

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 37 631

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

**G01M 13/04** (2019.01)  
**F16C 17/00** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2023-41507**  
(22) Přihlášeno: **01.12.2023**  
(47) Zapsáno: **17.01.2024**

- (73) Majitel:  
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Veverčí, CZ  
Bosch Rexroth, spol. s r.o., Brno, Černovice, CZ
- (72) Původce:  
doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D., Moravany, CZ  
Ing. Vojtěch Polnický, Bučovice, CZ  
Ing. Michal Michalec, Drietoma, SK  
Ing. Jan Foltýn, Brno, Černá Pole, CZ  
Ing. Jakub Martinek, Ludgeřovice, CZ  
Ing. Vít Robenek, Slavkov u Brna, CZ  
Ing. Vojtěch Drha, Slavičín, Hrádek na Vlárské  
dráze, CZ
- (74) Zástupce:  
Ing. Libor Markes, Grohova 145/54, 602 00 Brno,  
Veverčí

- (54) Název užitého vzoru:  
**Zařízení k testování provozních stavů  
hydrostatického uložení**

CZ 37631 U1

## Zařízení k testování provozních stavů hydrostatického uložení

### Oblast techniky

5

Technické řešení se týká zařízení k testování segmentových axiálních hydrostatických ložisek karuselového typu, která slouží k uložení extrémně těžkých otáčivých břemen, jako jsou velké obrobky, dalekohledy nebo otáčivá jeviště.

10

### Dosavadní stav techniky

Podle principu, na kterém fungují, se ložiska dělí na kluzná a valivá. U kluzných ložisek snižuje tření mezi kontaktními povrchy zpravidla vrstva maziva. Ke kluzným ložiskům patří fluidní ložiska – hydrodynamická a hydrostatická, u kterých je mezi kontaktními plochami trvale vytvářena vrstva kapaliny nebo plynu; v případě strojírenských zařízení se jedná převážně o vrstvu oleje. U hydrostatického ložiska se do vybrání nosné desky, tzv. hydrostatické kapsy, přivádí tlakový olej, který odtlačuje protikus se zatížením, tzv. běhoun, přičemž mezi nosnou deskou a běhounem se vytváří souvislá mazací vrstva zcela oddělující kontaktní plochy. Hydrostatická ložiska jsou plně zatížitelná i při nulových otáčkách, což je zajištěno externím zdrojem tlakového média. Protože u hydrostatických ložisek nedochází ke kontaktu kluzných povrchů, které jsou za normálního provozu odděleny fluidní vrstvou, nevykazují téměř žádné opotřebení. Další výhodou těchto ložisek je plynulý a tichý chod, který zajišťuje olejová vrstva tlumící vibrace. Hydrostatická ložiska se dělí na axiální, která přenášejí síly působící ve směru osy otáčení a radiální, kdy síla působí kolmo na osu otáčení.

Kontaktní plochy jednoduchých axiálních hydrostatických ložisek mají obvykle obdélníkový tvar, přičemž v nosné desce je vytvořeno vybrání, tzv. kapsa, nebo několik symetricky uspořádaných vybrání, do nichž se pod tlakem přivádí olej dodávaný čerpadlem. Tlak oleje v olejové vrstvě směrem od vybrání k okraji kontaktních ploch klesá a olej vytékající po obvodu kontaktních ploch je jímán a vrací se do okruhu.

K uložení extrémně těžkých otáčivých břemen, jako jsou hydrogenerátory, velké obrobky, dalekohledy nebo otáčivá jeviště, je třeba použít segmentové axiální hydrostatické ložisko. Jedná se o axiální hydrostatické uložení tvořené ložiskovými segmenty, tedy jednotlivými axiálními ložisky rozmístěnými v pravidelných roztečích na kružnici kolem osy otáčení. Na horní kontaktní plochy segmentů/ložisek doléhá svou spodní plochou běhoun, tj. kruhový nosník nesoucí váhu břemene. Segmentové hydrostatické uložení přenáší pouze svislé síly. Kompenzaci horizontálních sil, polohu břemene ve vodorovném směru a možnost jeho otáčení zajišťují další ložiska – radiální.

40

Instalace testovací segmentového hydrostatického ložiska vyžaduje dokonalé seřízení polohy a funkce všech jeho testovacích segmentů. To se týká zejména obráběcích strojů. U reálného ložiska je takové seřízení velmi náročná operace.

Ze spisu CZ 35880 U je známo zařízení k testování provozních stavů segmentových axiálních hydrostatických ložisek, které je tvořeno párem s odstupem umístěných shodně orientovaných testovacích ložiskových segmentů. Přitom na kluzných plochách nosných desek obou testovacích segmentů je posuvně uložen běhoun, jakožto simulace kruhového nosníku, který je shora dotlačován k nosným deskám přítláčnou silou vyvíjenou pružinami. Běhoun je přitom opatřen zařízením pro lineární posuv po nosných deskách testovacích segmentů. Nevýhodou tohoto zařízení je, že může testovat ve vzájemném vztahu pouze sousedící segmenty, a to bez možnosti jejich individuálního zatěžování.

Technické řešení si klade za úkol navrhnout testovací zařízení, které simuluje segmentové axiální hydrostatické ložisko, a umožňuje na něm nastavovat různé odchylky segmentů od ideální polohy

55

a různé hodnoty jejich zatížení při současném měření tloušťky vrstvy provozní kapaliny mezi kontaktními plochami, a přitom sledovat další parametry.

#### 5 Podstata technického řešení

Uvedený úkol řeší zařízení k testování provozních stavů hydrostatického uložení tvořené s rozestupy rozmístěnými testovacími ložiskovými segmenty vespod podepřenými konstrukcí zařízení, na jejichž kluznou plochu napojenou na okruh maziva svrchu s přítlakem doléhá pohyblivý běhoun. Podstata zařízení spočívá v tom, že testovací ložiskové segmenty jsou rozmístěny na kružnici, běhoun je tvořen lištou ve tvaru mezikruží a opatřen pohonem k otáčení kolem osy běhounu. Přitom nad každým testovacím ložiskovým segmentem doléhá na běhoun hydrostatické axiální zátěžné ložisko shora přitlačované hydraulickým válcem upevněným v nosné konstrukci zařízení. Přitom je každý z testovacích ložiskových segmentů a každé z axiálních zátěžných ložisek svojí kapsou napojeno na okruh maziva přes vlastní restriktor.

Nosná konstrukce zařízení má v konkrétním provedení čtyři ramena složená z profilů, která svými horními nosníky vybíhají do kříže směrem od osy běhounu a svými stojinami se opírají o podklad, přičemž na vzpěrách ve spodní části ramen spočívá platforma nesoucí testovací ložiskové segmenty, zatímco v horních nosnících ramen jsou upevněny hydraulické válce.

Běhoun je poháněn hydromotorem uloženým centrálně v horní části nosné konstrukce zařízení, přičemž běhoun je radiálními nosníky připojen k hřídeli hydromotoru.

K testovacím ložiskovým segmentům jsou s výhodou připojeny snímače tloušťky vrstvy maziva.

Okruh maziva je tvořen na zásobník maziva napojeným čerpadlem, za kterým jsou řazeny pojistný ventil, filtr, zpětný ventil, snímač tlaku v systému a akumulátor tlaku maziva, načež se větví na přívody maziva do testovacích ložiskových segmentů a do axiálních zátěžných ložisek, přičemž za restriktory testovacích ložiskových segmentů jsou před vstupy testovacích ložiskových segmentů zapojeny průtokoměr a snímač tlaku v testovacím segmentu a přičemž obvodové drážky k jímání maziva odtékajícího z kluzných ploch testovacích ložiskových segmentů jsou propojeny se zásobníkem maziva.

#### 35 Objasnění výkresů

Podstata technického řešení bude dále objasněna pomocí výkresů, na nichž je na obr. 1 v axonometrickém promítání příkladné provedení zařízení k testování provozních stavů hydrostatického uložení, na obr. 2 je zařízení podle obr. 1 v bočním pohledu, na obr. 3 je schéma zapojení hydrauliky zajišťující funkce testovacích ložiskových segmentů a zátěžných ložisek a na obr. 4 samotný testovací ložiskový segment v řezu.

#### 45 Příklady uskutečnění technického řešení

Zařízení k testování provozních stavů hydrostatického uložení je tvořeno nosnou konstrukcí, která má v konkrétním provedení čtyři ramena 1 složená z profilů. Ramena 1 svými horními nosníky 2 vybíhají do kříže směrem od centrální osy a svými stojinami 3 se opírají o podklad. Na vzpěrách 4 ve spodní části ramen 1 spočívá platforma 5 nesoucí testovací ložiskové segmenty 6 rozmístěné na kružnici. V horních nosnících 2 ramen 1 jsou upevněny hydraulické válce 7 se svislou osou, na nichž jsou vespod upevněna hydrostatická axiální zátěžná ložiska 8 souosá s protilehlými testovacími ložiskovými segmenty 6. Mezi testovacími ložiskovými segmenty 6 a hydrostatickými axiálními zátěžnými ložisky 8 je sevřen běhoun 9. Ten je tvořen plochým prstencem ve tvaru mezikruží a je opatřen pohonem kolem vlastní osy. Pohon běhounu 9 zajišťuje hydromotor 10

uložený centrálně v horní části nosné konstrukce zařízení. Hřídel hydromotoru 10 je s běhounem 9 propojen radiálními nosníky 11.

5 K testovacím ložiskovým segmentům 6 jsou připojeny snímače h tloušťky vrstvy maziva na kluzných plochách testovacích ložiskových segmentů 6.

10 Součástí zřízení je okruh maziva – hydraulického oleje, jehož schéma je na obr. 3. Okruh maziva je tvořen čerpadlem C, které je napojeno na zásobník maziva a poháněno motorem M. Za čerpadlem C jsou řazeny: pojistný ventil W, filtr F, zpětný ventil Z, snímač P tlaku v systému a akumulátor A tlaku maziva. Zde se okruh dělí na větev přivádějící mazivo testovacím ložiskovým segmentům 6, resp. do jejich kapes 12, a větev zásobující mazivem axiální zátěžná ložiska 8. Přívod každého z testovacích ložiskových segmentů 6 a každého z axiálních zátěžných ložisek 8 je opatřen restriktorem R – regulačním ventilem. Přitom za restriktory R testovacích ložiskových segmentů 6 jsou před vstupy testovacích ložiskových segmentů 6 zapojeny průtokoměr Q a snímač p tlaku v testovacím segmentu. Obvodové drážky k jímání maziva odtékajícího z kluzných ploch testovacích ložiskových segmentů 6 jsou propojeny se zásobníkem maziva.

Hydromotor 10 a hydraulické válce 7 mají své vlastní hydraulické okruhy.

20 Ze zásobníku maziva je olej čerpán hlavním čerpadlem C do okruhu hydrostatického uložení. K zajištění čistoty maziva je v okruhu zařazen filtr F. Drobné nečistoty by mohly porušit kluzné povrchy při průchodu nízkou šterbinou v kontaktu. Pro případ, kdy by tlak stoupl nad určitou mez, která by mohla poškodit hydraulické prvky, je do okruhu zařazen pojistný ventil W, který v tomto případě sníží tlak vypuštěním části maziva zpět do zásobníku. Bezpečnost ložiska zajišťuje  
25 akumulátor A tlaku maziva. V případě výpadku dodávky tlakového maziva je schopen po krátký čas zásobovat ložisko tlakovým médiem. Během toho mohou kluzné povrchy bezpečně dosednout. Zpětný ventil Z zajistí, že tlakové médium může proniknout pouze do prostoru ložiska, ne zpět do čerpadla C. Následně je okruh rozdělen na dvě větve: větev spodních testovacích ložiskových segmentů 6 a větev horních zátěžných ložisek 8. Před vstupem do každé hydrostatické kapsy 12 testovacího ložiskového segmentu 6 je instalován regulační ventil – restriktor R. Ten umožňuje měnit průtok na základě informace ze snímačů. Před kapsou 12 je umístěn průtokoměr Q a snímač p tlaku v testovacím segmentu. Regulace může sledovat měřené veličiny a porovnávat je s hodnotami predikovanými. V případě odchylky může restriktor R zasáhnout úpravou průtoku a přiblížit okamžitý stav očekávanému chování ložiska.

35 Jedním z nejdůležitějších parametrů je tloušťka mazacího filmu. Tu je možno měřit pomocí snímačů h tloušťky vrstvy maziva umístěných na základu testovacího ložiskového segmentu 6. Regulace v tomto případě porovnává predikci mazacího filmu s reálnou hodnotou na snímači h. Druhý okruh, okruh zátěžných ložisek 8 je instalován k simulování nerovnoměrného zatěžování. Jelikož zátěžná ložiska 8 jsou upevněna na hydraulických válcích 7, je možné nastavit rozdílné  
40 vysunutí zátěžných ložisek 8. Rozdíl v zatížení bude mít značný vliv na tloušťku mazacího filmu, přičemž restriktory R mají schopnost tento vliv omezit a zajistit rovnoměrnou tloušťku.

45 Zařízení k testování provozních stavů hydrostatického uložení slouží k testování nerovnoměrného zatěžování, nepřesností geometrie kluzných ploch a vlivu provozních parametrů na změnu tloušťky mazací vrstvy mezi kluznými povrchy běhounu 9 a testovacích ložiskových segmentů 6. Kompenzaci nepřesností lze provést nastavením zpětnovazebního řízení tloušťky mazacího filmu. Běhounem 9 otáčí hydromotor 10 umístěný ve středu osy otáčení točny.

50 Přínos řešení je v možnostech testování ložiskových segmentů 6 s nastavitelnými montážními nepřesnostmi, jako jsou např. úhel natočení, naklopení nebo výškový rozdíl. Další možnosti přináší hydraulický okruh, který je vybaven zpětnovazebním řízením hydrostatických ložisek. Testování může probíhat při dlouhých chodech zařízení, i při asymetrickém zatěžování. Provoz zařízení přinese experimentálně získané vědecké poznatky, které mohou být podrobeny studiu a uplatněny  
55 v praxi s obecnou využitelností ve strojírenství. Systém zahrnuje potřebné senzory a snímače

(polohy, tlaku, průtoku, teploty) pro vlastní výzkum chování hydrostatického ložiska. Senzory umožňují vyhodnocovat veličiny jako výšku mazací vrstvy, tlak v kapsách 12, průtok z agregátu, tlak v systému a rychlost rotace.

- 5 Mazací vrstva u hydrostatických ložisek se obvykle pohybuje v rozmezí desetin až setin milimetru, a proto je nutno zajistit její konstantní výšku. Experimentální zařízení slouží k testování nerovnoměrného zatěžování, nepřesností geometrie kluzných ploch a vlivu provozních parametrů na změnu tloušťky mazací vrstvy mezi kluznými povrchy běhounu 9 a kapsy 12. Kompenzaci nepřesností lze zajistit zpětnovazebním řízením. Zpětnovazební řízení umožňuje přizpůsobit
- 10 tloušťku mazacího filmu provozním podmínkám ložiska. Pomocí snímačů polohy je možné měřit tloušťku mazacího filmu a následně při vzrůstu či poklesu tloušťky měnit průtok proporcionálním ventilem.

- 15 Maximální zatížení, které lze na popisovaném zařízení dosáhnout prostřednictvím hydraulických válců, je 24 tuny, přičemž hydraulický agregát je schopen dodávat tlakovou kapalinou o pracovním tlaku 50 až 100 bar (5 až 10 MPa) a průtoku 10 až 20 l/min. Běhoun 9 se otáčí pomocí hydromotoru 10 v ose točny. Zařízení je také vybaveno senzory teploty oleje na vtoku oleje do ložiska. Testovací ložiskový segment 6 hydrostatického ložiska je vyroben jako výměnný, aby bylo možno studovat vliv rozložení různých hydrostatických kapes na nivelaci běžce. Hydrogenerátor umožňuje
- 20 spouštět provozní režimy, lze volit strategie řízení proporcionálních ventilů a zohlednit i kritické fáze provozu při výpadku zdroje elektrické energie.

- Zpětnovazební řízení umožňuje přizpůsobit tloušťku mazacího filmu provozním podmínkám ložiska. Pomocí snímačů h je možné měřit tloušťku mazacího filmu a následně při vzrůstu či
- 25 poklesu tloušťky měnit průtok regulačním ventilem. Případně je možné též využít informaci o tlaku v kapse, kdy se průtok (a tím i tloušťka) změní dle rozdílu tlaku reálného na predikovaného.

- Druhý hydraulický okruh zátěžných ložisek 8 je instalován k simulování nerovnoměrného zatěžování. Jelikož zátěžná ložiska 8 jsou upevněna na hydraulických válcích 7, je možné nastavit
- 30 rozdílné vysunutí válců, tzn zátěžné síly na jednotlivé testovací ložiskové segmenty 6. Rozdíl v zatížení bude mít značný vliv na tloušťku mazacího filmu, přičemž regulační ventily mají schopnost tento vliv omezit a zajistit rovnoměrnou tloušťku mazacího filmu.

## NÁROKY NA OCHRANU

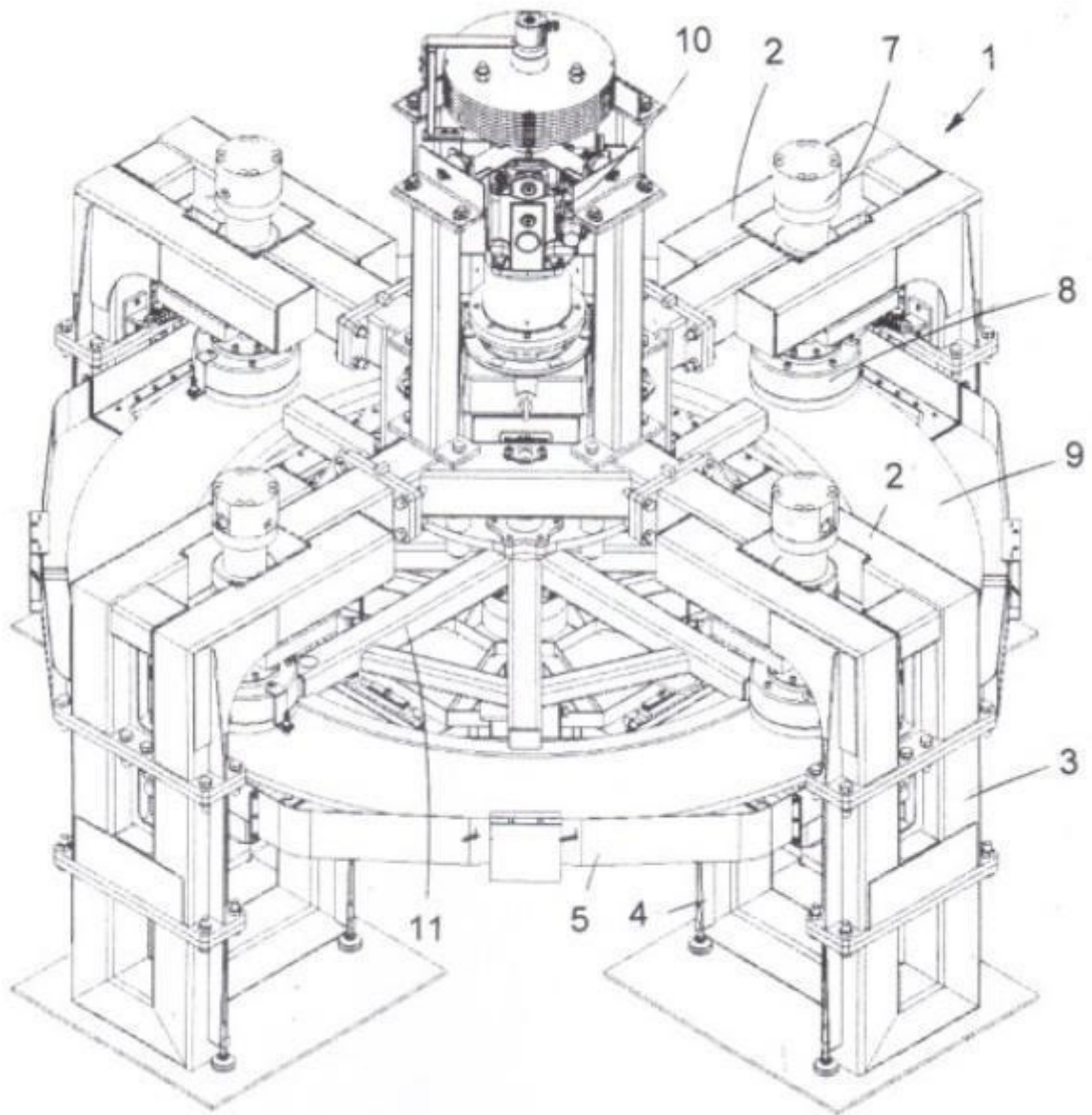
1. Zařízení k testování provozních stavů hydrostatického uložení tvořené s rozestupy rozmístěnými testovacími ložiskovými segmenty vespod podepřenými konstrukcí zařízení, na jejichž kluznou plochu napojenou na okruh maziva shora s přítlakem doléhá pohyblivý běhoun, **vyznačující se tím**, že testovací ložiskové segmenty (6) jsou rozmístěny na kružnici, běhoun (9) je tvořen plochým prstencem ve tvaru mezikruží a opatřen pohonem k otáčení kolem osy běhounu (9), přičemž nad každým testovacím ložiskovým segmentem (6) doléhá na běhoun (9) hydrostatické axiální zátěžné ložisko (8) svrchu přitlačované hydraulickým válcem (7) upevněným v nosné konstrukci zařízení a přičemž každý z testovacích ložiskových segmentů (6) a každé z axiálních zátěžných ložisek (8) je svojí kapsou (12) napojeno na okruh maziva přes vlastní restriktor (R).
2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že nosná konstrukce zařízení má čtyři ramena (1) složená z profilů, která svými horními nosníky (2) vybíhají do kříže směrem od osy běhounu (9) a svými stojinami (3) se opírají o podklad, přičemž na vzpěrách (4) ve spodní části ramen (1) spočívá platforma (5) nesoucí testovací ložiskové segmenty (6), zatímco v horních nosnících (2) ramen (1) jsou upevněny hydraulické válce (7).
3. Zařízení podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že pohonem běhounu (9) je hydromotor (10) uložený centrálně v horní části nosné konstrukce zařízení, přičemž běhoun (9) je radiálními nosníky (11) připojen k hřídeli hydromotoru (10).
4. Zařízení podle některého z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že k testovacím ložiskovým segmentům (6) jsou připojeny snímače (h) tloušťky vrstvy maziva na kluzných plochách testovacích ložiskových segmentů (6).
5. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že okruh maziva je tvořen na zásobník maziva napojeným čerpadlem (C), za kterým jsou řazeny pojistný ventil (W), filtr (F), zpětný ventil (Z), snímač (P) tlaku v systému a akumulátor (A) tlaku maziva, načež se větví na přívody maziva do testovacích ložiskových segmentů (6) a do axiálních zátěžných ložisek (8), přičemž za restriktory (R) testovacích ložiskových segmentů (6) jsou před vstupy testovacích ložiskových segmentů (6) zapojeny průtokoměr (Q) a snímač (p) tlaku v testovacím segmentu a přičemž obvodové drážky k jímání maziva odtékajícího z kluzných ploch testovacích ložiskových segmentů 6 jsou propojeny se zásobníkem maziva.

## 4 výkresy

Seznam vztahových značek:

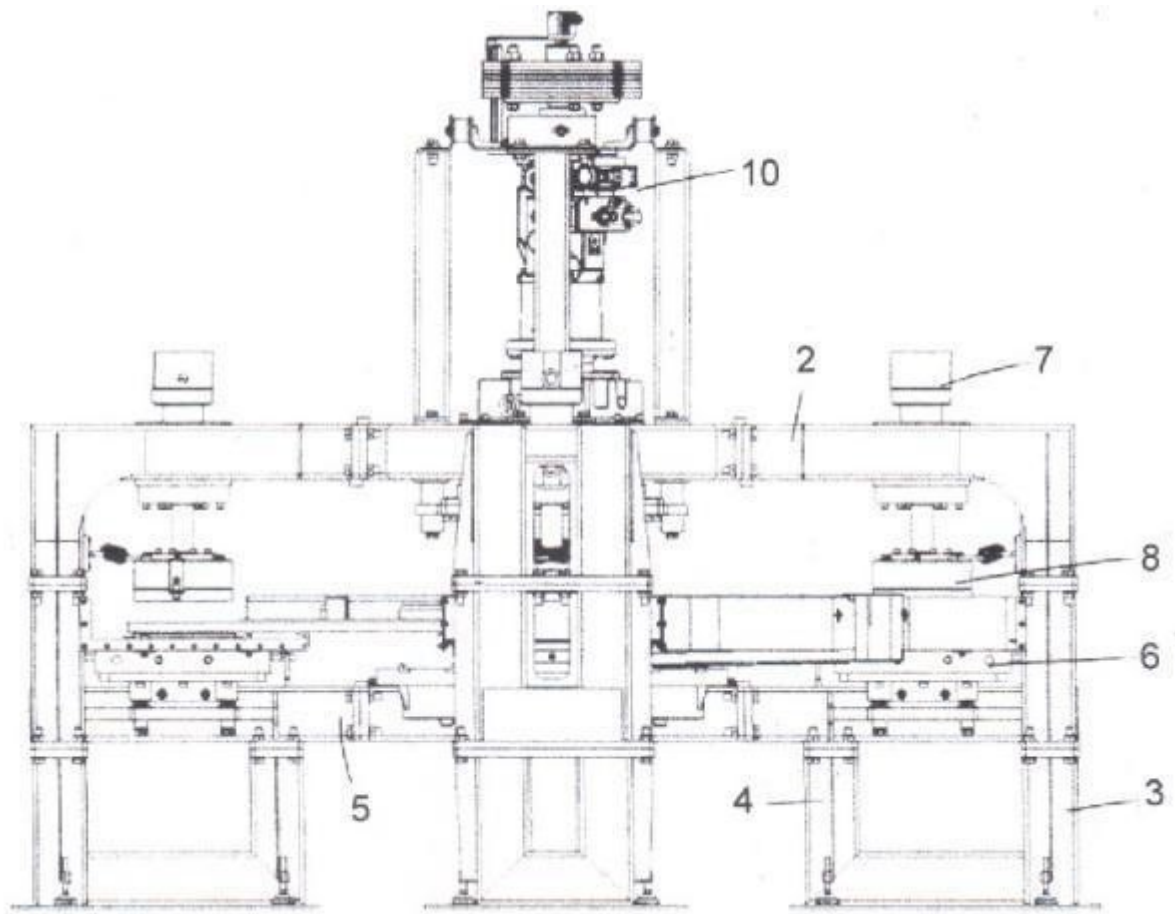
- 1 ramena nosné konstrukce
- 2 horní nosníky
- 3 stojiny
- 4 vzpěry
- 5 platforma testovacích ložiskových segmentů
- 6 testovací ložiskové segmenty
- 7 hydraulické válce
- 8 hydrostatická axiální zátěžná ložiska
- 9 běhoun
- 10 hydromotor
- 11 radiální nosníky
- 12 kapsa
- h snímač tloušťky vrstvy maziva
- C čerpadlo

M motor čerpadla  
W pojistný ventil  
F filtr  
Z zpětný ventil  
A akumulátor tlaku maziva  
R restriktor (regulační ventil)  
Q průtokoměr  
P snímač tlaku v systému  
p snímač tlaku v testovacím segmentu

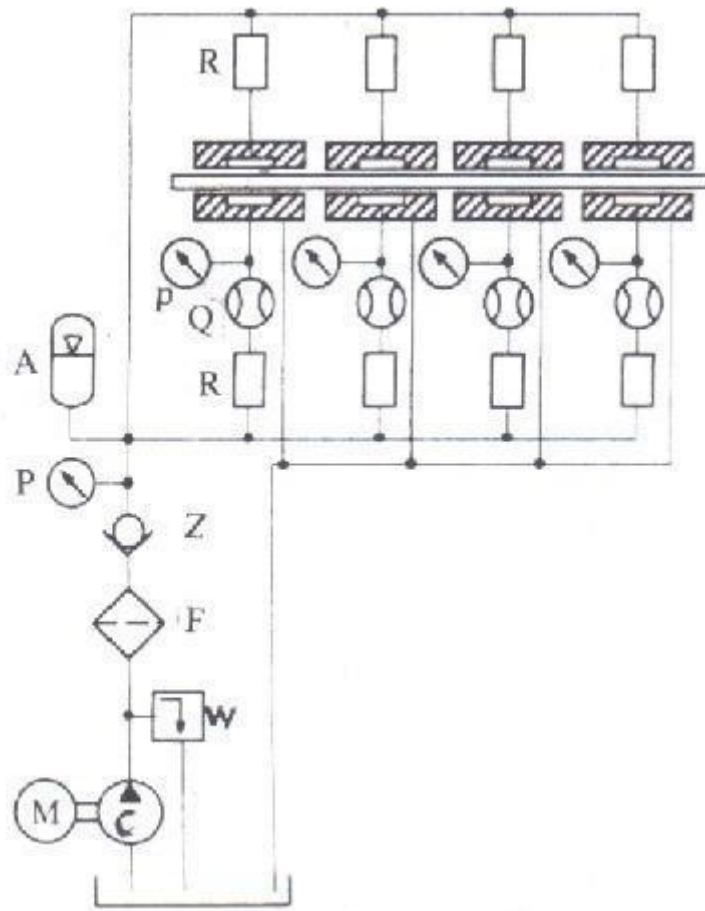


Obr. 1

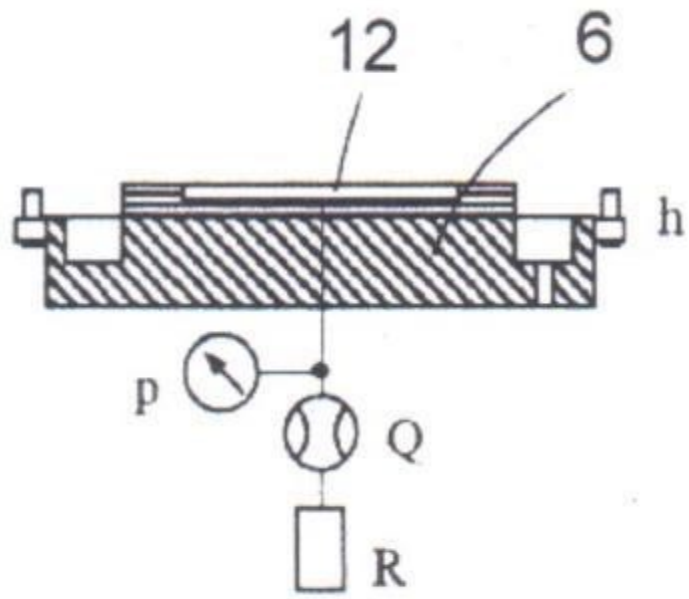




Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4