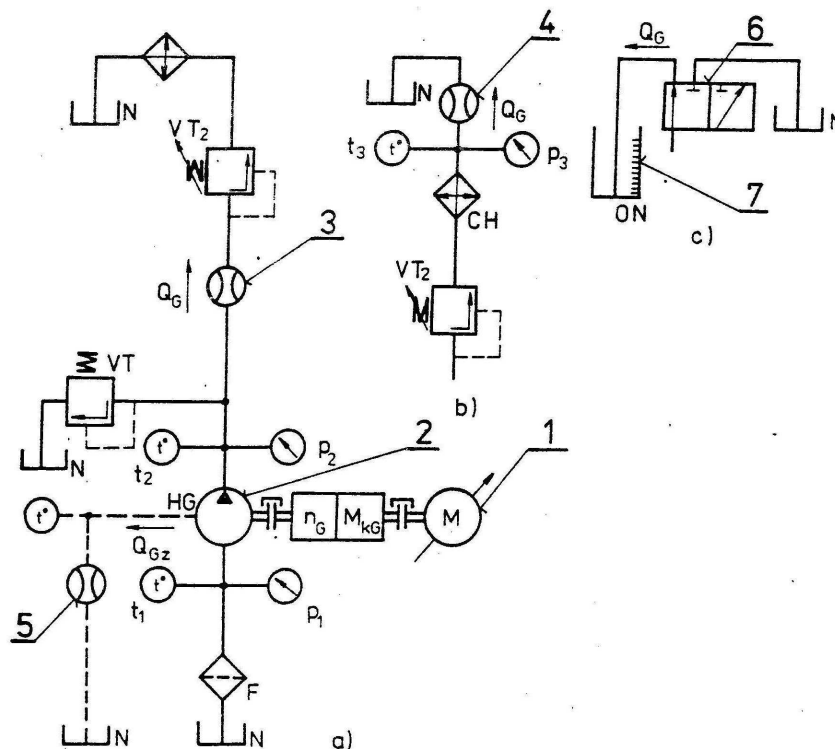
α – uhol medzi lopatkami turbíny $^\circ$

S – vnútorný prierez prietokomeru, m^2

Otáčky turbíny sú snímané indukčným snímačom, lopatky turbíny indukujú v snímačoch elektrické impulzy, ktoré po zosilnení zaznamenávame meracím zariadením. Prierezové meradlá prietoku využívajú na meranie škrtiace orgány (clony, dýzy), meranie je nepriame a prietok sa určuje z nameraného tlakového rozdielu pred a za škrtiacim orgánom. Škrtiaci orgán spôsobuje tlakovú stratu, ktorá je tým väčšia čím viac redukuje uzatvorený prierez, a čím väčší je prietok redukovaný prierezom.

1.3.3 Základné usporiadanie meracieho obvodu

Základné usporiadanie meracieho obvodu samonasávacieho hydrogenerátora je na obr. č. 6.



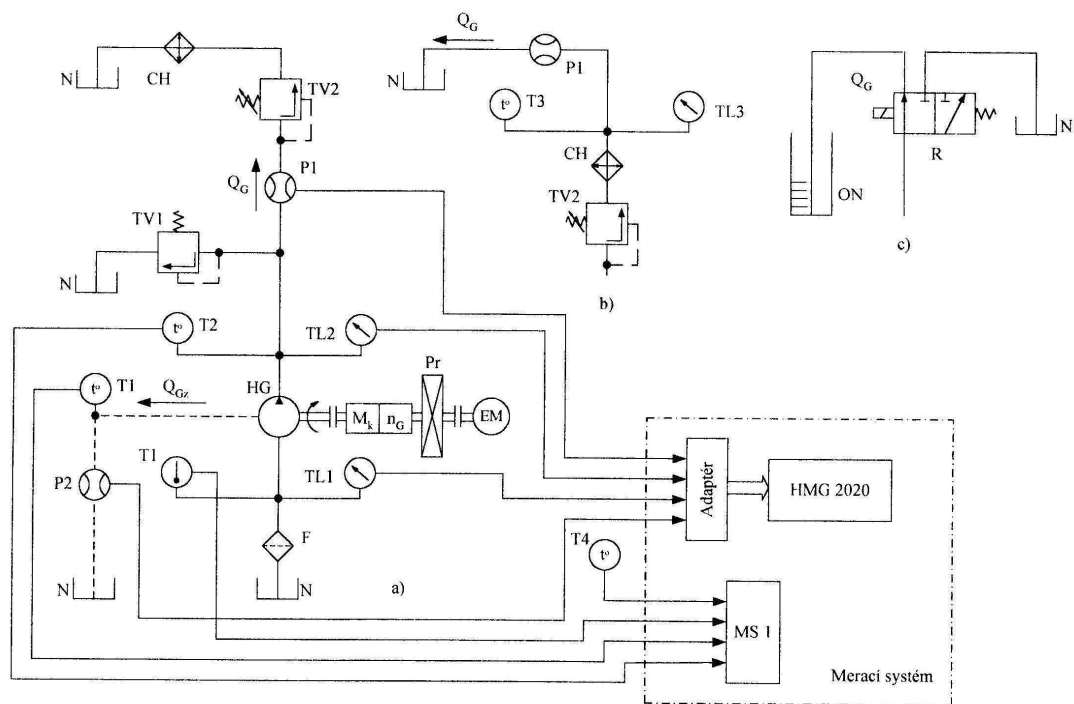
Obr. 6

Základné usporiadanie meracieho obvodu (Petranský, Vitázek, 1993)

Hnací elektromotor s riaditeľnými otáčkami je spojený cez snímače krútiaceho momentu a otáčok s hriadeľom meraného generátora **2**. Prietok kvapaliny je meraný v tlakovej časti obvodu prietokomerom **3**, resp. v beztlakovej vetve prietokomerom **4**. Pre zaťažovanie hydrogenerátora je použitý tlakový ventil **VT 2**. Na obr. 6 je uvedené tiež meranie prietoku zvodovým vedením (prietokomer **5**). Obr. 6 c) prezentuje meranie prietoku pomocou rozvádzača **6**, odmernej nádoby **7** a stopiek na meranie času.

1.3.4 Zariadenie na meranie prietokových charakteristík – otvorený obvod

Prietokové charakteristiky pre otvorený hydrostatický obvod je možné zisťovať pomocou zariadenia, ktorého funkčná schéma pre viaceré varianty je na obr. 7. Jednotlivé varianty sa odlišujú umiestnením snímačov prietoku, resp. metódou merania prietoku.



Obr. 7

Otvorený hydraulický obvod na meranie prietokových charakteristík (Petranský a kol., 2004)

Elektromotor **EM**, predstavujúci hnací zdroj obr. 7, je pomocou prevodovky **Pr** spojený s hriadeľom meraného hydrogenerátora **HG**. Vstup hydrogenerátora **HG** je cez filter **F** napojený vedením na hydraulickú nádrž **N**. Hydrogenerátor **HG** je proti preťaženiu chránený tlakovým ventilom **TV1**. Pre zaťažovanie hydrogenerátora je použitý tlakový ventil **TV2**. Pri vlastnom meraní teplotu a viskozitu kvapaliny zachováваме na konštantnej hodnote. Chladienie kvapaliny realizujeme chladičom **CH**

a v určitej miere aj nádržou **N**. Na výstupnom hriadeli prevodovky **Pr** je umiestnený snímač krútiaceho momentu a snímač otáčok. Umiestnenie snímačov tlaku a teploty je zrejme z funkčnej schémy na obr. 7 (Petranský a kol., 2004).

Meranie prietoku – varianta a)

Prietok kvapaliny je meraný v tlakovej časti obvodu, obr. 7a) vysokotlakovým prietokomerom **P1**. Prietokomer **P1** meria skutočný prietok hydrogenerátora pri teplote oleja na výstupe hydrogenerátora **HG**. Takáto koncepcia vystihuje meranie a sledovanie parametrov v skutočnom pohone. Naznačené je aj meranie prietoku zvodovým vedením pomocou prietokomera **P2**, ktorý meria zvodový prúd hydrogenerátora **HG**. Uvedené závislosti hydrogenerátorov pre otvorený hydrostatický obvod zisťujeme pomocou skúšobného stavu, ktorého funkčná schéma je na obr. 7a) (Petranský a kol. 2004)

Skutočný prietok hydrogenerátora sa potom určí nasledovne :

$$Q_G = Q_{Gt} - Q_{GZ} = V_G \cdot n_G - Q_{GZ} \quad (6)$$

kde: Q_G – skutočný prietok hydrogenerátora, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Q_{GZ} – zvodový prietok hydrogenerátora, meraný prietokomerom **P2**, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Q_{Gt} – teoretický prietok hydrogenerátora, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

V_G – geometrický objem hydrogenerátora, m^3

n_G – otáčky hydrogenerátora, s^{-1} .

Meranie prietoku – varianta b)

V prípade, že nie je k dispozícii prietokomer znášajúci aj vysoké tlakové zaťaženie je možné použiť nízkotlakový prietokomer umiestnený v beztlakovej vetve obvodu (prietokomer **P 1** obr. 7b). Pri tejto koncepcii je však prietok meraný pri teplote oleja na výstupe chladiča **CH**.

Meranie prietoku – varianta c)

Meranie prietoku sa uskutočňuje objemovou metódou s prerušovanou činnosťou. Meranie prebieha v dvoch fázach – meracia a vyprázdňovacia. Pracovná kvapalina tečie cez rozvádzač **R** do nádrže **N**. Pri merní prietoku sa privedeným riadiacím signálom zmení stav rozvádzača **R** a kvapalina prúdi do odmernej nádrže **ON**. Súčasne sa so zmenou stavu rozvádzača **R** uvedú do činnosti stopky, ktoré merajú čas plnenia odmernej nádrže **ON**.

Prietok hydrogenerátora sa potom určí nasledovne:

$$Q_G = \frac{V}{t}, \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (7)$$

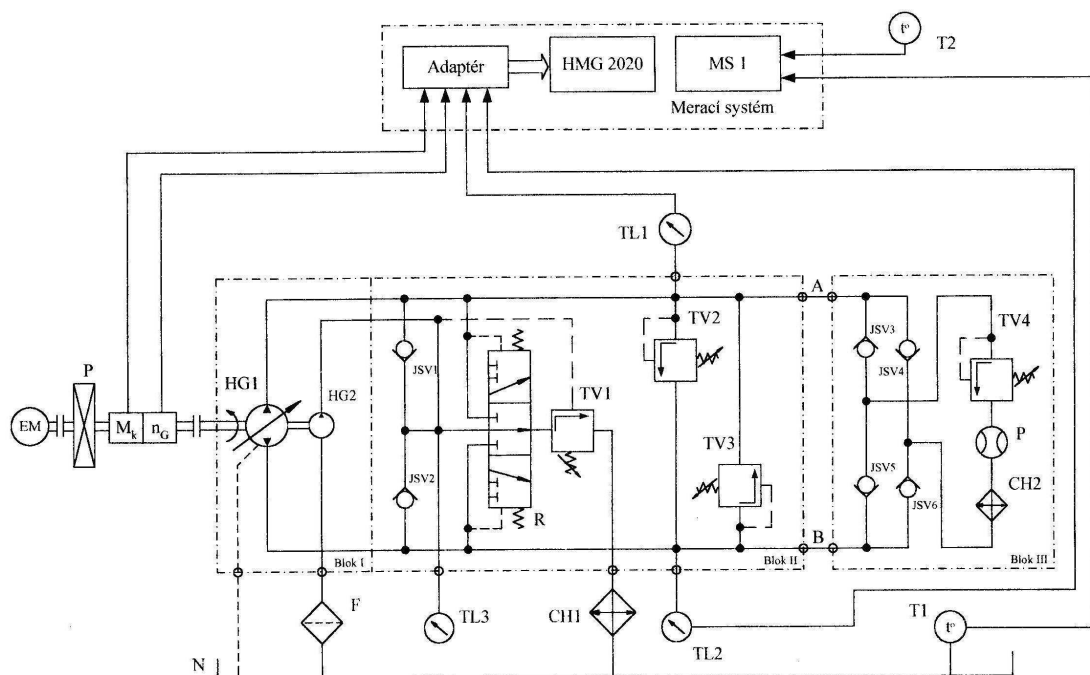
kde: Q_G – skutočný prietok hydrogenerátora, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

V – objem pretečený za čas t , m^3

t – čas merania, s

1.3.5 Zariadenie na meranie prietokových charakteristík – uzatvorený obvod

Funkčná schéma uzatvoreného hydraulického obvodu pre meranie prietokových charakteristík ja znázornená na obr. 8.



Obr. 8

Uzatvorený hydraulický obvod na meranie prietokových charakteristík

(Petranský a kol., 2004)

Hnacím zdrojom je elektromotor **EM**, ktorý je cez prevodovku **P** spojený s hriadeľom meraného hydrogenerátora **HG 1**. Celé zariadenie je rozdelené na tri bloky.

Blok I je tvorený skúšaným obojsmerným regulačným hydrogenerátorom **HG 1** a jednosmerným neregulačným hydrogenerátorom **HG 2**. Hydrogenerátor **HG 2** slúži na dopĺňovanie strát v uzatvorenom obvode vznikajúcich v dôsledku zvodových priepustností a jeho vstup je cez filter **F** pripojený na nádrž **N**.

Blok II je tvorený jednosmernými spätnými ventilmi **JSV 1** a **JSV 2**, rozvádzačom **R** a tlakovými ventilmi **TV 1**, **TV 2** a **TV 3**. Olej je doplňovaný do tlakovej vetvy obvodu cez ventil **JSV 1**, resp. **JSV 2** (v závislosti od smeru prúdenia kvapaliny v obvode). Rozvádzač **R** slúži k preplachovaniu oleja v obvode a tým k jeho chladeniu. Je riadený tlakom vo vetve **A** resp. **B**. Predpokladajme, že horná vetva obvodu je pod tlakom. Rozvádzač **R** sa tlakom v hornej vetve prestaví do polohy označenej symbolom v hornom obdĺžniku. Odľahčená vetva (spodná) obvodu je prepojená cez tlakový ventil **TV 1** a cez chladič **CH 1** do násdrže **N**. Prechodom oleja chladičom **CH 1** dochádza k jeho ochladzovaniu. Ventil **TV 1** slúži na nastavenie minimálneho tlaku v jednej vetve uzatvoreného obvodu. Ventily **TV 2** a **TV 3** slúžia na istenie hydrogenerátora **HG 1** proti preťaženiu. Bloky I a II tvoria v prípade hydrogenerátorov pre uzatvorené hydrostatické obvody konštrukčne jeden celok.

Blok III predstavujúci zaťažovací obvod, je tvorený jednosmernými spätnými ventilmi **JSV 3**, **JSV 4**, **JSV 5** a **JSV 6**, tlakovým ventilom **TV 4**, prietokomerom **P** a chladičom **CH 2**. Jednosmerné spätné ventily **JSV 3**, **JSV 4**, **JSV 5** a **JSV 6** slúžia na usmernenie prúdu kvapaliny pri zmene smeru otáčania hydrogenerátora **HG 1**. Tlakový ventil **TV 4** slúži na nastavenie zaťažovacieho tlaku. Chladenie kvapaliny po zaškrtení ventilom **TV 4** realizujeme chladičom **CH 2**.

Na vstupnom hiadeli hydrogenerátora **HG 1** je umiestnený snímač krútiaceho momentu a snímač otáčok. Tlak bude meraný vo vetve **A** a **B** a súčasne meriame plniaci tlak. Ďalej bude meraný prietok oleja v zaťažovacom obvode a teplota oleja v nádrži. Umiestnenie snímačov tlaku, prietoku a teploty je zrejmé z obr. 8.

Merací systém skúšobného zariadenia je tvorený adaptérom a meracím prístrojom **HMG 2020**. Na sledovanie teploty je použitá záznamová jednotka **MS 1** (Petranský a kol., 2004).

2 Cieľ práce

Cieľom bakalárskej práce bude návrh skúšobného zariadenia na meranie prietokových charakteristík. Návrh zariadenia bude vychádzať z poznatkov spracovaných s použitím literárnych zdrojov domácich a zahraničných autorov tak, aby bola práca prínosom do oblasti danej problematiky. Navrhnuté zariadenie bude predstavovať koncepčne nové riešenie, ktoré bude využité pri skúškach ekologických kvapalín s traktorovým hydrugenerátorom.

3 Metodika práce

Práca bude spracovaná podľa metodiky, ktorá je uvedená v nasledujúcich bodoch:

- skúšobné zariadenie bude navrhnuté tak, že budú použité len základné prvky hydrostatických obvodov,
- merací systém bude využívať princíp združeného merania parametrov hydrogenerátora,
- skúšobné zariadenie bude navrhnuté tak, aby bolo možné nastaviť celý rozsah prevádzkových parametrov hydrogenerátora,
- skúšobné zariadenie bude navrhnuté s ohľadom na parametre použitého traktorového hydrogenerátora,
- funkcia navrhnutého zariadenia bude overená na základe meranie prietokových charakteristík hydrogeneátora.

3.1 Hydraulické stavebné prvky skúšobného zariadenia

Skúšobné zariadenie bude tvorené len jednoduchými prvkami tak, aby ho bolo možné realizovať s čo najnižšími nákladmi s ohľadom na dodržanie funkčnosti zariadenia.

3.1.1 Hydrogenerátor použitý v skúšobnom zariadení



Obr. 9

Hydrogenerátor typu UD 25 použitý v skúšobnom zariadení

Hydrogenerátor UD 25 je jednosmerný zubový hydrogenerátor vyrobený firmou Jihostroj Aero Technology and Hydraulics, obr. 9. Hydrogenerátor UD 25 je vybavený tlakovou kompenzáciou axiálnej vôle, ktorá je realizovaná tvarovým tesnením priamo v ložiskových čelách. Má uplatnenie v menších a stredných poľnohospodárskych a stavebných strojoch. Technické parametre hydrogenerátora UD 25 sú uvedené v tab. 1 (Jihostroj, 2010).

Tab. 1**Technické parametre hydrogenerátora UD 25**

Parameter		Jednotka	Hodnota
Otáčky	Menovité	min ⁻¹	1500
	Maximálne		3000
	Minimálne		500
Tlak na vstupe	Maximálny	Pa	0,05
	Minimálny		0,03
Tlak na výstupe	Menovitý	MPa	20
	Max. trvalý		23
Menovitý objem (geometrický objem) V _G		cm ³	25
Menovitý výstupný prietok		dm ³ · min ⁻¹	35,1

3.1.2 Tlakový ventil

Veľkosť amplitúdy skokového zaťaženia skúšaného hydrogenerátora bola úmerná hodnote tlaku na jeho výstupe. Hodnotu tlaku sme nastavili pomocou prepúšťacieho ventilu. Pri realizácii riadiaceho systému skúšobného zariadenia na meranie prietokových charakteristík hydrogenerátorov sme použili upravený tlakový venti VP 2-20. Jeho technická charakteristika je uvedená v tabuľke 2.

Tab. 2**Technická charakteristika prepúšťacieho ventilu VP 2-20**

Parameter	Označenie	Hodnota	Jednotka
Menovitá svetlosť	<i>D</i>	20	mm
Rozsah nastavenia tlakov	<i>p</i>	1 až 20	MPa
Maximálny tlak po úprave ventilu	<i>p_{max}</i>	25	MPa
Menovitý prietok	<i>Q_n</i>	1,666 · 10 ⁻³	m ³ · s ⁻¹
Maximálny prietok	<i>Q_{max}</i>	3,333 · 10 ⁻³	m ³ · s ⁻¹
Požadovaná filtrácia	<i>h</i>	30	µm
Prevádzková teplota pracovnej kvapaliny	<i>t₀</i>	20 až 60	°C

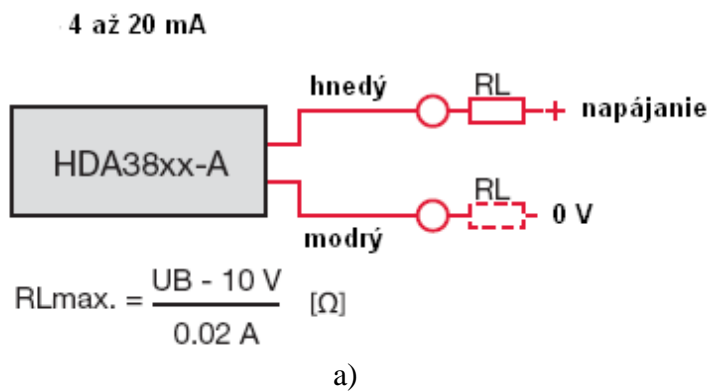
3.2 Stavebné prvky meracieho raťazca

3.2.1 Snímač tlaku HDA 3800

Meranie tlaku sa bude uskutočňovať pomocou deformačného snímača tlaku s pružnou rúrkou s meracím rozsahom 0 – 60 MPa a s presnosťou merania 2 %. Meranie tlakov a zaznamenávanie ich zmien budeme uskutočňovať snímačmi typu HDA s menovitým meracím rozsahom 40 MPa. Signál zo snímačov tlaku bude privedený cez adaptér na vstup prístroja HMG (Hydac, 2010).

Na obr. 10 je zobrazený snímač tlaku HDA 3800.

Zapojenie obvodu snímača



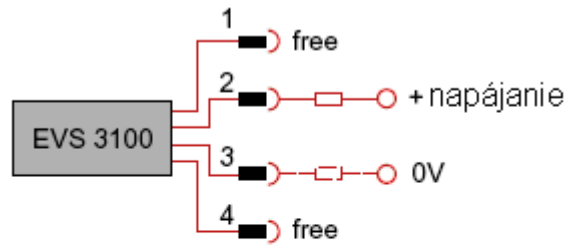
Obr. 10

Snímač tlaku HDA 3800

a) schéma zapojenia, b) pohľad na snímač

3.2.2 Snímač prietoku EVS 3100

Snímač prietoku EVS 3100 (obr. 11) je špeciálne navrhnutý pre použitie v hydraulických a iných tekutinových systémoch.



$$R_L \max = (U_B - 10V) / 0.02A [\Omega]$$

$U_B = + \text{napájacie napätie}$

a)



b)

Obr. 11

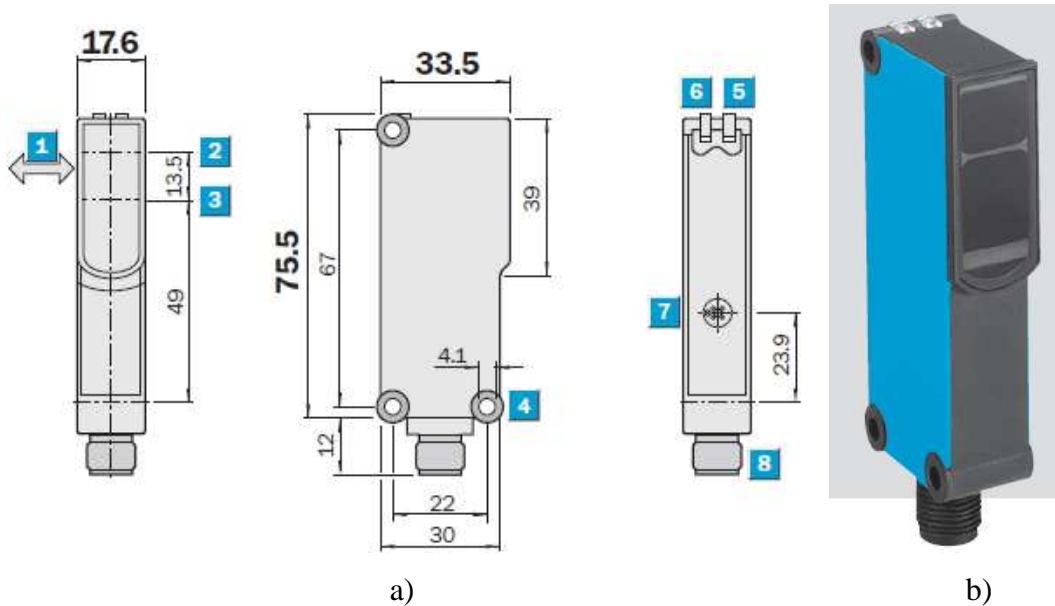
Snímač prietoku EVS 3100

a) schéma zapojenia, b) pohľad na snímač

Tieto snímače pracujú na základe turbínového princípu t.j. otáčky obežného kolesa v prúde kvapaliny sú merané a prevedené na 4 a 20 mA analógový signál. Obežné koleso je štandardne vyrobené z ušľachtilej ocele a vhodné pre použitie v aplikáciách pulzného a dynamického prietoku. Dva ďalšie závitové otvory na telese poskytujú pripojenie dodatočných zariadení napr. snímač teploty a tlaku (Hydac, 2010).

3.2.3 Snímač otáčok SICK WL 18-2P132

Na meranie otáčok vývodového hriadeľa sme použili optický snímač otáčok SICK WL 18-2P132 (obr. 12). Signál bol zo snímača cez adaptér privedený na frekvenčný vstup a zaznamenávaný ručným meracím prístrojom HMG 2020 (obr. 14).



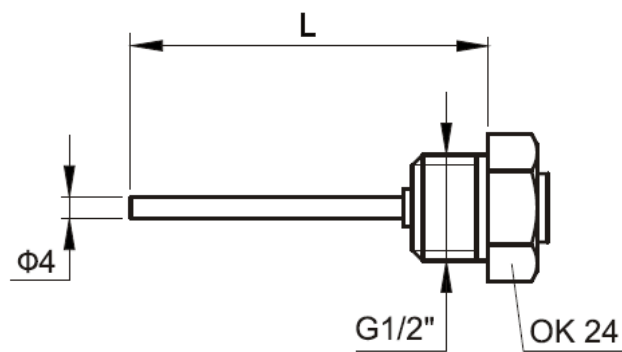
Obr. 12

Snímač otáčok SICK WL 18-2P132

a) rozmerové údaje, b) pohľad na snímač

3.2.4 Snímač teploty Pt 1000

Na meranie teploty oleja v nádrži sme používali termoelektrické snímače T1 (typ Pt 1000) s rozsahom do 400 °C (obr. 13), teplotu prostredia sme sledovali snímačom T2 (typ Pt 1000).



Obr. 13

Termoelektrický snímač T1 (typ Pt 1000)

3.2.5 Merací prístroj na združené meranie parametrov hydrogenerátora

Na zaznamenávanie nameraných tlakov a prietokov sme používali ručný merací prístroj HMG 2020. Prístroj HMG 2020 bol napojený na notebook MicroBook 825D (obr. 14), pomocou ktorého s použitím programu HMGDESK bude proces merania riadený. Zobrazenie notebooku MicroBook 825D pri meraní je na obr. 17a). Použitý program umožnil v režime on-line kontinuálne sledovať v grafickej forme a súčasne zaznamenávať časové priebehy zvolených veličnín. Dátové súbory boli následne vhodným programom spracované a vyhodnotené.



Obr. 14

Merací prístroj HMG 2020

Merací systém sa skladá z adaptéra, meracieho prístroja Hydac HMG 2020 a z počítača pre vyhodnotenie nameraných výsledkov. Pomocou meracieho prístroja HMG 2020 je možné súčasne zaznamenávať 4 analógové signály (so vstupom 0 až 10 V, alebo 4 až 20 mA) a jeden frekvenčný signál od 0,3 Hz až 30 kHz.

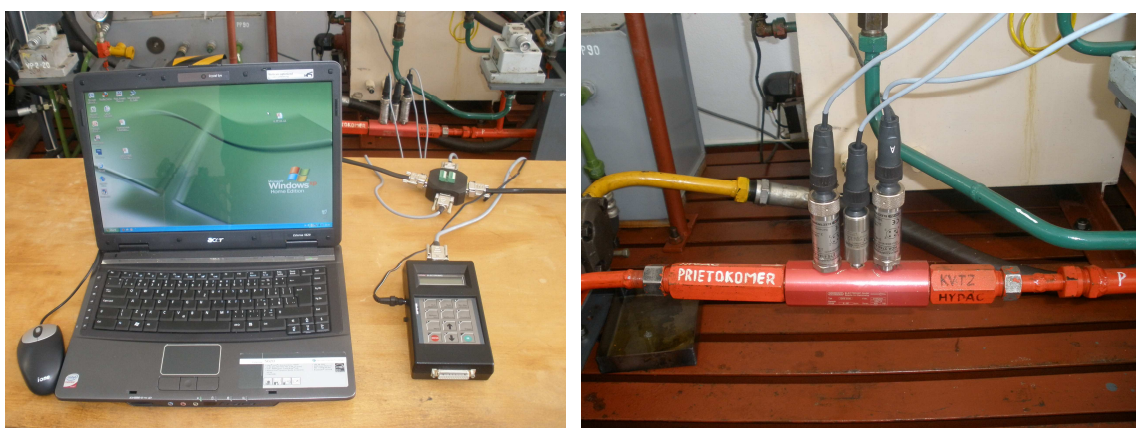
Na obr. 16 je znázornené navrhnuté a zostavené skúšobné zariadenie na meranie prietokových charakteristík.



Obr. 16

Navrhnuté skúšobné zariadenie pre meranie charakteristík hydrogenerátorov

Namerané hodnoty prietokov pri meniacom sa tlaku určené pre zostrojenie prietokovej charakteristiky boli prenášané zo snímačov a záznamovej jednotky Hydac 2020 do notebooku, obr. 17.



a)

b)

Obr. 17

Merací systém počas merania prietokových charakteristík

a) notebook a HMG 2020, b) snímače tlaku, prietoku a teploty

4.1.1 Postup merania charakteristík hydrogenerátora

Pre zostrojenie charakteristiky $Q = f(\Delta p)_n$ hydrogenerátora bude potrebné merať hodnotu prietoku Q v závislosti od tlakového spádu Δp .

Pre odčítanie tlakového spádu Δp sú umiestnené v obvode dva manometre. Jeden je pripojený k saciemu potrubiu p_2 a druhý je pripojený na výstupné potrubie p_1 hydrogenerátora. Hodnota prietoku Q je určená pri nepriamej metóde merania podľa vzťahu (7).

Meranie prietoku priamou metódou pre zostrojenie charakteristiky $Q = f(\Delta p)_n$ je možné pomocou prístroja Hydac HMG 2020, obr. 17a).

4.1.2 Nepriame meranie prietoku

Pomocou tlakového ventilu **TV 2** a manometra **p 1** sa nastaví hodnota tlaku (postupne 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 MPa). Zatlačením tlačidla „start“ na ovládacom paneli **OB** sa automaticky prestaví rozvádzač **RV** do polohy, v ktorej sa prepojí výstup hydrogenerátora s nádržou **T 3** (nádrž s hladinomerom). Súčasne sa zapnú stopky **s**, ktoré začnú odmeriavať čas plnenia nádrže **T 3**. Po uplynutí stanoveného času sa zatlačením tlačidla „stop“ prestaví rozvádzač **RV** do základnej polohy a plnenie nádrže sa preruší súčasne so zastavením stopiek **s**. Nasledujúca činnosť merania spočíva v odčítaní zaplneného objemu nádrže z jej hladinomeru a času zo stopiek. Pred meraním pri ďalšej hodnote tlaku sa skúšobný stav uvedie do počiatočného stavu, vypustením kvapaliny z nádrže (ventil **V1**) a vynulovaním stopiek.

4.1.3 Priame meranie prietoku

Na priame meranie prietoku bude slúžiť merací systém. Adaptér meracieho systému pripája elektrické vedenia k snímačom **st**, **sQ**, **sp**, (viď obr. 15), ktoré sú umiestnené v meracích bodoch obvodu. Údaje z adaptéra sú spracované modulom HMG 2020 a vyhodnotené pomocou PC.

4.1.4 Podmienky merania prietokových charakteristík

Meranie je potrebné uskutočniť pri konštantnej teplote oleja $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Touto podmienkou sa odstráni chyba merania, spôsobená zmenou viskozity hydraulikkej kvapaliny vplyvom zmeny jej teploty, pretože medzi viskozitou kvapaliny a prietokom existuje fyzikálna závislosť.

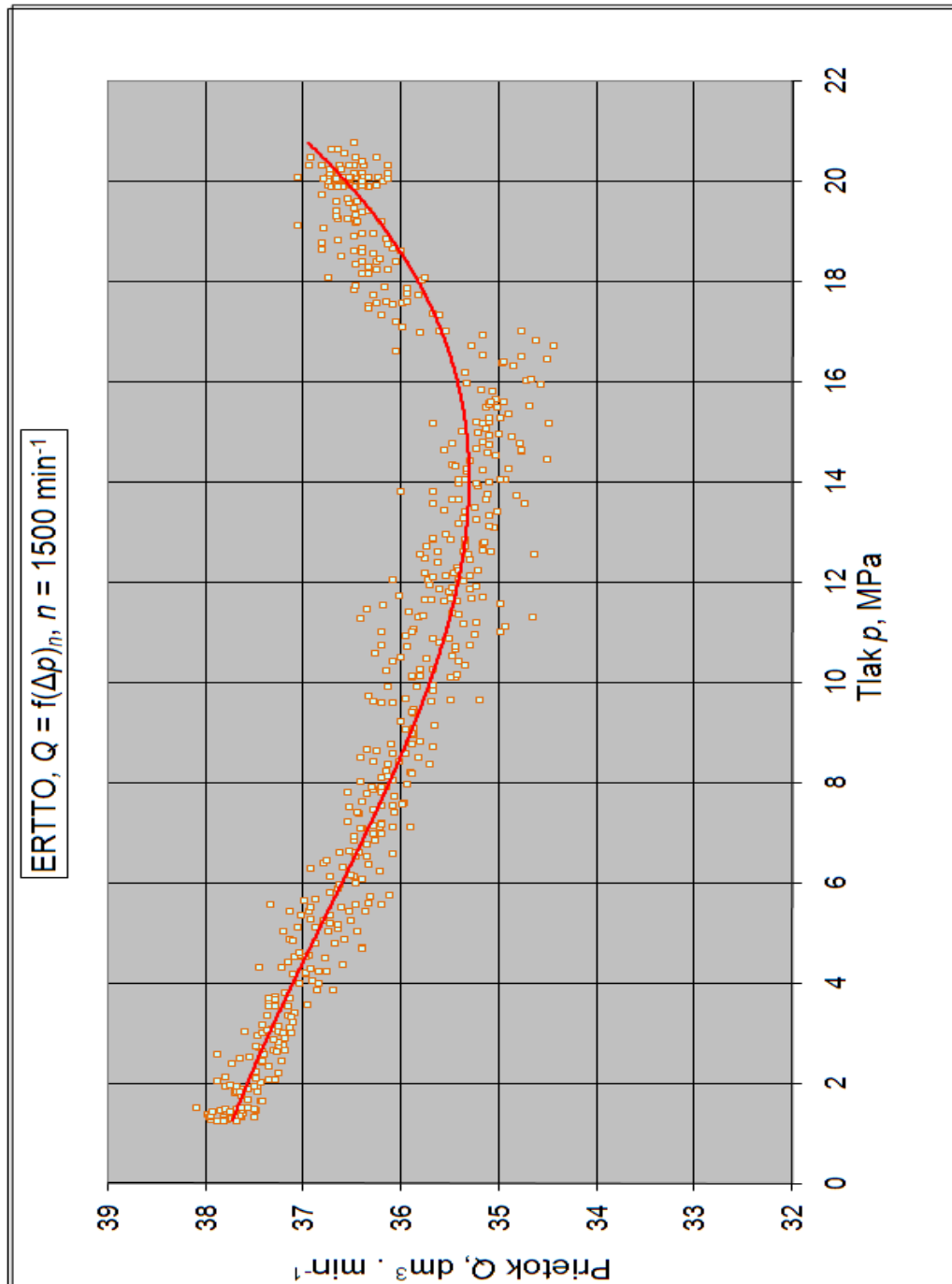
V skúšobnom zariadení bude použitý elektromotor trojfázový asynchrónny, ktorý nedokáže zabezpečiť, stále otáčky počas merania, a preto sú aktuálne otáčky merané

otáčkomerom. Pre zostrojenie charakteristiky budú potom použité hodnoty prietoku Q prepočítané na konštantné otáčky $n = 1500 \text{ min}^{-1}$.

Nádrž **T 3** s hladinomerom musí byť pred každým meraním dokonale vyprázdnená, aby nebola skreslená hodnota objemu.

4.2 Nameraná prietoková charakteristika

Na obr. 18 je nameraná prietoková charakteristika hydrogenerátora UD 25. Táto charakteristika bola meraná na navrhnutom skúšobnom zariadení za účelom overenia návrhu a správnosti funkcie zariadenia.



Obr. 18

Prietoková charakteristika hydrogenerátora UD 25

Tab. 3

Namerané hodnoty prietokov

p , MPa	Q $dm^3 \cdot min^{-1}$	p , MPa	Q $dm^3 \cdot min^{-1}$	p , MPa	Q $dm^3 \cdot min^{-1}$	p , MPa	Q $dm^3 \cdot min^{-1}$	p , MPa	Q $dm^3 \cdot min^{-1}$
1,40	37,72	1,43	37,76	2,44	37,43	3,34	37,17	4,27	36,93
1,43	37,64	1,48	37,50	2,44	37,23	3,34	37,37	4,54	36,95
1,40	37,64	1,51	37,64	2,65	37,20	3,40	37,09	4,54	37,05
1,38	37,99	1,64	37,44	2,57	37,89	3,32	37,13	4,51	37,10
1,27	37,79	1,75	37,64	2,49	37,65	3,53	37,16	4,51	36,98
1,24	37,84	1,80	37,71	2,71	37,45	3,64	37,35	4,70	36,40
1,24	37,90	1,88	37,71	2,76	37,22	3,61	37,30	4,67	36,41
1,24	37,83	1,86	37,66	2,71	37,25	3,53	37,36	4,78	36,88
1,32	37,97	1,91	37,48	2,73	37,49	3,69	37,15	4,88	37,15
1,30	37,75	1,93	37,51	2,63	37,42	3,53	37,30	4,83	37,11
1,32	37,64	1,83	37,48	2,52	37,56	3,56	36,97	4,59	37,05
1,35	37,96	1,93	37,80	2,57	37,41	3,85	36,71	4,86	36,59
1,51	38,10	1,96	37,76	2,65	37,31	3,79	37,19	5,04	36,46
1,43	37,67	1,88	37,64	2,63	37,28	3,72	37,29	4,80	36,68
1,40	37,62	1,88	37,58	2,81	37,25	3,69	37,36	5,12	37,07
1,35	37,66	1,67	37,58	2,86	37,31	3,66	37,29	5,02	37,22
1,51	37,58	1,64	37,43	2,94	37,48	3,85	36,86	5,04	36,75
1,46	37,86	1,83	37,69	3,00	37,12	3,98	37,04	5,23	36,80
1,48	37,81	1,93	37,69	3,10	37,15	4,17	36,98	5,07	36,65
1,46	37,64	2,01	37,44	3,16	37,42	4,03	36,91	5,15	36,66
1,32	37,71	2,23	37,49	3,08	37,33	3,98	36,84	5,10	36,88
1,32	37,83	2,07	37,36	3,02	37,61	4,17	37,12	5,20	36,74
1,27	37,83	1,83	37,65	3,08	37,25	4,30	37,23	5,42	36,95
1,43	37,93	2,04	37,89	3,13	37,27	4,19	36,98	5,36	37,04
1,48	37,69	2,12	37,81	3,00	37,23	4,22	36,77	5,23	36,53
1,46	37,49	2,09	37,49	2,89	37,20	4,35	36,61	5,44	36,38
1,27	37,80	2,07	37,30	3,00	37,42	4,30	37,46	5,36	36,74
1,24	37,69	2,20	37,26	3,02	37,25	4,41	37,16	5,44	36,55
1,24	37,83	2,33	37,37	3,05	37,38	4,22	36,85	5,42	37,15
1,24	37,90	2,39	37,73	3,00	37,20	4,49	36,78	5,28	36,93
1,32	37,51	2,41	37,44	3,21	37,11	4,51	37,01	5,58	36,34
6,77	36,35	7,81	36,56	8,66	36,35	9,61	36,29	10,70	35,44
7,09	36,41	7,57	35,99	8,76	35,89	9,91	36,15	10,73	35,29
6,93	36,49	7,91	36,15	8,63	36,26	9,67	35,96	10,52	35,48
6,98	36,30	7,81	36,21	8,82	35,82	10,12	35,82	10,70	35,94
7,12	35,91	8,05	36,09	8,71	35,69	9,91	35,84	10,92	35,96
7,12	36,23	7,86	36,29	8,95	35,88	10,09	35,44	10,86	35,52
7,09	36,42	8,10	36,21	8,76	36,11	9,93	35,69	10,94	35,24
7,20	36,21	7,91	36,30	9,08	35,88	10,15	35,43	10,86	35,69
7,14	36,29	7,91	36,21	8,98	35,89	10,09	35,89	11,05	35,89
7,22	36,55	8,21	35,91	9,06	35,96	10,23	36,16	11,00	36,22
7,38	36,44	7,97	35,95	9,22	36,02	10,12	35,89	11,00	35,89
7,12	36,10	8,23	36,16	9,14	35,66	10,33	35,36	11,16	35,37
7,46	36,29	8,02	36,42	9,22	36,01	10,09	35,50	11,00	34,99
7,17	36,21	8,37	36,14	9,45	35,88	10,25	35,81	11,18	35,23
7,51	36,54	8,18	35,89	9,59	36,21	10,49	36,01	11,31	35,80
7,41	36,46	8,37	35,71	9,38	35,88	10,41	36,09	11,26	36,43
7,54	36,09	8,13	36,15	9,64	35,50	10,25	35,69	11,29	35,83
7,54	36,21	8,50	36,42	9,40	35,90	10,65	35,44	11,29	34,67
7,41	36,08	8,42	36,28	9,72	36,34	10,41	35,42	11,10	34,93
7,59	35,97	8,42	36,03	9,59	36,10	10,46	35,75	11,31	35,78
7,73	36,07	8,50	35,83	9,61	35,70	10,73	36,20	11,53	36,20

Tab. 3

Namerané hodnoty prietokov - pokračovanie

p , MPa	Q , $dm^3 \cdot min^{-1}$	p , MPa	Q , $dm^3 \cdot min^{-1}$	p , MPa	Q , $dm^3 \cdot min^{-1}$	p , MPa	Q , $dm^3 \cdot min^{-1}$	p , MPa	Q , $dm^3 \cdot min^{-1}$
5,50	36,61	12,11	35,55	14,26	34,91	17,00	35,55	19,31	36,47
5,68	36,89	12,27	35,44	14,34	35,48	17,08	36,00	19,39	36,67
5,55	37,34	12,17	35,76	14,32	35,44	17,32	35,61	19,55	36,54
5,52	36,93	12,09	35,69	14,61	34,78	16,97	35,81	19,23	36,55
5,55	36,46	12,38	35,63	14,53	35,04	17,19	36,07	19,29	36,67
5,76	36,13	12,22	35,23	14,66	35,23	17,51	36,34	19,58	36,67
5,55	36,21	12,43	35,29	14,58	35,12	17,32	36,21	19,63	36,55
5,52	36,94	12,24	35,42	14,74	35,10	17,35	35,69	19,39	36,34
5,63	37,00	12,59	35,64	14,64	35,56	17,59	36,15	19,58	36,46
5,87	36,65	12,46	35,76	14,80	35,16	17,56	36,00	19,71	36,81
5,79	36,74	12,59	35,37	14,64	34,77	17,59	35,95	19,92	36,60
5,73	36,33	12,54	35,32	14,90	34,88	17,56	36,27	19,90	36,75
6,11	36,48	12,75	35,17	14,77	35,49	17,75	35,94	19,87	36,33
5,95	36,63	12,59	35,08	15,01	35,38	17,45	36,35	20,06	36,24
6,11	36,74	12,70	35,75	14,93	35,11	17,82	36,49	20,16	36,41
6,16	36,52	12,56	35,81	14,77	34,78	17,53	36,09	20,00	36,65
6,00	36,48	12,83	35,51	14,96	35,01	17,72	35,82	20,06	36,47
6,24	36,22	12,83	35,35	15,06	35,15	17,85	35,94	20,03	36,54
6,08	36,40	12,54	34,65	15,17	35,69	18,01	35,80	20,30	36,63
6,40	36,80	12,64	35,17	14,98	35,23	17,88	36,17	19,87	36,33
6,29	36,94	12,94	35,55	15,17	34,49	17,90	36,47	20,06	36,24
6,32	36,60	12,83	35,69	15,06	35,15	18,06	36,75	20,16	36,41
6,61	36,44	12,70	35,36	15,19	35,10	17,72	36,29	20,00	36,65
6,37	36,33	13,07	35,05	15,17	35,17	18,06	35,76	20,06	36,47
6,58	36,09	12,80	35,16	15,27	35,10	18,22	36,27	20,03	36,54
6,45	36,76	13,15	35,42	15,19	35,23	18,14	36,40	20,30	36,63
6,61	36,48	12,86	35,69	15,27	34,99	18,14	36,35	19,92	36,60
6,53	36,47	13,28	35,37	15,54	35,10	18,28	36,35	19,90	36,75
6,51	36,36	13,12	35,11	15,35	34,91	18,38	36,06	19,87	36,33
6,85	36,49	13,31	35,10	15,51	34,69	18,22	36,14	20,06	36,24
6,64	36,54	13,23	35,23	15,49	35,02	18,33	36,47	20,16	36,41
11,55	34,98	13,39	35,35	15,49	35,15	18,54	36,29	20,00	36,65
11,37	35,48	13,44	35,56	15,57	35,10	18,38	36,26	20,06	36,47
11,63	35,70	13,47	35,24	15,54	35,10	18,38	36,41	20,03	36,54
11,39	35,94	13,39	35,02	15,59	34,96	18,65	36,41	20,30	36,63
11,61	35,56	13,63	35,48	15,83	35,19	18,44	36,23	19,92	36,25
11,61	35,43	13,55	35,69	15,65	35,04	18,49	36,62	19,90	36,40
11,66	35,49	13,65	35,42	15,94	34,58	18,57	36,41	19,87	36,60
11,63	35,76	13,76	35,12	15,59	35,08	18,60	36,01	20,06	36,40
11,79	35,52	13,57	34,75	16,02	34,73	18,62	36,81	20,16	36,72
11,66	35,29	13,63	35,15	16,04	34,68	18,76	36,82	20,00	36,65
11,87	35,49	13,79	36,01	15,81	35,07	18,65	36,09	20,06	36,72
11,71	36,02	13,95	35,42	16,18	35,35	18,60	36,48	20,03	36,80
11,93	35,71	13,73	34,82	15,96	35,34	18,94	36,41	20,30	36,15
11,85	35,30	14,03	34,95	16,36	34,97	18,83	36,16	19,92	36,27
11,69	35,17	13,92	35,22	16,31	34,86	18,73	36,14	19,90	36,52
11,85	35,61	13,81	35,68	16,50	34,78	18,81	36,66	19,87	36,72
12,03	35,42	14,05	35,34	16,44	34,51	19,10	37,06	20,06	36,75
12,03	35,74	13,97	35,23	16,39	34,95	18,89	36,49	20,16	36,48
12,03	36,10	14,05	34,99	16,71	35,28	18,94	36,28	20,00	36,20
12,17	35,47	14,00	35,11	16,52	35,17	19,18	36,21	20,06	36,34
12,01	35,36	14,21	35,34	16,71	34,45	19,15	36,47	20,03	36,59

5 Návrh na využitie výsledkov

V predloženej bakalárskej práci bol uskutočnený návrh skúšobného zariadenia na meranie prietokových charakteristík hydrogenerátora. Zariadenie bolo navrhnuté tak aby umožňovalo merať prietokové charakteristiky hydrogenerátorov a tým umožňuje hodnotiť technický stav hydrogenerátora nepriamou metódou technickej diagnostiky. Táto skutočnosť značným spôsobom urýchľuje stanovenie skutočného technického stavu hydrogenerátora z pohľadu jeho opotrebenia.

Skúšobné zariadenie môže byť teda úspešne použité jednak na hodnotenie technického stavu hydrogenerátorov používaných počas skúšok ekologických hydraulických kvapalín v laboratórnych podmienkach, ale aj na hodnotenie technického stavu hydrogenerátorov počas skúšok v prevádzkových podmienkach poľnohospodárskych traktorov.

Pred meraním prietokovej charakteristiky sa musí hydrogenerátor najskôr zo zariadenia (napr. skúšobné zariadenie alebo traktor) zdemontovať a po následnej montáži na zariadenie meranie prietokových charakteristík možno uskutočniť samotné meranie prietokovej charakteristiky.

Zariadenie bolo navrhnuté tak, že umožňuje merať charakteristiky rôznych typov hydrogenerátorov pretože umožňuje nastaviť široký rozsah prevádzkových parametrov prietoku a tlaku. Teda navrhnuté skúšobné zariadenie je vysoko univerzálne a široko použiteľné.

6 Záver

Cieľom predloženej práce bol návrh skúšobného zariadenia na meranie prietokových charakteristík hydrogenerátorov. Návrh vychádzal z literárneho prehľadu uvedeného v samostatnej prvej kapitole práce. V tejto časti práce boli uvedené základné informácie týkajúce sa danej problematiky vychádzajúce z už realizovaných skúšobných zariadení. Dôraz sa kládol na dva základné typy zariadení a síce na otvorený a uzatvorený hydraulický obvod.

Navrhnuté skúšobné zariadenie predstavuje koncepčne nové riešenie. Zariadenie bolo navrhnuté za účelom merania prietokových charakteristík traktorových hydrogenerátorov, ktoré sa používajú pri skúškach nových ekologických hydraulických kvapalín. Zariadenie umožňuje merať prietokové charakteristiky jednak nepriamou metódou, ale aj metódou priamou. Pre získanie presných údajov na zostrojenie prietokovej charakteristiky sa používa výlučne metóda priama. Navrhnutie časti zariadenia, ktoré umožňuje merať charakteristiky nepriamou metódou bolo určené pre zabezpečenie univerzálnosti zariadenia.

Overenie správnosti návrhu a funkcie zariadenia bolo uskutočnené nameraním prietokovej charakteristiky nového hydrogenerátora. Úspešné zostrojenie prietokovej charakteristiky jasne hovorí o úspešnosti celého návrhu. Navrhnuté zariadenie bude využívané v rámci výskumu na katedre dopravy a manipulácie ako aj pri výuke študentov príslušných špecializácií.

7 Použitá literatúra

DRABANT, Š. - TKÁČ, Z. - KLEINEDLER, P. - PETRANSKÝ, I. - BOLLA, M. 2003. Vlastnosti hydrostatických prevodníkov s ekologickou kvapalinou. In *Zborník referátov a diskusných príspevkov z vedeckej rozpravy XXI. Valného zhromaždenia členov Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied*. Nitra : Slovenská akadémia pôdohospodárskych vied, 2003, s. 101-105. ISBN 80-8069-601-2.

DRABANT, Štefan, TKÁČ, Zdenko, PETRANSKÝ, Ivav, KROČKO, Vladimír, BOLLA, Marek, JABLONICKÝ, Juraj, KLEINEDLER, Peter. 2008. *Meranie a skúšanie hydrostatických prvkov a systémov*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2008. 263 s. ISBN 978-80-552-0008-8.

Hydac. 2010. Produkt catalogue. [on-line]. Dostupné na: [http//http://www.hydac.de/de-de/produkte/sensorik/drucksensoren/druckmessumformer.html](http://http://www.hydac.de/de-de/produkte/sensorik/drucksensoren/druckmessumformer.html). [cit. 2010-03-03].

IVANTYŠYN, J. (1984). Hydrostatické a pneumatické mechanizmy - I. časť. 3. vyd. Bratislava: Edičné stredisko SVŠT, 1984, 119 s.

Jihostroj. 2010. Katalóg produktov. [on-line]. Dostupné na: <http://www.jihostroj.com/cz/hydraulika/katalog.html>. [cit. 02-03-2010].

JOBBÁGY, J. - PETRANSKÝ, I. - SIMONÍK, J. Tlakové režimy v hydraulike traktorov ZTS v súprave s poľnohospodárskym náradím. In *Medzinárodná študentská vedecká konferencia : [zborník z medzinárodnej študentskej vedeckej konferencie], 1. – 2. apríla 2003, v Nitre* [elektronický zdroj]. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2003. S. 94-101. Požiadavky na systém: Windows 98 a vyššie, CD-ROM mechanika, Acrobat Reader.

KUČIK, P. – STRÁŽOVEC, I. – KRIŠŠÁK, P.: *Hydraulický prenos energie – Mobilné pracovné stroje*. Žilina: EDIS – Vydavateľstvo ŽU, 2000. 384 s. ISBN 80-7100-725-0.

MAJDAN, R. - CVÍČELA, P. - JABLONICKÝ, J. - IVANIŠOVÁ, K. 2008. The Observation of Hydrostatic Pump Deterioration during the Durability Test According to Hydraulic Fluids Contamination. In *X. Medzinárodná konferencia mladých 2008*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, s. 35-43. ISBN 978-8069-946-8.

PACIGA, A. – IVANTYŠYN, J. : *Tekutinové mechanizmy*. Bratislava: Alfa.1985, 283s ISBN 63-558-85

PIVOŇKA, J. a kol.: *Tekutinové mechanizmy*. Praha: SNTL- Vydavatel'stvo technickej literatúry. 1987. 623s.

PETRANSKÝ, Ivan, DRABANT, Štefan, TKÁČ, Zdenko, ŽIKLA, Anton, BOLLA, Marek, KLEINEDLER, Peter. 2004. *Skúšobné stavy pre životnostné skúšky hydrostatických prevodníkov*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2004. 163 s. ISBN 80-8069-343-9.

PETRANSKÝ, I., VITÁZEK, I. 1993. *Tekutinové mechanizmy*. Nitra : Vydavateľské a edičné stredisko VŠP Nitra. 87 s. ISBN 80-7137-133-5.

RADHAKRISHANAN M., 2003. *Hydraulic Fluids*. American Society of Mechanical Engineers, Published in USA: 56 – 59.

RATAJ, Vladimír. 2003. *Tvorba vedeckého a odborného textu*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 2003. 142 s. ISBN 80-8069-162-2.

Slovnaft. 2006. Katalóg produktov. [on-line]. Dostupné na internete: www.slovnaft.com/sk/obchodni_partneri/vyrobky/maziva_a_autochemikalie. [cit. 2007-12-15].

KROČKO, V. - TKÁČ, Z. - MAJDAN, R. 2008 The Evaluation of the Technical Durability of the Hydrostatic Pump UD 25 per Clean Liness Measurement of Hydraulic Fluid. In *PROCEEDINGS*. Ruse (Bulharsko) : University of Ruse „ Angel kalchev”. 2008. Volume 47, book 1.1 s. 65 – 70. ISSN 1311-3321.

TKÁČ, Z. - KROČKO, V. - MAJDAN, R. 2008. The Laboratory Testing Device Dedicated to Evaluation of Technical Durability of Hydrostatic Pump. Lvov. 2008.

TKÁČ, Z. - DRABANT, Š. - BOLLA, M. - CVÍČELA, P. - MAJDAN, R. 2007. Skúšky technickej životnosti hydrostatických pohonov mobilných strojov. In *Vozidlá 2007*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2007, s. 214-221. ISBN 978-80-8069-942-0.

TURAN, T., NOVÁČEK, V. 2006. *Moderní metody sledování opotřebení strojů : výskumná správa*. Praha : Ecochem, a.s., Divize technická středisko Tribotechnika, 2006, 15 s.

VARCHOLA, M. 1992. *Hydrostatické čerpadlá*. 2. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 1992. 219 s. ISBN 8022704903.