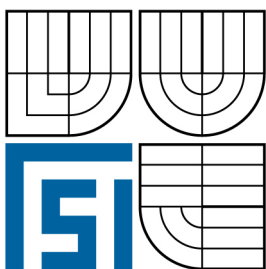


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ MECHANICKÉ ODOLNOSTI TERMOSTATICKÝCH HLAVIC

THERMOSTATIC VALVE TESTING DEVICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LADISLAV RYBAŘÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HEJČÍK

BRNO 2009

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh zkušebního zařízení pro testování mechanické odolnosti termostatických hlavice dle normy EN215. Především na testy odolnosti termostatické hlavice vůči ohybovému a krouticímu momentu. Práce obsahuje konstrukční návrh zařízení včetně výkresové dokumentace, algoritmu měření a návrh snímačů. Dále je obsahem této diplomové práce okruh na úpravu vody pro zkušební zařízení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Norma EN215, Tenzometrická hlavice, termostatická a termoregulační hlavice, PID regulátor , bezpečnostní spojka.

ABSTRACT

The focus of this Master's thesis is on designing a device for testing the mechanical endurance of thermostatic valves according to the EN215 standard. The endurance tests under the influence of torque and bending moment are the main problems it deals with. The thesis contains engineering design of the testing device and it also includes mechanical drawings, design of sensors and measuring algorithm. The design of a water circuit used for water conditioning for the testing device is also included.

KEYWORDS

Tensometric head, thermo-regulating and thermostatic head, EN215 norm, PID regulator, safety coupling.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RYBAŘÍK, Ladislav. *Zkušební zařízení termostatické odolnosti tenzometrických hlavic*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 70s, 26. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Hejčík.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Zařízení na zkoušení mechanické odolnosti termostatických hlavice“ vypracoval samostatně a bez cizí pomoci. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury uvedené v seznamu.

V Brně, dne 25. května 2009

.....
podpis diplomanta

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem lidem, kteří mi svým přístupem, znalostmi a zkušenostmi pomohli při vypracování této diplomové práce. Děkuji především vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jiřímu Hejčíkovi.

OBSAH

ÚVOD 13

1.1	Termoregulační hlavice a ventil	13
1.2	Princip termoregulační hlavice	13
1.3	Zajištění správné funkčnosti termostatické hlavice	14
1.4	Doporučené teploty a úspora energie.	15
2	NORMA EN 215	18
3	TESTOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	22
3.1	Odolnost vůči tlaku a propustnosti úplného ventilu.	22
3.2	Vodotěsnost u ventilu uzavřeného manuálně pomocí ochranného krytu	22
3.3	Vodotěsnost u kořenového těsnění	23
3.4	Odolnost těla úplného ventilu vůči ohybovému momentu	23
3.5	Odolnost regulátoru teploty vůči krouticímu momentu.	24
3.6	Odolnost teplotního regulátoru vůči ohybovému momentu	25
4	ZAŘÍZENÍ NA TESTOVÁNÍ REGULÁTORŮ TEPLoty PROTI KROUTICÍMU MOMENTU.	26
	POPIS ZAŘÍZENÍ.....	26
5	POPIS ČÁSTÍ TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	30
5.1	Servomotor – TGH4 - 0780 od firmy TG Drives, s.r.o.	30
5.2	Snímače krouticího momentu (momentu síly)	35
5.3	Bezpečnostní kluzná spojka.....	41
5.4	Upínací hlava	44
5.5	Kuličková jednořadá ložiska 6206 a 6009.....	46
6	ZAŘÍZENÍ NA TESTOVÁNÍ REGULÁTORŮ TEPLoty PROTI OHYBOVÉMU MOMENTU	48
7	ÚPRAVA VODY PRO TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	50
7.1	Komponenty v okruhu pro úpravu vody	50
7.2	Schéma vodního okruhu	59
8	PŘIPOJENÍ ZDROJE VODY K TESTOVACÍMU ZAŘÍZENÍ	61
9	POSTUP ZKOUŠKY – TESTOVÁNÍ NA KRUT:	62
10	POSTUP ZKOUŠKY – TESTOVÁNÍ NA OHYB:	64
11	ZÁVĚR	66
12	POUŽITÉ VELIČINY	67
13	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
14	SEZNAM PŘÍLOH	70

ÚVOD

Termoregulační hlavice a ventily se vyrábí podle normy EN 215.

1.1 Termoregulační hlavice a ventil

Ventily otopných těles jsou používány v teplovodních soustavách pro regulaci prostorové teploty v jednotlivých místnostech nebo zónách. Montují se v kombinaci s termostatickými hlaviciemi nebo elektrickými pohony. Jejich použití se doporučuje ve všech prostorách objektu, především však v prostorách s možností ovlivnění vnitřní teploty cizími zdroji tepla nebo tam, kde požadujeme rozdílnou teplotu v jednotlivých místnostech. Termoregulační hlavici lze dosáhnout toho, že každý odběratel zaplatí relativně přesné množství tepla, jím využitého. To vede k úspoře peněz a energie. Termoregulační hlavice jsou samočinně pracující regulátory teploty pro jednotlivé místnosti, které nevyžadují žádný přívod elektrického proudu nebo jiný zdroj energie.

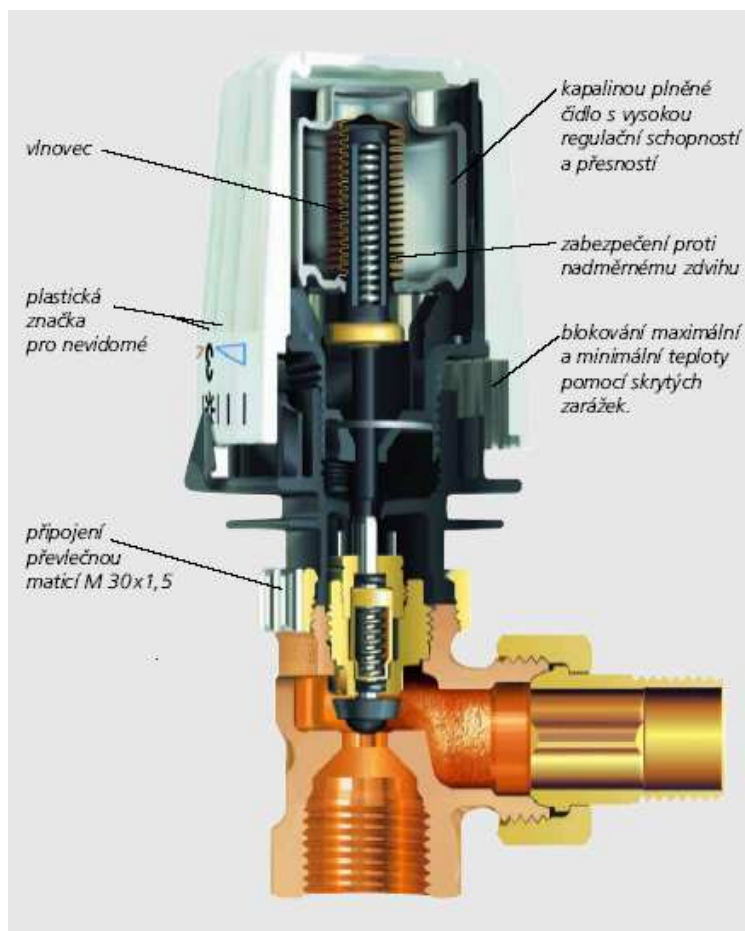


Obr. 1.1 Rohový ventil a přímý ventil [6]

Termoregulační ventil - musí splňovat dvě základní funkce, a to funkci omezovače průtoku otopné vody do otopného tělesa a regulátoru teploty v určité místnosti.

1.2 Princip termoregulační hlavice.

Změna zdvihu ventilu je úměrná změně teploty vzduchu v prostoru. Jestliže teplota vzduchu v okolí stoupá, například účinkem slunečního záření, nebo tepelným vyzařováním osob a elektrických přístrojů, pak dojde ke zvětšení objemu kapaliny v teplotním čidle. Kapalina se v teplotním čidle roztahuje a tím je stlačen vlnovec, který tlačí na kuželku ventilu. Kuželka ventilu škrtí ve ventilovém sedle přívod topné vody proudící do otopného tělesa. Při poklesu teploty v místnosti se kapalina v teplotním čidle smršťuje. Vlnovec je méně stlačen a kuželka ventilu uvolní radiátorový ventil. Tím se zvětší průtok otopné vody do otopného tělesa. [6]



Obr. 1.2 Termostatické hlavice Heimeier [6]

1.3 Zajištění správné funkčnosti termostatické hlavice.

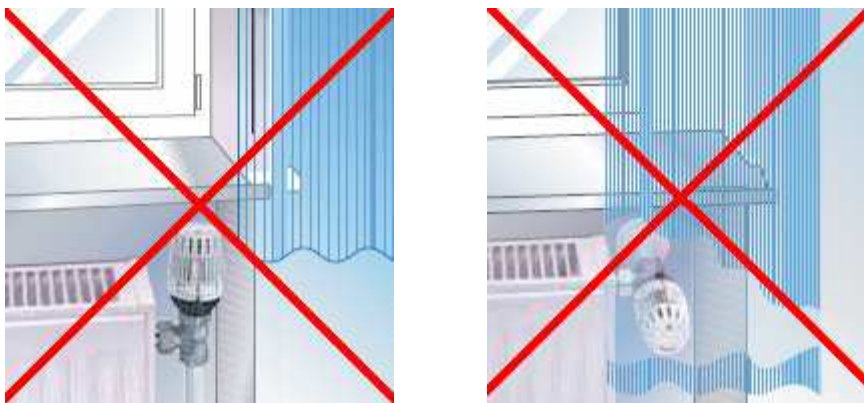


Obr. 1.3 Správné umístění termoregulační hlavice [6]

Správně: Termostatická hlavice musí být umístěna tak, aby nebylo omezeno volné obtékání vzduchu kolem termoregulační hlavice. V případě, že použijeme oddělené čidlo teploty, musí být čidlo umístěno tak, aby bylo umožněno volné obtékání cirkulačního vzduchu kolem čidla. Při dodržení této zásady nic nebrání nerušenému sledování teploty vzduchu v prostoru. [6]

Špatně: Termostatická hlavice nesmí být zakryta obložením otopného tělesa, nábytkem nebo dlouhými závěsy. Dále nesmí být čidlo termostatické hlavice vystaveno nežádoucím vlivům, jako je přímé sluneční záření nebo proudění studeného vzduchu. Dále by nemělo být čidlo vystaveno teplému vzduchu proudícímu z elektrických přímotopů. [6]

Instalovat termostatickou hlavici svisle nahoru je podle normy EN 215 zcela nevhodné, protože cirkulující teplo z otopného tělesa ovlivňuje výrazným způsobem funkci hlavice, která předčasně uzavře ventil. Předčasným uzavřením ventilu vznikne v místnosti tepelná nepohoda (chlad). [6]



Obr. 1.4 Špatněné umístění termoregulační hlavice [2]

1.4 Doporučené teploty a úspora energie.

Pojem charakterizující správně vytopený byt je tepelná pohoda.

Definice tepelné pohody: Stav, kdy prostředí odnímá člověku jeho tepelnou produkci bez výrazného (mokrého) pocení. Pocit spokojenosti s tepelným stavem prostředí. Činitelé vytvářející tepelnou pohodu: teplota vzduchu, teplota povrchu stěn a předmětů, rychlost proudění vzduchu, vlhkost vzduchu, oděv, tělesná konstituce člověka, činnosti člověka. [6]

Optimální teplota v místnostech, ve kterých se přes den zdržujeme, by měla odpovídat teplotě okolo 20 – 22 °C. V místnostech určených ke spaní je vhodné udržovat teplotu nižší.

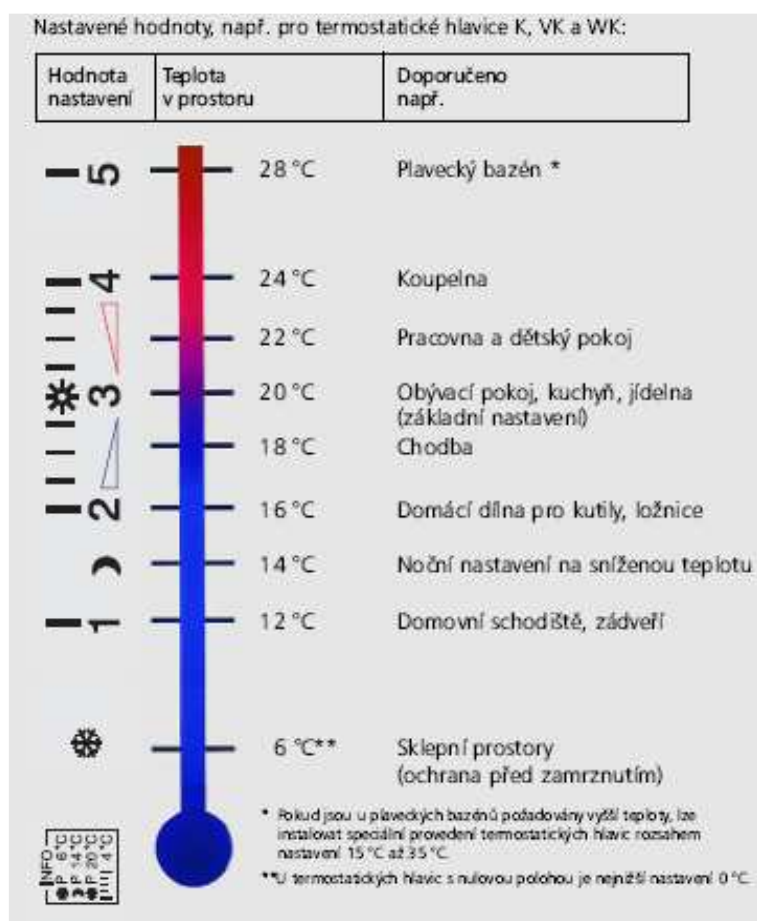
Požadovanou teplotu v místnosti (prostorovou) lze nastavit jednoduchým pootočením termoregulační hlavice (doleva – tepleji, doprava – chladněji). Nastavovací šipka musí ukazovat na určenou číslici nebo na dílčí čárku stupnice. [6]

Úspory energie získáme následujícími principy

Způsobí-li cizí zdroj tepla (teplota okolí, osvětlení, sluneční záření, elektrické přístroje, osoby v místnosti apod.), přivedený do místnosti, zvýšení teploty v místnosti nad nastavenou teplotu termoregulační hlavice, potom čidlo termoregulačního ventilu uzavírá přívod topného média do otopných těles a topné těleso postupně vychladne.

Noční úspora snížením teploty

V noci není nutné místnosti vytápět na stejné teploty jako během dne. Z tohoto důvodu můžeme ušetřit energii potřebnou pro vytápění, a to tak, že termostatickou hlavici večer otočíme doprava až k citelnému odporu. Toto nastavení je zcela dostačující. Ráno se termostatická hlavice otočí zpět na teplotu, kterou požadujeme přes den. Také při delší nepřítomnosti v délce několika hodin (např. odchod do práce, dovolená) by se měla teplota snížit.



Obr. 1.5 Doporučené teploty pro určité místnosti [6]

Nastavení ochrany proti zamrznutí

Pokud v zimě opouštíte byt na delší dobu, můžeme termostatický ventil uzavřít otočením přes citelný odpor až do polohy pro nastavení teploty na ochranu proti zamrznutí. Tím je zajištěno, že při provozu topného okruhu teplota v místnostech neklesne pod +6 °C, čímž je tento systém chráněn proti zamrznutí (při zamrznutí vznikají hmotné škody). Tato ochrana proti zamrznutí se dá použít také pro místnosti, které se nepoužívají v zimním období. [6]

Správné větrání

Větrání by nemělo být používáno k regulaci teploty v místnosti, nýbrž pouze k výměně spotřebovaného vzduchu za vzduch čerstvý (obohacený kyslíkem). Větrá se jen v krátkém

časovém úseku, ale zato intenzivně. To znamená, že okna budou zcela otevřená na krátkou dobu a přitom se termostatická hlavice nastaví až na polohu ochrany proti zamrznutí (otočením doprava). Po vyvětrání snadno nastavíme potřebnou teplotu v místnostech.

Z principu fungování termoregulačního ventilu vyplývá, že netopí-li radiátor nebo je-li určitá část otopného tělesa chladnější, nemusí být chyba v nefunkčnosti ventilu (termoregulační hlavice). Naopak se tímto projevuje jeho schopnost regulovat otopný systém. Důležitá totiž je teplota v místnosti, na kterou se dodávka tepla reguluje.

Je-li radiátor včetně hlavice regulačního ventilu zakrytý (omezené proudění vzduchu kolem něj), neprojeví se plně regulační funkce ventilu a v místnosti není dosažena nastavená teplota.

2 NORMA EN 215

Norma EN 215 obsahuje termíny a definice, požadavky a testovací metody pro termostatické hlavice a ventily, které jsou určeny k montáži na otopná tělesa v teplovodních soustavách ústředního vytápění s teplotou vody do 120 °C a se jmenovitým přetlakem PN 10.

Norma obsahuje popis a funkci hlavních částí termostatické hlavice a popis umístění senzoru a regulátoru teploty. Dále uvádí technické řešení uchycení různých typů ventilu k trubce radiátoru o jmenovitém přetlaku $\leq$ PN 10. [1]

Norma EN 215 je rozdělená do kapitol:

Pojmy a definice

Symboly a zkratky

Požadavky

Testovací zařízení a metody:

Testovací zařízení

- a) Zařízení na měření hydraulických údajů
- b) Zařízení na testování ventilu s termostatem
- c) Zařízení pro testování ventilu s termostatem ve vzduchovém proudu

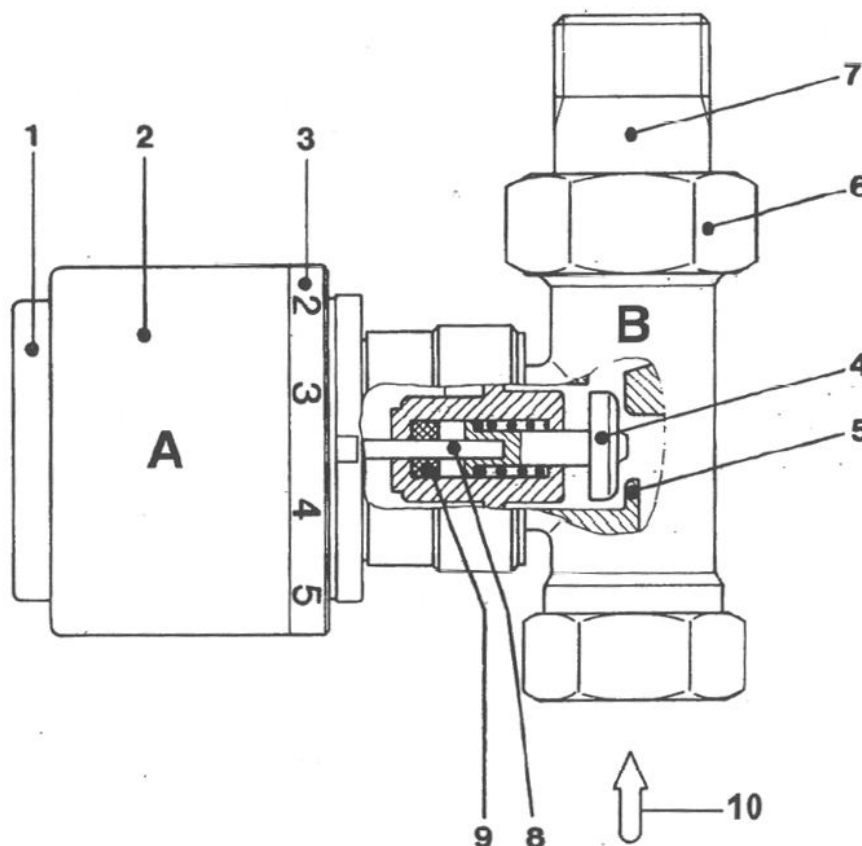
Charakteristické křivky, ventil s termostatem

- a) Stanovení charakteristických křivek
- b) Testování mechanických vlastností
- c) Testování provozních charakteristik

Technické údaje specifikované výrobcem v instrukcích k montáži a manipulaci

Pokud výrobek nesplňuje limity uvedené normy EN 215, nemůže si zažádat o certifikaci v systému certifikačních značek CEN / CENELEC.

Schematický náčrtek sestavení ventilu s termostatem se zabudovaným senzorem dle normy EN 215.



Obr. 2.1 Ventil s termostatem a senzorem dle normy EN 215 [1]

Legenda: (komponenty)

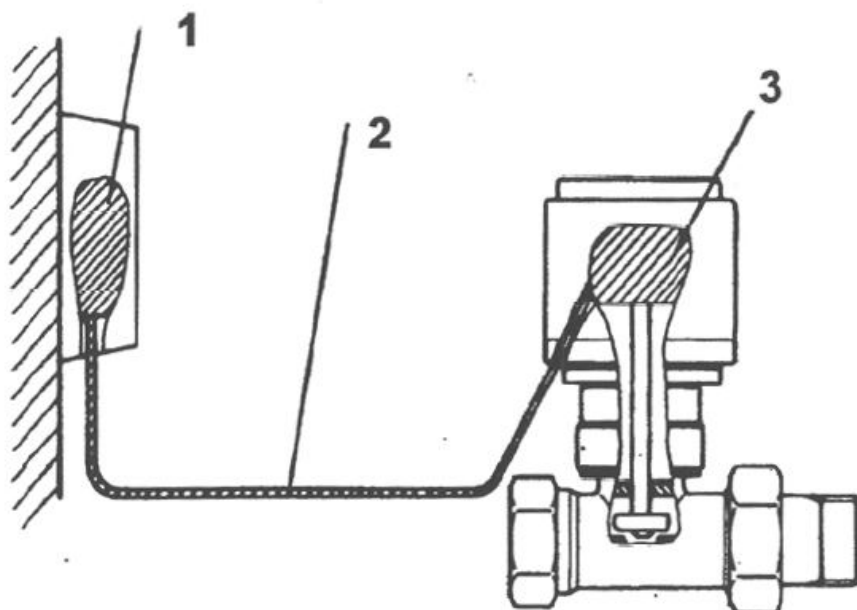
- | | | | |
|----|-------------------------------|-----|----------------------------------|
| A) | Sestavení termostatické hlavy | B) | Sestavení těla ventilu |
| 1. | Senzor | 4. | Ventilový talíř |
| 2. | Ovladač teploty | 5. | Sedlo ventilu |
| 3. | Škála ovladače teploty | 6. | Spojovací matice |
| | | 7. | Zakončení |
| | | 8. | Kořen ventilu |
| | | 9. | Těsnění kořene |
| | | 10. | Šipka znázorňující směr proudění |

Senzor - část ventilu s termostatem, která detekuje teplotu (hlídanou hodnotu), je zobrazena na obr. 2.2.

Přenosová jednotka - část ventilu s termostatem, která převádí změnu teploty nebo tlak senzoru na lineární pohyb kořene ventilu.

Přenosový element - část ventilu s termostatem (např. kapilárním), která přenáší změnu objemu nebo tlaku ze senzoru nebo ovladače teploty na přenosovou jednotku.

Termostatická část - obsahuje všechny části, které jsou naplněny expanzním médiem - tedy senzor, přenosový článek a přenosová jednotka, znázorněny šrafováním v (obr. 2.2). [1]

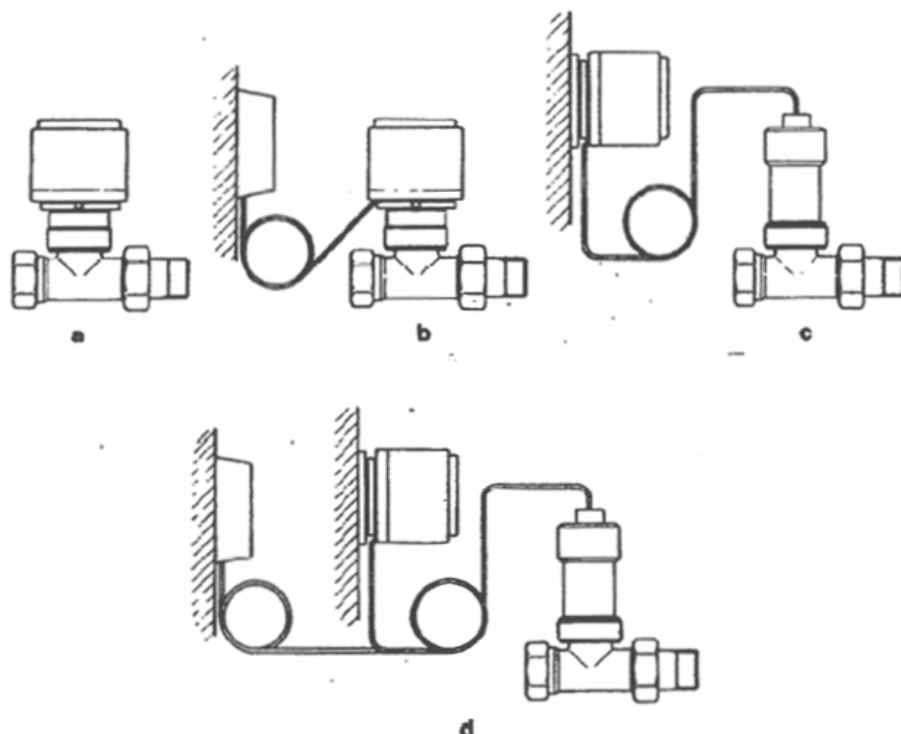


Obr. 2.2 Termostatický článek [1]

LEGENDA: 1)Senzor 2) Přenosový element 3)Přenosová jednotka

Ochranný uzávěr – zařízení, které chrání kořen ventilu před prvotním usazením hlavy ventilu. Dá se použít k nastavením tokových poměrů.

Typy ventilů s termostatem.



Obr. 2.3 Typy ventilů s termostatem [1]

Obr 2.3 a - ventil s termostatem se zabudovaným senzorem, obr 2.3 b - ventil s termostatem se zabudovaným regulátorem teploty a dálkovým senzorem, obr 2.3 c - ventil s termostatem s dálkovým senzorem včetně regulátoru, obr 2.3 d - ventil s termostatem s dálkovým senzorem a dálkovým regulátorem

Ventil s termostatem se zabudovaným senzorem (obr 2.3 a). Ventil, ve kterém senzor, přenosová jednotka a regulátor teploty tvoří celek, který je zabudován do těla ventilu.

Termostatický ventil se zabudovaným regulátorem teploty a dálkovým senzorem (obr 2.3 b). Ventil, u kterého je regulátor teploty součástí ventilu. Senzor je oddělen od přenosové jednotky. Není zde přenosový článek mezi senzorem a přenosovou jednotkou.

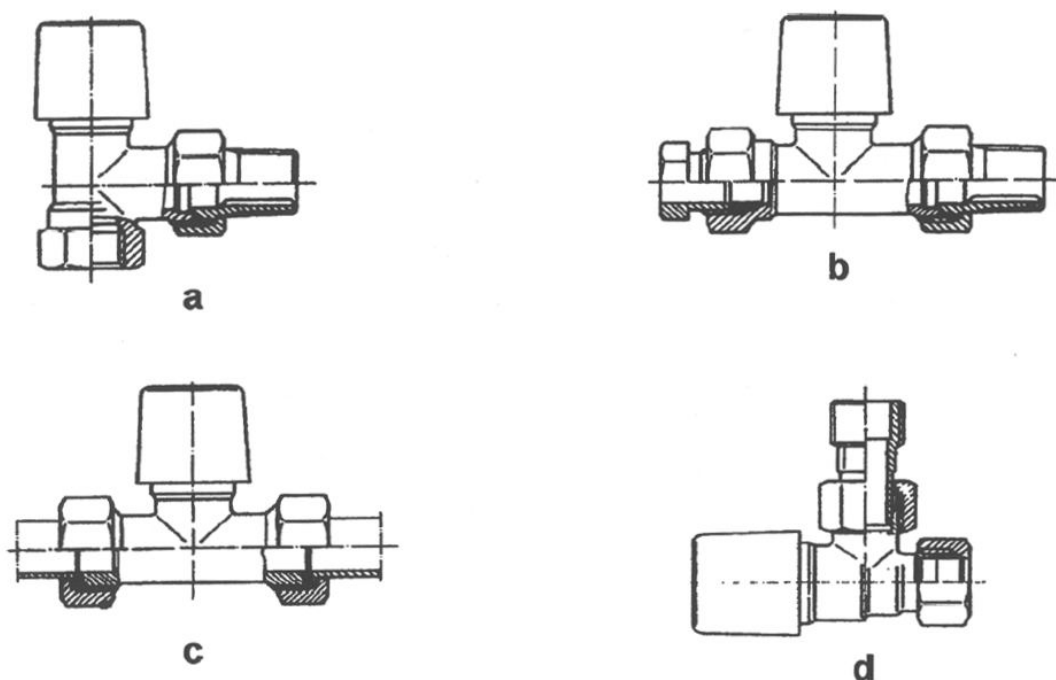
Ventil s termostatem s dálkovým senzorem včetně regulátoru (obr 2.3 c). Ventil, u kterého je senzor dohromady s regulátorem teploty umístěn vzdáleně od těla úplného ventilu a od přenosové jednotky. Je zde přítomen přenosový článek mezi senzorem a přenosovou jednotkou.

Ventil s termostatem s dálkovým senzorem a dálkovým regulátorem (obr 2.3 d). Ventil, u kterého jsou jak senzor, tak regulátor teploty odděleny jednak od sebe, jednak od těla úplného ventilu s přenosovou jednotkou. Je zde přenosový článek mezi senzorem a přenosovou jednotkou a mezi regulátorem teploty a přenosovou jednotkou

Ventil s termostatem s přednastavením. Ventil, u kterého lze dosáhnout snížení průtoku pomocí mechanického přednastavení, které je součástí úplného ventilu. [1]

Příklady uchycení ventilu k trubce.

Typy spojení, které se užívají k uchycení k radiátoru a k trubce jsou znázorněny na obr. 2.4.



Obr. 2.4 Uchycení ventilu k trubce [1]

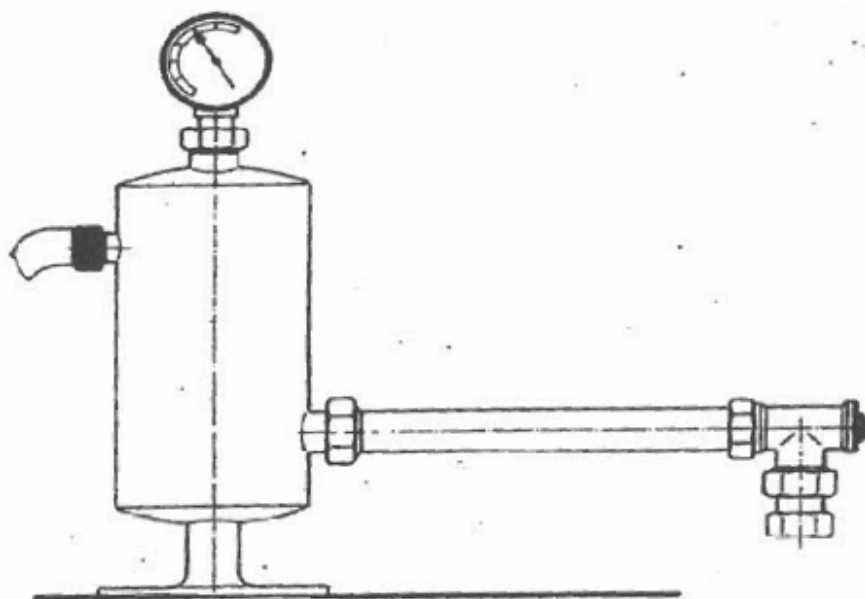
3 TESTOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

3.1 Odolnost vůči tlaku a propustnosti úplného ventilu.

Test musí být proveden dle obrázku 3.1. Utáhneme spojovací matici konce radiátoru (vyobrazeno na obrázku 3.1) s krouticím momentem dle tabulky 3.1 a uzavřeme ventil na straně radiátoru.

Utěšňovací krouticí moment pro ostatní spojení by měl být v souladu s instrukcemi výrobce.

Vystavíme otevřený ventil statickému tlaku vody o hodnotě dalšího vyššího nominálního tlaku (viz. ISO 7268), porovnávanému s nominálním tlakem na tělo úplného ventilu. Teplota vodní lázně by měla být $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Každou minutu kontrolujeme, jestli voda neprosakuje mezi stěnou těla. [1]



Obr. 3.1 Testování odolnosti těla ventilu proti tlaku [1]

Tab. 3.1 Utěšňovací krouticí momenty koncové matice

Nominální hodnota	Velikost závitu	Krouticí moment (Nm)
15 mm měděná trubka		40
DN8	1/4	40
DN10	3/8	40
DN15	1/2	60
DN20	3/4	80
DN25	1	100

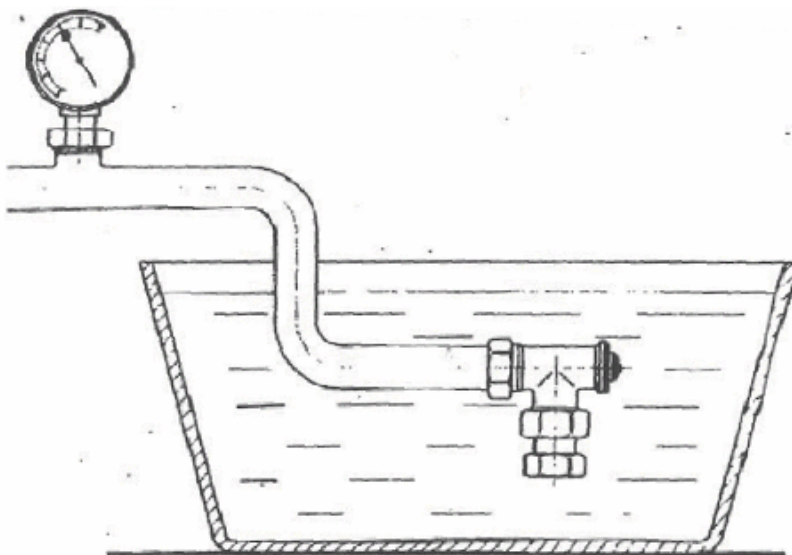
3.2 Vodotěsnost u ventilu uzavřeného manuálně pomocí ochranného krytu.

Tento test by měl být prováděn pouze pokud výrobce uvede, že ventil může být uzavřen pomocí ochranného krytu proti tlaku.

Primontujeme tělo úplného ventilu k testovacímu zařízení, jak je vyobrazeno na obr. 3.1, a to tak, že je otevřený na straně radiátoru. Uzavřeme ventil pomocí ochranného krytu. Aplikujeme statický tlak vody na hodnotu uvedenou výrobcem. Teplota vodní lázně by měla být $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Každou minutu kontrolujeme, zdali neuniká voda za ventilový talíř.

3.3 Vodotěsnost u kořenového těsnění.

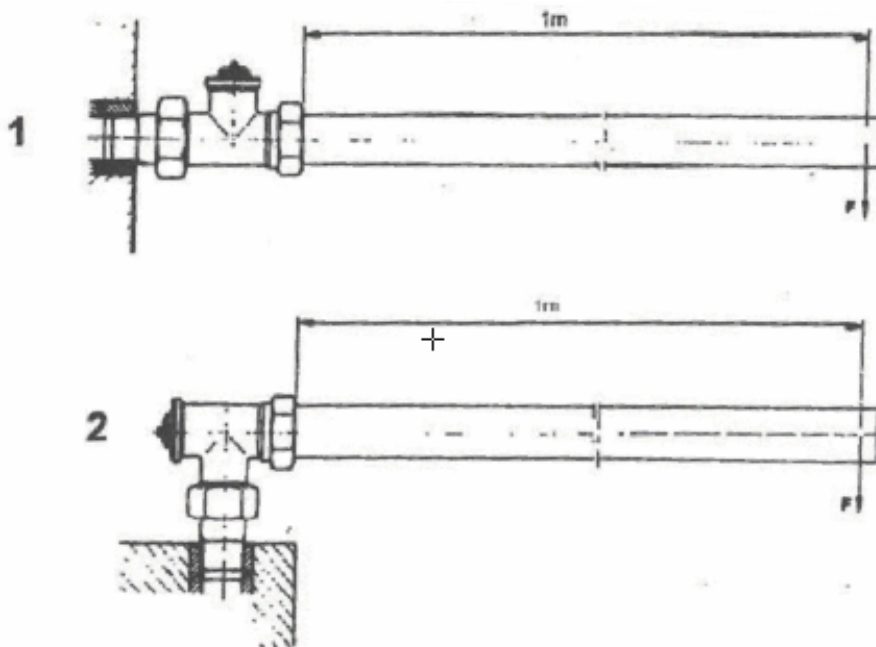
Test musí být proveden dle obrázku 3.2. Ventil by měl být zaslepen na straně radiátoru a ponořen do vody. Aplikujeme tlak 20 kPa (0.2 baru) $\pm 10\%$. Po jedné minutě manipulujeme s kmenem 5x. Kontrolujeme vodotěsnost kořenového těsnění. [1]



Obr. 3.2 Testování vodotěsnosti kořenového těsnění [1]

3.4 Odolnost těla úplného ventilu vůči ohybovému momentu.

Tento test musí být proveden podle obr. 3.3. Přitáhneme koncovou spojovací matici dle tabulky 3.2. Aplikujeme sílu F na konec trubky a kolmo na její osu po dobu 30 sekund. Síla by měla způsobit ohybový moment dle tabulky 3.2. Nesmí přitom dojít k trvalé deformaci. [1]



Obr. 3.3 Testování ohýbací síly na tělo úplného ventilu [1]

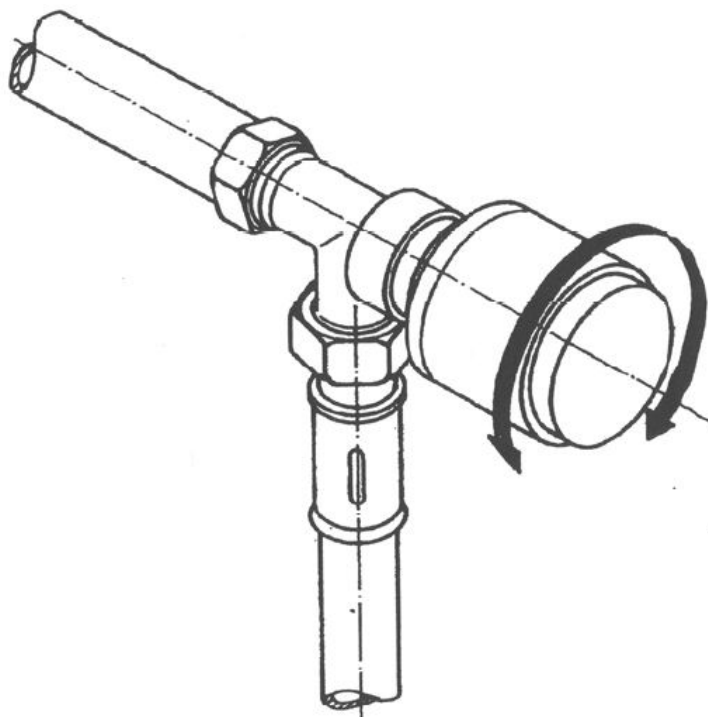
Legenda: 1) Přímé ventily 2) Rohové ventily

Tab. 3.2 - Ohybové momenty pro testování ventilů s termostatem. [1]

Nominální hodnota	Velikost závitů	Ohybový moment (Nm)
15 mm měděná trubka		20
DN8	1/4	80
DN10	3/8	100
DN15	1/2	120
DN20	3/4	180
DN25	1	220

3.5 Odolnost regulátoru teploty vůči krouticímu momentu.

Test musí být proveden tak, jak ukazuje obr. 3.4 s vodou o teplotě $90\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a při tlaku 100 kPa (1 bar) proudící skrz tělo úplného ventilu. Po uplynutí alespoň 20 minut, kdy se ustálí teplotní stav, nastavíme regulátor teploty do minimální pozice. Po dobu 30 s aplikujeme sílu, která způsobí krouticí moment o velikosti 8 Nm bez působení síly v příčném směru. Nakonec nastavíme regulátor teploty do maximální polohy a provedeme test znovu. V případě dálkového regulátoru dle kapitoly (typy ventilů s termostatem) by nastavení mělo být ve shodě s instrukcemi výrobce. Teplota vody v tomto případě nehraje roli. [1]



Obr. 3.4 Testování odolnosti teplotního regulátoru vůči krouticímu momentu [1]

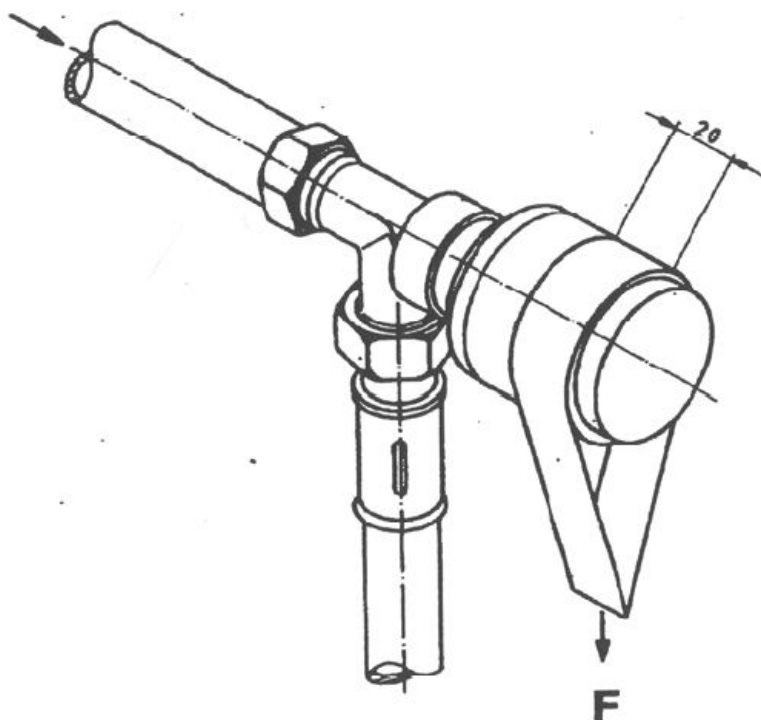
Po skončení testu kontrolujeme, zdali došlo k poškození (rozlomení, naprasknutí, trvalá deformace)

3.6 Odolnost teplotního regulátoru vůči ohybovému momentu

Test musí být proveden tak, jak ukazuje obr. 3.5 o teplotě $90\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a při statickém tlaku 100 kPa (1 bar) proudící skrz tělo úplného ventilu. Po uplynutí alespoň 20 min, kdy je ustálen teplotní stav, aplikujeme na regulátor teploty kolmo na jeho osu sílu $F = 250\text{ N}$ po dobu 30 sekund.

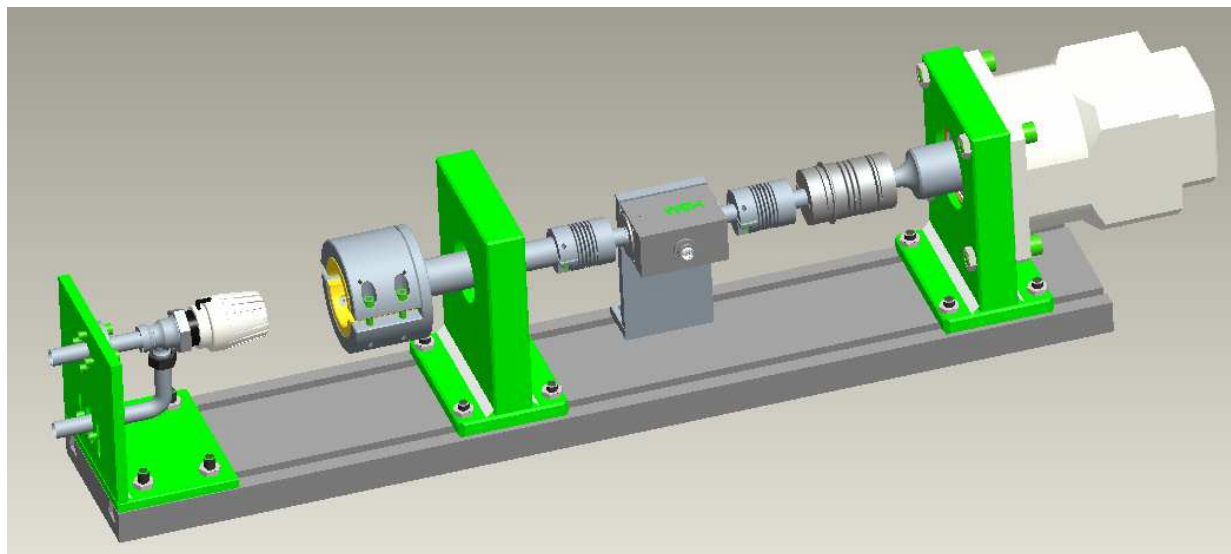
Sílu aplikujeme ve vzdálenosti 10 mm od nejkrajnější hrany regulátoru pomocí pásky (popruhu) o tloušťce 20 mm. V případě dálkového regulátoru by nastavení mělo být ve shodě s instrukcemi výrobce. Teplota vody v tomto případě nehraje roli.

Po skončení testu kontrolujeme, zdali došlo k poškození (rozlomení, naprasknutí, trvalá deformace). [1]



Obr. 3.5 Testování odolnosti teplotního regulátoru vůči ohybovému momentu [1]

4 ZAŘÍZENÍ NA TESTOVÁNÍ REGULÁTORŮ TEPLoty PROTI KROUTICÍMU MOMENTU.



Obr. 4.1 Pohled 1 na testovací zařízení na krut

POPIS ZAŘÍZENÍ

Přípravek na testování hlavice je navržen tak, aby byl konstrukčně co nejjednodušší, ale aby zároveň splňoval veškeré parametry na něj kladené. Testování hlavice v tomto zařízení odpovídá příslušné normě EN 215

Hlavní požadavky kladené při konstrukci zařízení:

- Možnost testování různých druhů hlavice
- Co nejnižší pořizovací náklady
- Bezpečný a bezúdržbový provoz
- Jednoduchá údržba a ovládání

Testovací zařízení se skládá ze čtyř hlavních celků, motoru a jeho uchycení, snímače a jeho zástavby, upínací hlavy a držáku hlavice. Všechny tyto celky jsou připevněny na lože.

MOTOR:

Je základem poháněcí soustavy. Je uchycen pomocí čtyř šroubů k vyráběnému držáku a vycentrován pomocí příruby. Držák je svařen ze dvou částí koutovým svarem. Spodní díl je opatřen otvory pro čtyři šrouby M 10, kterými se celek připevní k loži. Horní díl obsahuje otvory pro připevňovací šrouby motoru a zástavbu ložiska. Ložisko je použito jednořadé kuličkové zajištěné z jedné strany proti axiálnímu pohybu osazením a z druhé strany segerovým kroužkem.

SNÍMAČ:

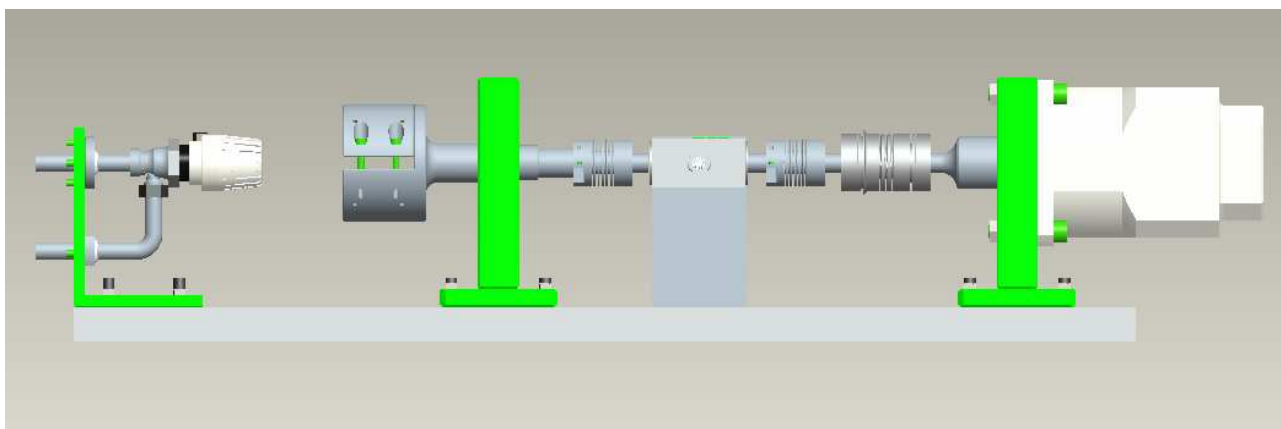
Je připevněn k držáku vlastní konstrukce. Je vyroben ze dvou silnějších plechů spojených koutovým svárem. Menší z dílů je opatřen drážkami pro upevnění k loži pomocí šroubů M10. Větší díl je opatřen čtyřmi průchozími otvory pro šrouby M3 na uchycení tenzometrické hlavice. Držák neumožňuje výškovou regulaci, proto musí být pečlivě vyroben, aby nevznikly komplikace při provozu zařízení.

HLAVA:

Je nejdůležitější součástí zařízení a tato součást je kompletně vyráběna. Proto je při její výrobě potřeba dodržovat veškeré výrobní tolerance.

Samotná hlava je rotační součást upevněná v zařízení pomocí jednořadého kuličkového ložiska. Stejně jako v zástavbě motoru je i zde použit stejný způsob upevnění ložiska a to přírubou a segerovým kroužkem.

K uchycení se užívá typově shodného držáku jako ten, který je použit pro uchycení ložiska motoru, ale s modifikovaným rozměrem na menší ložisko a bez otvoru pro upínání motoru.



Obr. 4.2 Pohled 2 na testovací zařízení na krut

DRŽÁK HLAVICE PRO KRUT

Držák se skládá z několika vzájemně spojených svarků. Základ tvoří dva silnější plechy svařené k sobě v pravém úhlu. Tento základ je opatřen otvory pro uchycení k loži a otvory pro uchycení pomocných armatur.

Armatury jsou užity dvě. Obě jsou tvořeny trubkou s navařenou destičkou pro upevnění k základu. Destičky jsou opatřeny průchozími otvory a základní prvek pak drážkami, které umožňují výškovou stavitelnost a výměnu hlavice.

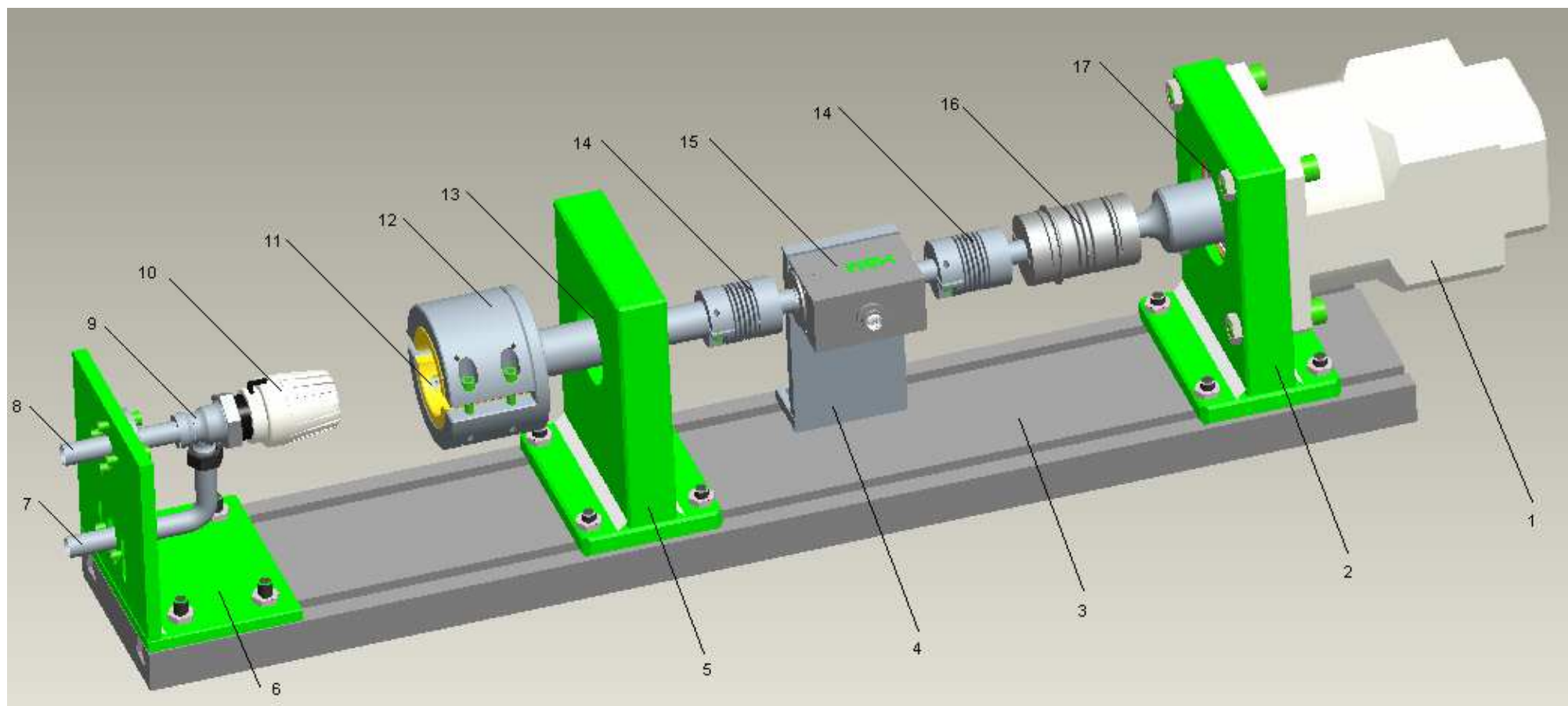
LOŽE

Je tvořeno jednou kovovou deskou, do které jsou vyfrézovány drážky přesného rozměru. Drážky slouží jako klíč pro šrouby s šestihrannou hlavou, které se do nich zasunou a umožní tak pohyblivé spojení ostatních celků.

Mezi motor a snímač je vložena bezpečnostní spojka, která je do zařízení připojena pomocí dvou hřídelek. První redukuje průměr výstupního hřídele motoru na vstupní průměr hřídele spojky, druhá je propojuje s dynamickou spojkou. Obě hřídele jsou zabezpečeny proti axiálnímu posunu pomocí svěrného spojení na spojkách.

Každá vyráběná součást je opatřena sražením všech ostrých hran, aby nedošlo k poranění obsluhy. **Všechny kovové díly budou opatřeny vrstvou laku**, aby nedocházelo ke korozi vlivem vzdušné vlhkosti.

Po sestavení zařízení budou barvou zatřeny šrouby držáku motoru, upínací hlavy a snímače (zajištění šroubu proti samovolnému uvolnění), protože s těmito částmi již nebude potřeba v průběhu fungování zařízení manipulovat. Jediný pohyblivý celek zde bude držák hlavice.



Obr. 4.3 Popis jednotlivých dílů testovacího zařízení na krut

- 1 - Servomotor TGH4-0780, 2 - Držák servomotoru, 3 - Lože, 4 - Držák tenzometrické hlavice T20WN, 5 - Držák (podstava) upínací hlavy
 6 - Držák termoregulační hlavice, 7 - Potrubí 2, 8 - Potrubí 1, 9 - Termoregulační ventil, 10 - Termoregulační hlavice Heimeier, 11 -
 Výstelka (silon), 12 - Upínací hlava, 13 - Ložisko 6206, 14 - Dynamicky vyvážená spojka, 15 - Tenzometrická hlavice T20WN,
 16 - Bezpečnostní spojka SK2, 17- Ložiska 6009

5 POPIS ČÁSTÍ TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

5.1 Servomotor – TGH4 - 0780 od firmy TG Drives, s.r.o.

Servomotor z řady THG4 jsem do sestavy použil s ohledem na jeho malé rozměry a malou hmotnost, dále pak pro velkou rovnoměrnost chodu a provozní požadavky.



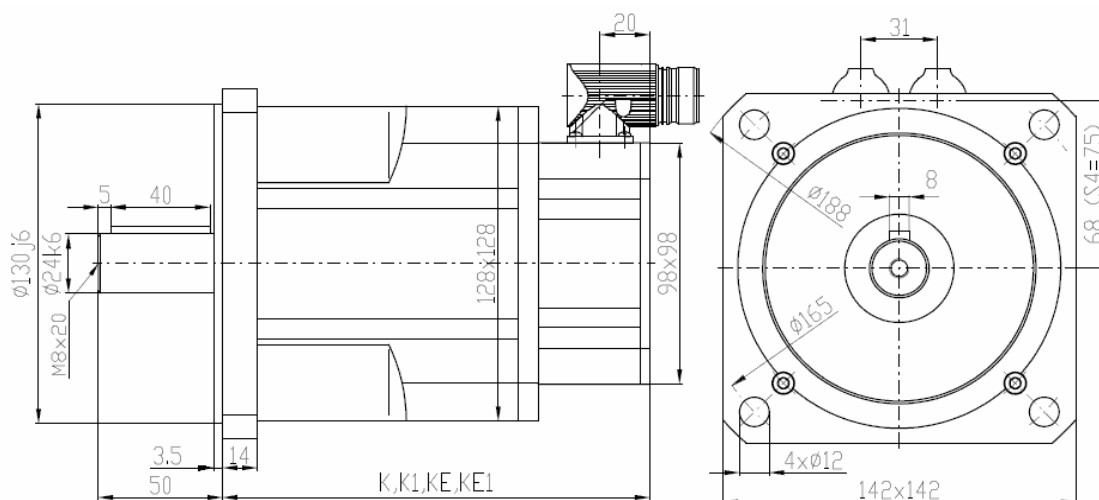
Obr. 5.1 Servomotor – TGH4- 0780 [7]

Segmentové servomotory mají svůj název odvozen od typu provedení svého statoru. U těchto servomotorů se předem navinou jednotlivé fáze na segmenty statoru, ze kterých se poté vytvoří svazek. Na rozdíl od běžných servomotorů, kde je vinutí vkládáno do již hotového statoru. Segmentové uložení má výhodu před běžnými servomotory v tom, že umožňuje navíjet každý segment vinutí zvlášť v rozloženém stavu. Toto samostatné navíjení segmentů umožňuje dosáhnout lepšího plnění vinutí a tím částečné zvýšení hustoty magnetického pole generované statorem a díky tomu se dosáhne zkrácení čel vinutí.

Jak zvýšení plnění tak zkrácení čel vinutí má za následek celkové zkrácení svazku o 40 – 50 %. [7]

Tab. 5.1 Rozměry servomotoru TGH4-0780

Typ	K	K1 (brzda)	KE (EnDAT)	KE1 (EnDAT+brzda)
TGH5-1050	186 mm	232 mm	226 mm	267mm



Obr. 5.2 Výkres rozměrů servomotoru TGH4-0780 [7]

Rozhodujícím parametrem pro výběr tohoto servomotoru je jeho klidový moment 8,6 Nm, Odolnost hlavice vůči krouticímu momentu se testuje při nulových otáčkách zatěžovacího motoru. Napájecí proud servomotoru je 560VDC.

Tab. 5.2 Charakteristická vlastnosti servomotoru [7]

Magnety Nd-Fe-B	TGH4-0780		
Jmenovité otáčky	n_N	min.^{-1}	3000
Jmenovitý výkon	P_N	W	1917
Jmenovitý proud	I_N	A	4,76
Jmenovitý moment	M_N	Nm	6,1
Klidový proud	I_0	A	6,4
Maximální moment	$M_{\max}$	Nm	27
Maximální proud	$I_{\max}$	A	31
Momentová konstanta	K_M	Nm/A	1,34
Napěťová konstanta	K_E	V/1000 min.^{-1}	81
Počet pólů motoru	$2p$	—	10
Odpor dvě fáze	$R_{2Ph} \Omega$	Ω	0,25
Indukčnost dvě fáze	L_{2Ph}	mH	18,6
Vlastní moment setrvačnosti	$J \text{ kg}$	cm^2	3,5
Hmotnost bez brzdy	m	kg	6,7
Klidový moment	M_0	Nm	8,6
Hmotnost s brzdou	m_{Br}	kg	7,6
Brzdící moment brzdy	M_{Br}	Nm	9

Potřebného klidového momentu 8 Nm pro testování dosáhneme pomocí změny proudu na vstupu servomotoru pomocí vhodného servo-zesilovače.

Motory jsou krátkodobě několikanásobně přetížitelné. Mechanický moment je úměrný proudu ve vinutí podle momentové konstanty. Omezením proudu omezíme i krouticí moment. Při trvalém zatížení nesmí krouticí moment (napájecí proud) překročit přípustný moment (proud), aby se vinutí nezničilo vlivem deformací při přehřátím (tepelná ochrana servomotoru).

Přepočet klidového momentu v závislosti na klidovém proudu u servomotoru TGH4-0780.

$$M_k = \frac{M_o}{I_o} \rightarrow I_o = \frac{M_o}{M_k} = \frac{8}{1,34} = 5,97 A \quad (5.1)$$

POUŽITÍ SERVOMOTORU TGH4 - 0780

Segmentové motory řady TGH4 se používají pro aplikace vyžadující velkou rovnoměrnost chodu při nízkých otáčkách a při požadavku na co nejmenší rozměry motoru. U motoru se dá provést přepočet vinutí tak, aby otáčky motoru byly přesně upraveny na určitou aplikaci. Motory TGH je možno dodávat s různými snímači polohy. Standardně jsou motory vybaveny snímačem polohy (resolverem) pro běžné aplikace a snímačem EnDat, Hiperface nebo Comcoder pro velmi přesné aplikace. [7]

Bezpečnostní brzda

Servomotory od firmy TG Drives, s.r.o. mají ve své výbavě elektromagnetickou brzdu. Servomotor se dá objednat buďto s brzdou nebo bez ní. Tato brzda slouží k mechanickému zajištění motoru v klidu a nikoli k funkci polohování.

Tepelná ochrana

K tepelné ochraně servomotoru se ve vinutí umísťují tepelné snímače. Jako tepelné snímače se používají termistory nebo termokontakty. Tyto snímače zajišťují, že teplota vinutí nepřesáhne dovolenou hodnotu 130 °C.

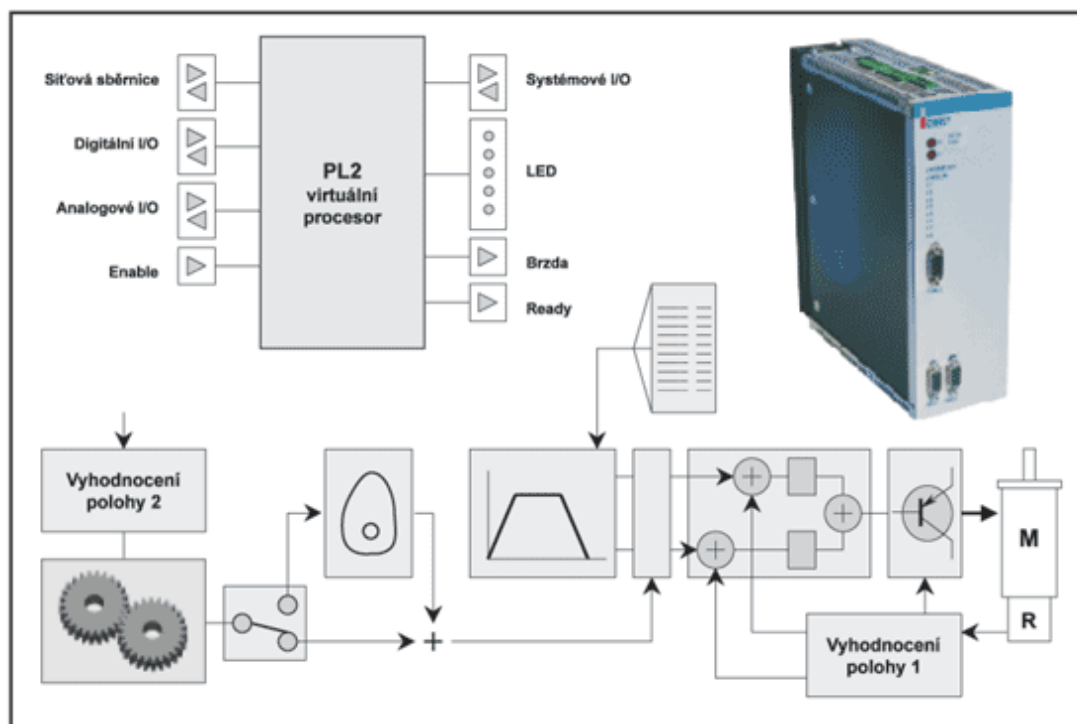
ŘÍZENÍ SERVOMOTORU TGH4-0780

Servomotor TGH4-0780 se v testovacím zařízení bude řídit pomocí servozsilovače 50412P z řady DMC2 od firmy TGdrives. Pomocí regulace proudu na výstupu servozsilovače změníme krouticí moment servomotoru z 8,7 Nm na potřebný krouticí moment 8 Nm, jak požaduje norma EN215.

Digitální servozsilovač pro řízení pohybů DMC2P má napájecí jednotku. Napájecí napětí jednotky je 400 VAC. Napájecí jednotka přemění toto napětí na 560 VDC, které požaduje servozsilovač i servomotor. Servozsilovač DMC2 se dále skládá z výkonové části upravené pro řízení servomotorů, polohovacího systému, digitálních a analogových vstupů pro PLC funkce a několika komunikačních rozhraní. Pro nahrávání programů nebo pro připojení operačního panelu jsou určeny sériové linky RS232 a RS422. Pro rychlou komunikaci mezi servozsilovači nebo dalšími zařízeními či řídicími systémy je určena sběrnice CAN BUS označovaná LAN1. [7]

ZPĚTNÁ VAZBA

Jednotka DMC2 je vybavena dvěma vstupy pro resolver (jeden pro snímání polohy na motoru, druhý pro master-slave aplikace). Jako doplněk je možno využít rozhraní pro připojení absolutního jedno - nebo víceotáčkového snímače EnDat. [7]



Obr. 5.3 Servozesilovač DMC2 - 50412P [7]

PROGRAMOVÁNÍ SERVOZESILOVAČE 50412P

DMC2 je programovatelný zesilovač umožňující přijímat instrukce ze tří programovacích prostředí (ECT, Motion Designer a SimPL). Pro testovací zařízení doporučují při realizaci použít programovatelný jazyk PL2 který pracuje v prog. prostředí ECT. PL2 je navržen pro aplikace, které potřebují řídit polohu a natočení servomotoru.

Kroky testovacího programu pro zkoušku krutem, nainstalovaného do servozesilovače, jsou rozděleny následovně:

Po spuštění testovacího programu dá servozesilovač příkaz servomotoru k natočení hřídele čímž dojde k natočení termoregulační hlavice do maximální polohy (otevřený ventil). Servomotor začne točit směrem doleva. Jakmile termoregulační hlavice dosáhne maximální hodnoty, na vstupu analogového IO vstupu servozesilovače se objeví hodnota naměřena tenzometrickou hlavici odpovídající 8 Nm, tím program zjistí, že termoregulační hlavice je v max. poloze a vypne servomotor. Po uplynutí 22 minut potřebných pro ustálení tepelného stavu program spustí servomotor. Servomotor se začne točit doprava a tím nastaví termoregulační hlavici do minimální polohy (zavřený ventil). Jakmile hlavice dosáhne minimální hodnoty, na analogovém IO vstupu bude opět hodnota odpovídající krouticímu momentu 8 Nm naměřená tenzometrickou hlavici. Program spustí odpočet 30 sekund a po tuto dobu bude servomotor působit na hlavici krouticím momentem 8 Nm. Po uplynutí těchto třiceti sekund program vydá příkaz servomotoru ke změně otáčení směrem doleva. Tím začne natáčet hlavici do max. polohy. Po dosažení krajní polohy (otevření ventilu) spustí program

odpočet a po dobu 30 sekund bude servomotor působit na ventil kroutícím momentem 8 Nm. Po uplynutí nastavených třiceti sekund program vypne servomotor a ukončí testování.

Tab. 5.3 Popisy vstupů a výstupů servozsilovače DMC2 typ 50412P [7]

TYP	POČET	SPECIFIKACE	FUNKCE
Digitální vstupy	10	24 VDC	Programovatelné digitální vstupy pro všeobecné použití
Digitální výstupy	6	24 VDC, 100Ma	Programovatelné digitální výstupy pro všeobecné použití
Analogové I/O	2+2	+/- 10V,12 bitu	Programovatelné analog. I/O pro všeobecné použití
Roserver – vstupy	2	vnitřní napájení	Vstup pro resolver na motoru a externí resolver
Roserver – výstupy	1	4kHz, 150 mA	Napájení pro resolver
Enable	1	24 VDC	Odblokování výkonového mostu
Ready relé	1	24 VDC / 2A	Indukce poruchy
Brake relé	1	24 VDC / 250V, 2A	Programovatelné relé, pro brzdu
CAN -BUS	1		DMC LAN – programovatelný řadič CAN
Rychlý vstup	1	24 VDC	Čas registrace
Programové řádky	8192		Pro uživatelský program a pohybové profily
Registry	4096		Pro ukládání dat a profilů při běhu programu
Servisní kanál	2	RS 232, RS 422	Pro nahrávání a editaci programu (300 – 19200 bps)
Vstup pro termostat	2		Ochrana motoru
Karta rozšíření CAN			
CAN - BUS	1	Oddělený vstup	Řadič CAN podle standardu CANopen CiA301
Měřicí vstup	1	+/- 50mV	Analogový vstup (tenzometry)
SinCos	1*	1Vpp/EnDat	Vstup pro SinCos s rozhraním EnDat
IRC	1*		Vstup pro inkrementální snímač

Poznámka: * v jedné aplikaci lze použít pouze jeden z těchto vstupů

Tab. 5.4 Charakteristické vlastnosti servozesilovače DMC2 typ 50412P [7]

TYP	50412P
Jmenovitý proud A_{ef}	3
Maximální proud A_{ef}	8,5
Napájecí napětí VDC	-
Napájecí napětí VAC	400
Napájení log. Obvodů 24 V	24 V
Šířka (A) mm	76
Hloubka mm	223

5.2 Snímače krouticího momentu (momentu síly)

Snímače pro měření krouticích momentů jsou užívány v mnoha odvětvích průmyslu a výzkumu. Slouží pro trvalé sledování výrobních procesů, pohonů, manipulátorů, testovací stavy, ověřování pracovních nástrojů, k ověřování točivých strojů atd.

Snímače momentu síly se dělí na dvě hlavní skupiny: snímače pro měření na otáčející se sestavě a snímače pro pevné uchycení v aplikacích.

Snímače spadající do první skupiny užívají pro přenos z rotující části kroužkové sběrače nebo bezkontaktní telemetrii.

Snímače spadající do druhé skupiny bývají nejčastěji opatřeny odnímatelným kabelem. Snímače se dodávají s patřičným kalibračním listem. Pro zpracování signálu momentu síly a otáček je k dispozici řada měřicích zesilovačů a softwaru. [8]

KRITÉRIA PRO VOLBU SNÍMAČE:

Hlavním rozhodujícím kritériem pro výběr je použití na rotační nebo pevnou aplikaci. Další z parametrů pro výběr je maximální měřený moment síly, přesnost měření, maximální otáčky, vestavné rozměry a vliv vedlejších sil a ohybových momentů.

Pro konstrukci jsem použil snímače krouticího momentu od firmy HBM. Tyto snímače jsem vybral pro jejich spolehlivost, přesnost a velkou životnost.

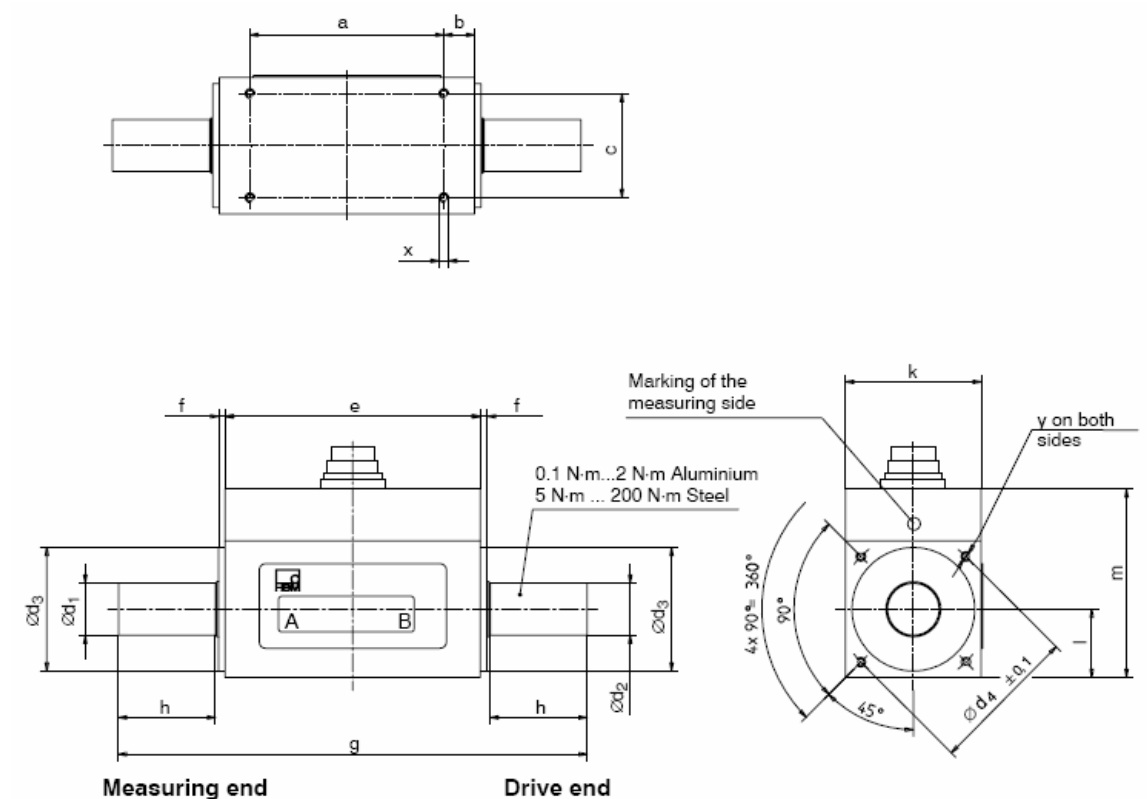
Na svoji aplikaci jsem použil konkrétní typ snímače T20WN od firmy HBM, který pracuje v měřicím rozsahu 0-10 Nm potřebném pro testování.

SPECIFIKACE TENZOMETRICKÁ HLAVICE T20WN

- Rozsahy: od 0,1 Nm do 200 Nm
- Třída přesnosti: 0,2 %
- Max. otáčky: 10.000 min⁻¹
- Krytí: IP40
- Výstupní signál: ± 10 V
- Statická přetížitelnost: 200 %
- Měření otáček a směru otáčení
- Měření úhlu natočení
- Option: spojky



Obr. 5.4 Tenzometrická hlavice T20WN [8]



Obr. 5.5 Rozměry termostatické hlavic [8]

Tab. 5.5 Rozměry tenzometrické hlavičky dle krouticího momentu z katalogu od firmy HBM (rozměry jsou uvedeny v milimetrech) [8]

Krouticí moment (N · m)	a	b	c	e±1	f	g	h	k	l	m	∅d1 g6	∅d2 g6	∅d3 -0.1 ±1	∅d4 ±1	X	y
10	60	9,50	32	79	2	145	30	42	21	58	16	16	38	46	M3/6 hloubka	M3/6 hloubka

DYNAMICKY VYVÁŽENÁ SPOJKA

Dynamicky vyvážené spojky slouží k odstranění nežádoucích sil. Tenzometrická hlavice musí být upnuta tak, aby na snímač krouticího momentu nepůsobily jakékoliv vnější síly (axiální a radiální pnutí), které mohou zkreslit výsledné naměřené hodnoty.

Tyto vyvažovací spojky musí být umístěny na obou koncích hřídele tenzometrického snímače T20WN.

Ke zvolenému snímači krouticího momentu jsem od stejné firmy použil i vyvažovací spojky pro jejich kompaktnost.

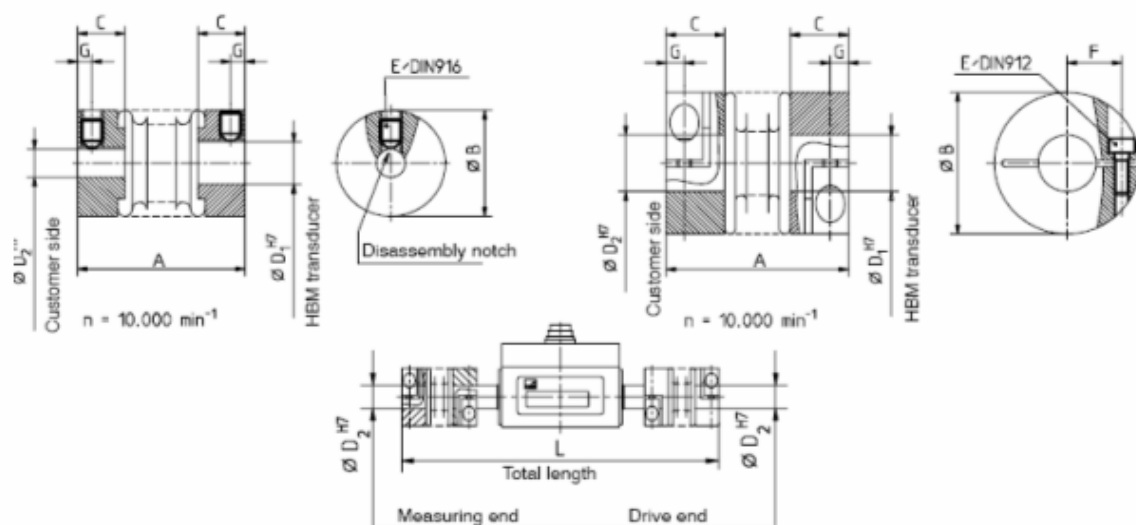
Na svoji aplikaci jsem použil konkrétní typ spojky 3-4412.0004.



Obr. 5.6 Dynamicky vyvážená spojka [8]

Tab. 5.6 Rozměry dynamicky vyvážené spojky z katalogu od firmy HBM [8]

Kroucí moment	Typ	Rozměry v mm									
		A	ØB	C	ØD1		ØD2	E	F	G	L
10 Nm	3-4412.0004	50-1	40	16	16	16	5-22	M4	15	5	213



Obr. 5.7 Rozměry a uložení dynamicky vyvážených spojek [8]

INSTALACE T20NW

Vstupní hodnoty: Krouticí moment v Nm

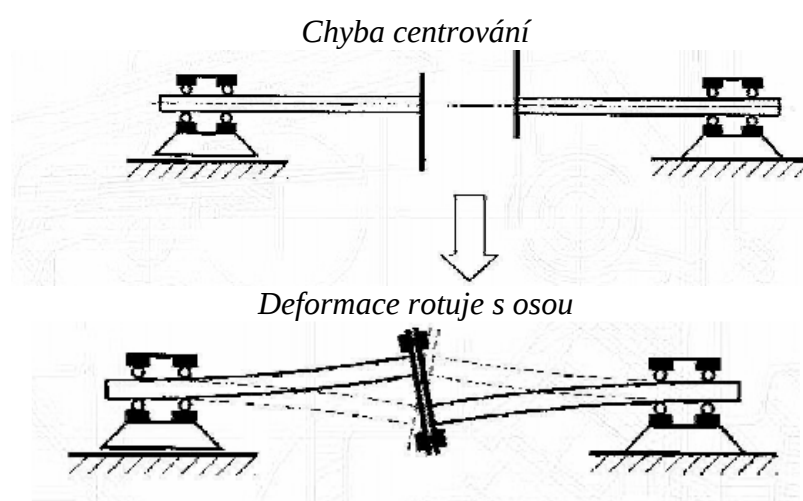
Výstupní hodnoty:

Výstup elektrického převaděče VK20 (mV/V, V, Hz) kalibrace snímače.

Hodnota na displeji vyhodnocovací elektroniky ve výstupních jednotkách elektrického převaděče → kalibrace měřicího řetězce.

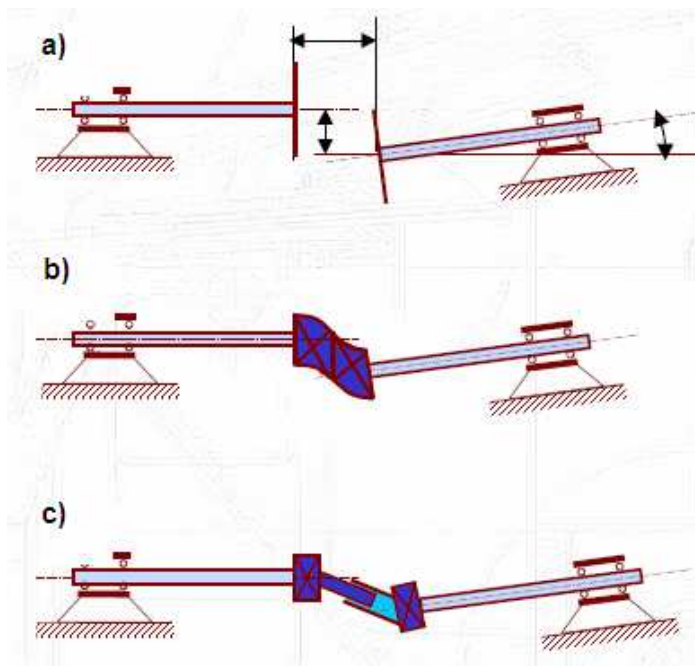
Hodnota na displeji vyhodnocovací elektroniky v jednotkách vstupních veličin (Nm, kg, N)

CHYBY PŘI INSTALACI



Obr. 5.8 Chyby při upevnění tenzometrické hlavice T20WN

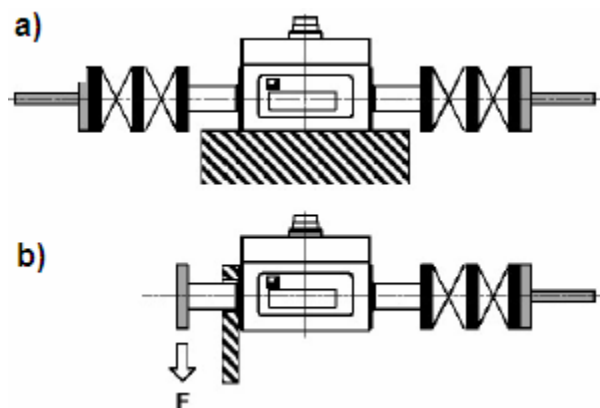
SLOŽENÍ:



Obr. 5.9 Nevhodné uložení tenzometrické hlavičky [8]

- a) Radiální a diagonální výchylky → ohybový moment
Radiální a paralelní výchylky → ohybový moment
Axiální výchylky (prodloužení nebo stažení) → Ohybový moment, axiální síla
- b) Kompenzace dvojitým kloubním propojením
- c) Kompenzace kloubovou osou

TYPY UCHYCENÍ TENZOMETRICKÉ HLAVICE T20WN



a) připevnění základny mezi dvěma úplnými propojeními

b) úplné propojení napravo a s řemenovým pohonem nalevo

Obr. 5.10 Typy uchycení T20WN [8]

Pro svoji aplikaci jsem použil uchycení znázorněné na obrázku 5.10 (a). Hlavičky je uchycena čtyřmi šrouby M 3 na držáku, který je k tomuto účelu přímo navržený.



Obr. 5.11 Pohled na tenzometrickou hlavici opatřenou Option spojkami [8]

SVORKOVACÍ (KALIBRAČNÍ) SKŘÍŇKA VK20

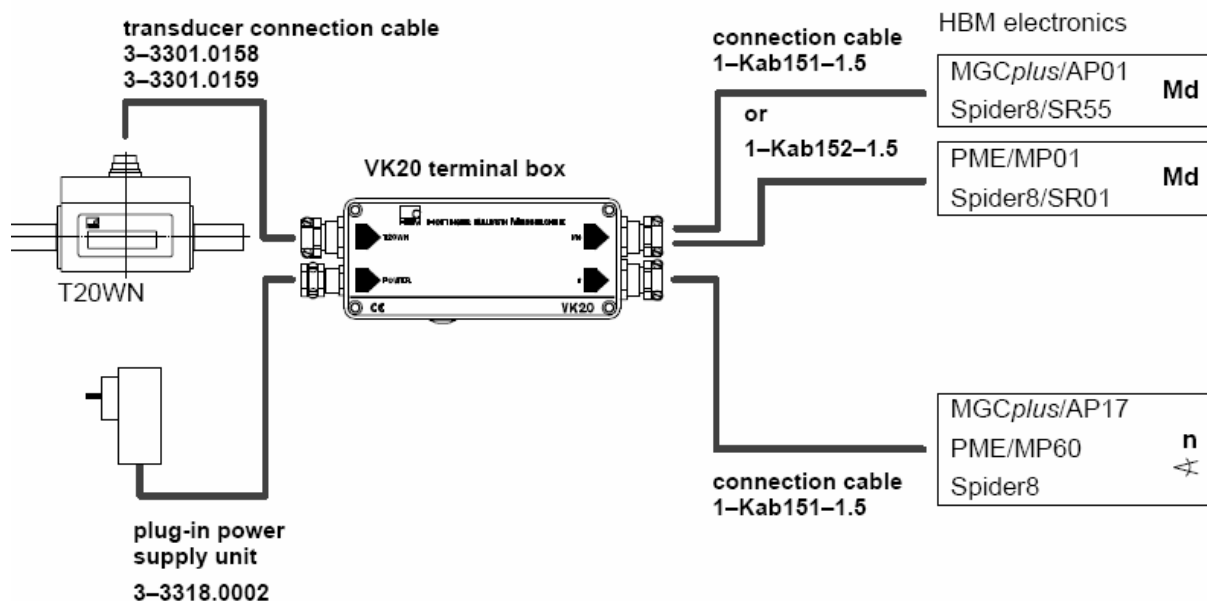
Skříňka VK20 slouží k propojení tenzometrického snímače a měřicího zařízení, které vyhodnocuje údaje naměřené na snímači. Dále slouží k ochraně tenzometrické hlavice před přepětím vznikajícím na zdroji. Skříň VK 20 dále obsahuje filtry a kalibrační část. Bez této kalibrační skříňky by tenzometrická hlavice neměla být používána z důvodu snížení přesnosti měření a ochrany proti přepětím na zdroji.

Tenzometrická hlavice měří kroutící moment, úhel natočení a otáčky. Pro naši aplikaci je důležitým (měřeným) parametrem kroutící moment.

Pro měření výstupních hodnot z tenzometrické hlavice se pro kroutící moment používají následující měřicí přístroje např. Spider 8/SR01 nebo SR55, MG Cplus/AP01. Dá se použít i přesný voltmetr vzhledem k tomu že na svorkách skříňky se měří napětí ± 10 V. Pro testovací zařízení bude pro měření výstupních hodnot z tenzometrické hlavice použit analogový IO vstup servozesilovače 50412P, který měří v potřebném rozsahu ± 10 V. Všechny typy těchto měřících zařízení, musí být správně nastaveny (kalibrovány) pomocí kalibrační skříňky VK20.

POSTUP KALIBRACE MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ POMOCÍ SKŘÍŇKY VK20

- 1) Ke svorkám skříňky VK20 připojíme měřicí přístroje a připojíme napájecí zdroj.
- 2) Následně připojíme kabel od tenzometrické hlavice T20WN.
- 3) Zmáčkne kalibrační tlačítko na skříňce VK20. Tím se uvnitř skříňky zkratují svorky a na vstupu měřicího zařízení se objeví 100 % (10V) zatížení tenzometrické hlavice. Tuto hodnotu bereme jako kontrolní. (1 V odpovídá 1 Nm).
- 4) Pro další měření použijeme získaného vztahu mezi napětím a kroutícím momentem. (v našem případě použijeme k měření výstupního napětí tenzometrické hlavice servozesilovač DMC2 - 50412P schopný měření na analogovém vstupu v rozmezí - 10 až 10 V)



Obr. 5.12 Zapojení svorek skřínky VK20 [8]

5.3 Bezpečnostní kluzná spojka

V případě použití jiného typu servomotoru, je při realizaci testovacího zařízení, pro ochranu tenzometrické hlavičky umístěna v sestavě bezpečnostní třecí spojka od firmy R+W COUPLING TECHNOLOGY typové řady SK2 série 15. Rozsah této spojky je 8 – 20 Nm.

Bezpečnostní spojka je umístěna do tohoto zařízení kvůli ochraně tenzometrické hlavičky před poškozením. Poškození by nastalo při zatížení tenzometrické hlavičky vyšším krouticím momentem, než je přípustný. V tomto případě je bezpečnostní spojka vzhledem k velké přetížitelnosti tenzometrické hlavičky nastavena na 15 Nm.

Nastavení bezpečnostní spojky na potřebný krouticí moment se provádí pomocí kalibračních šroubů umístěných na obvodu spojky. V případě že skutečný krouticí moment překročí nastavenou hodnotu, začne spojka prokluzovat a zamezí tak přenosu velkých sil dále do zařízení.

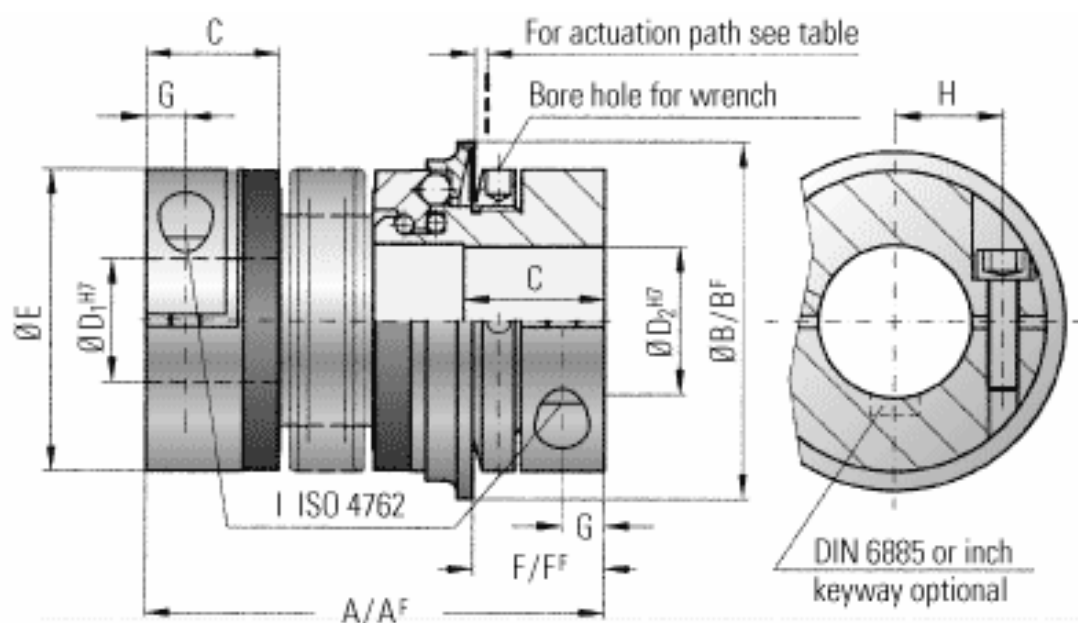
Kritéria pro výběr:

Bezpečnostní spojky se dělí na dvě hlavní skupiny, rozpínací a kluzné (třecí). Výhoda kluzných spojek oproti rozpínacím spojkám spočívá v jejich stálém sepnutí systému a přenosu částečného krouticího momentu i při překročení nastavené hodnoty.

Pro svůj návrh jsem zvolil spojky od firmy R+W pro jejich zástavbové rozměry a přijatelnou cenu.

Vlastnosti bezpečnostní třecí spojky od firmy R+W COUPLING TECHNOLOGY typové řady SK2.

- nízký moment setrvačnosti
- malý zástavbový prostor
- kompenzace pro špatné uložení
- přizpůsobitelné nastavení
- snadno sestavitelná



Obr 5.13 Bezpečnostní spojka SK2 série 15 [9]

Tab. 5.7 parametry série bezpečnostní spojky SK2 [9]

MODEL SK2	SÉRIE		
	10	15	30
Dostupný rozsah Nm	2-6 4-12	5-10 8-20	10-25 20-40
Dostupný rozsah (plné uvolnění) Nm	2-5 5-10	7-15	8-20 16-30
ROZMĚRY (mm)			
A	65 74	75 82	87 95
A ^F	65 74	75 82	87 95
B	45	55	65
B ^F	51.1	62	70
C	16	22	27
D ¹ /D ²	6-20	10-26	12-30
E	40	49	55
F	17	19	24
F ^F	16	19	22
G	5	6.5	7.5
H	15	17	19
I	M4	M5	M6



Obr 5.14 Bezpečnostní spojka SK2 [9]

Materiál: spojka vyrobená z nerezové oceli

Bezpečnostní sekce: vysoce tvrzená ocel

Provedení: s jedním radiálním svíracím šroubem (jádro pro přímé řízení)

Rozsah teplot: od - 30 °C do + 120 °C

Vůle: bez vůle jako výsledek svíracího spojení patentovaného R+W technologií

Životnost: spojení je bez údržbové a má velkou životnost dokud nejsou překročeny limity provozu

Tolerance těsnosti: mezi jádrem a násadkou 0,01- 0,05 mm



Obr. 5.15 Detail kluzné části spojky [9]

MONTÁŽ:

Před montáží se ujistíme, že hřídele nepřesahují limity úhlového natočení předepsaného pro použité spojení. Veškerá potřebná data jsou k dohledání v běžně dostupném katalogu. Kluznou spojku rozpojíme na dvě části. Menší část (hnací) nasuneme na hnací hřídel až do koncové polohy a zde ji zajistíme přitažením šroubu objímky.

Druhou část spojky nasuneme na hnací hřídel a ve správné poloze zajistíme. Obě části spojky přisuneme k sobě tak, aby mezi nimi nevznikala žádná axiální síla. Pomocí momentového klíče dotáhneme seřizovací šroub na požadovanou hodnotu.

DEMONTÁŽ:

Uvolníme svírací šroub. Pokud je to nutné, rozebereme část zařízení, nebo ji jen posuneme v drážkách tak, aby byl dostatek prostoru pro vyjmutí obou částí spojky. Uvolníme šroub z obou objímek a postupně oba kusy stáhneme z hřídele.

5.4 Upínací hlava

FUNKCE:

Upínací hlava slouží k přenosu krouticího momentu v systému ze servomotoru na ventil. Čelist upínací hlavy (dále jen hlava) je navržena tak, aby bylo s její pomocí možné odzkoušet více typů tenzometrických hlavice od různých firem (př. Siemens, Heimaier, Honeywell).

Hlava je konstrukčně navržena ze dvou oddělitelných částí upevněných k sobě pomocí čtyř šroubů. Díky této konstrukci je výměna ventilů nebo výstelek velice jednoduchá a rychlá.

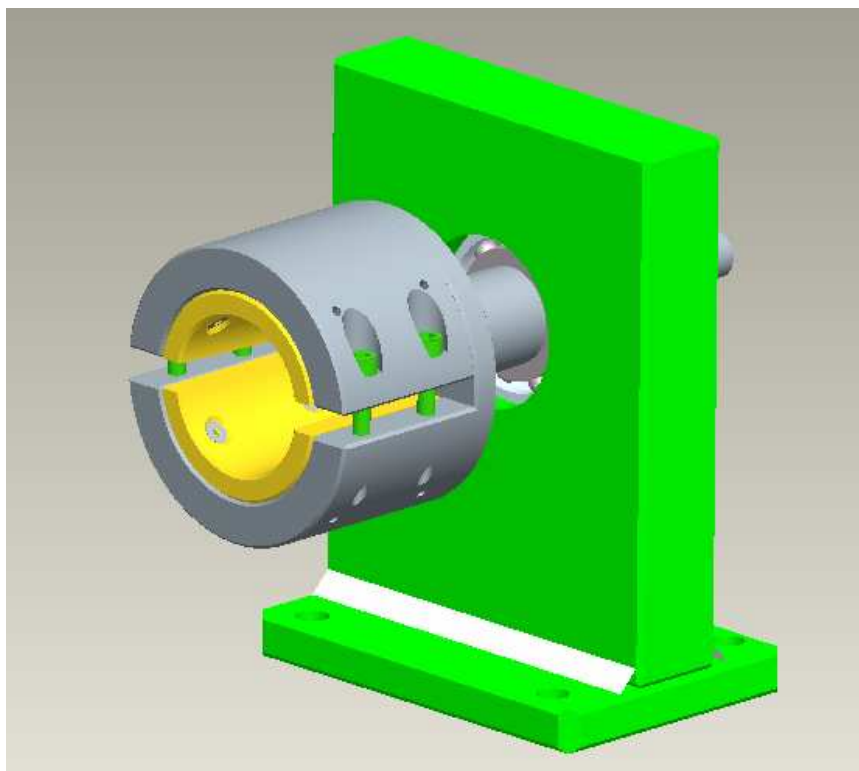
Konstrukce hlavy je opatřena výměnnými výstelkami ze silonu, které lze libovolně obměňovat. Povrch výstelek je možno opatřit vrstvou měkkého materiálu aby nedošlo k poškození upínané hlavice (př. filc nebo jiný druh plsti). Každá z obou výstelek je opatřena otvorem, pomocí kterého se připevní k hlavě použitím šroubů se zápusťnou hlavou velikosti M 5 (př. DIN 7991).

Navržené výstelky rozměrově odpovídají konstrukci termoregulační hlavice od firmy Heimeier.

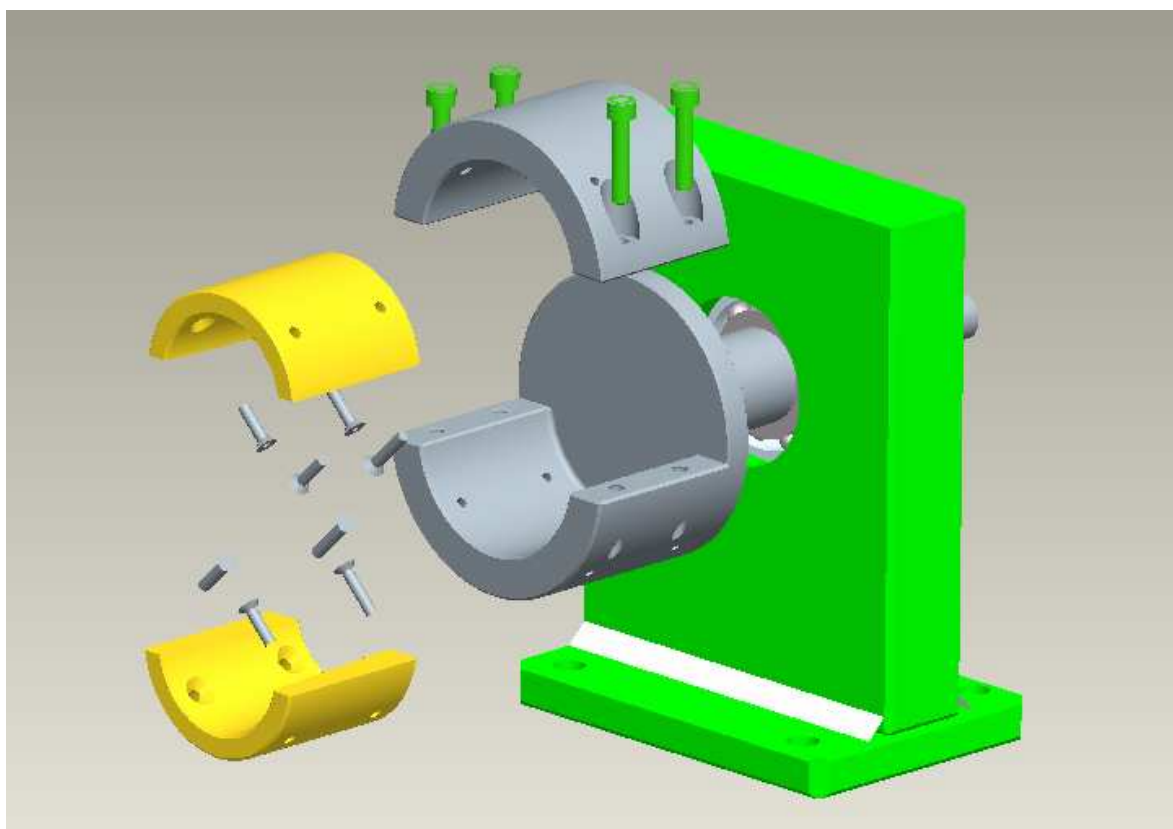
Hlava je opatřena vnitřním průměrem 70 mm, což je limitní průměr pro zkoušené termoregulační hlavice.

Pro samotnou hlavici jsem zvolil materiál uhlíková nelegovaná ocel třídy 12 060. Na výstelku jsem navrhl materiál Silon, pro jeho snadnou obrobitelnost a nízkou hmotnost.

Povrch hlavice bude opatřen nátěrem šedé barvy pro zamezení koroze. Všechny ostré hrany, které by mohly způsobit poranění pracovníků manipulujících se zařízením, jsou opatřeny sražením 2 x 45°.



Obr. 5.16 Pohled na sestavenou upínací hlavu

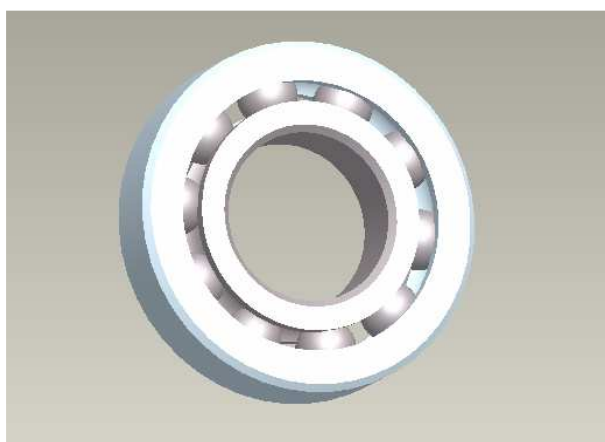


Obr. 5.17 Pohled na jednotlivé díly upínací hlavy

5.5 Kuličková jednořadá ložiska 6206 a 6009

Potřebná velikost ložiska se stanoví na základě několika požadavků, a těmi jsou:

- Působení vnějších sil
- Požadavky na trvanlivost
- Spolehlivost uložení
- Rozměr ložiska v závislosti na průměru hřídele



Obr. 5.18 Kuličkové jednořadá ložisko

Při požadavcích na vysokou přesnost uložení je nutno použít ložisek s vyšším stupněm přesnosti, jako jsou ložiska kuličková a válečková, která se v nejvyšším stupni přesnosti vyrábějí. Pro aplikaci jsem vybral jednořadá kuličkové ložisko.

Protože se rozměr ložiska volí v závislosti na průměru hřídele, může se stát, že méně zatížené ložisko bude i několikrát předimenzované. V některých případech lze volit ložisko menší s nižší únosností nebo naopak větší. Předimenzování se u valivých ložisek nepokládá za výraznou chybu.

Při dynamickém zatížení se zatížené ložisko otáčí, při statickém je ložisko zatíženo v klidu nebo při pomalém pohybu. V prvním případě je pro výpočet rozhodující trvanlivost ložiska, v druhém případě trvalé deformace na funkčních plochách ložiska.

Trvanlivostí ložiska rozumíme počet otáček (nebo dobu chodu v provozních hodinách při dané frekvenci otáčení), které ložisko vykoná, než se objeví první známky únavy materiálu (vydrolení, přidření rozměrová nestálost) na valivých tělesech nebo oběžných drahách. Mezi ložisky stejného typu a velikosti mohou však být velké rozdíly.

VÝPOČET STATICKÉHO ZATÍŽENÍ LOŽISKA

V testovacím zařízení jsem použil dvě ložiska. Typové označení ložisek je 6206 a 6009 dle ČSN 02 4630. Tyto ložiska jsou určena pro přenos radiálního zatížení. Protože zařízení pracuje v klidu nebo jen při nízkých otáčkách, je třeba provádět výpočet pouze na statické zatížení.

Výpočet základní statické únosnosti C_0 6206 (ložisko u upínací hlavy):

$$F_{eo} = X_0 F_r + Y_0 F_a \quad F_a = 0 \text{ Axiální síla blížící se nule.} \quad (5.2)$$

$$F_{eo} = X_0 F_r$$

Hodnota součinitele X_0 u jednořadých kuličkových ložisek platí jen v případě F_{eo} se nerovná F_r ; jinak se pro kontrolu F_{eo} uvažuje $F_{eo} = F_r$.

$$F_r = m \cdot g \quad m \text{ hmotnost hlavičky cca 3 kg} \quad (5.3)$$

$$F_r = 3 \cdot 9,81$$

$$F_r = 29,43 \text{ N}$$

Pro F_a platí $F_{eo} = F_r = 29,43 \text{ N}$

$$\text{Bezpečnost: } C_0 \geq s_0 F_{eo} \Rightarrow s_0 = \frac{C_0}{F_{eo}} = \frac{10000}{29,43} = 338 \quad (5.4)$$

Výpočet základní statické únosnosti C_0 6009 (ložisko u servomotoru):

$$F_r = m \cdot g \quad m \text{ hmotnost hřídele a bezpečnostní spojky cca 1 kg} \quad (5.5)$$

$$F_r = 1 \cdot 9,81$$

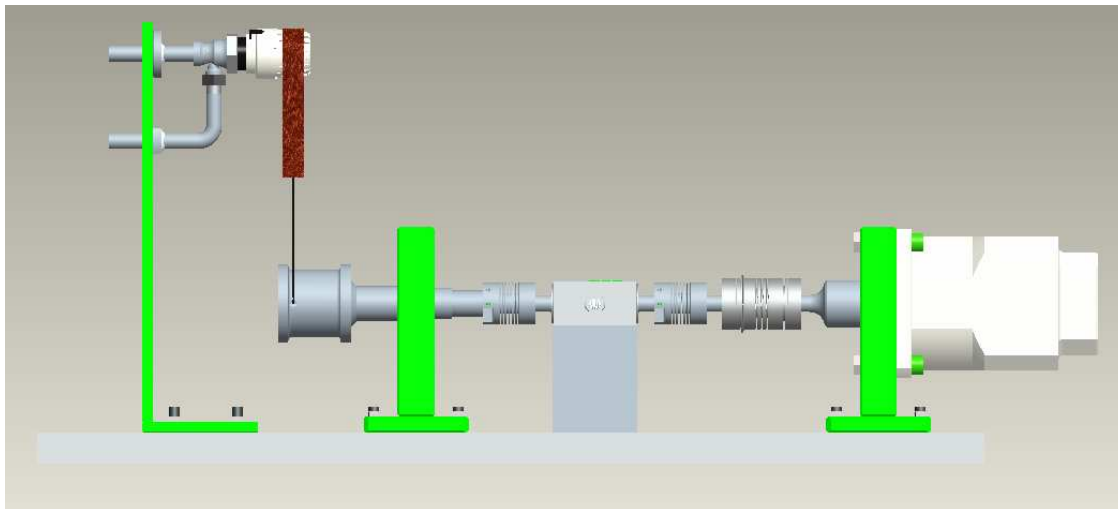
$$F_r = 9,8 \text{ N}$$

Pro F_a platí $F_{eo} = F_r = 9,8 \text{ N}$

$$\text{Bezpečnost: } C_0 \geq s_0 F_{eo} \Rightarrow s_0 = \frac{C_0}{F_{eo}} = \frac{12200}{9,8} = 1245 \quad (5.5)$$

Ložiska jsou mnohonásobně předimenzovaná a to z důvodu rozměru ložisek, které jsou přizpůsobeny na průměry hřídelí.

6 ZAŘÍZENÍ NA TESTOVÁNÍ REGULÁTORŮ TEPLoty PROTI OHYBOVÉMU MOMENTU



Obr. 6.1 Pohled na testovací zařízení na ohyb

POPIS ZAŘÍZENÍ

Přípravek na testování hlavice je navržen tak, aby byly využity v co největší míře již vyrobené součásti. Pro tento druh zkoušky je použito celé pohybové a měřicí ústrojí beze změny. Nově je třeba zhotovit jen držák ventilu, navíjecí hlavu a tažné lanko s popruhem. Přestavba zařízení z původní zkoušky krouticího momentu na ohyb je velice jednoduchá a rychlá. Testování hlavice v tomto zařízení odpovídá příslušné normě EN 215.

NAVÍJECÍ HLAVA:

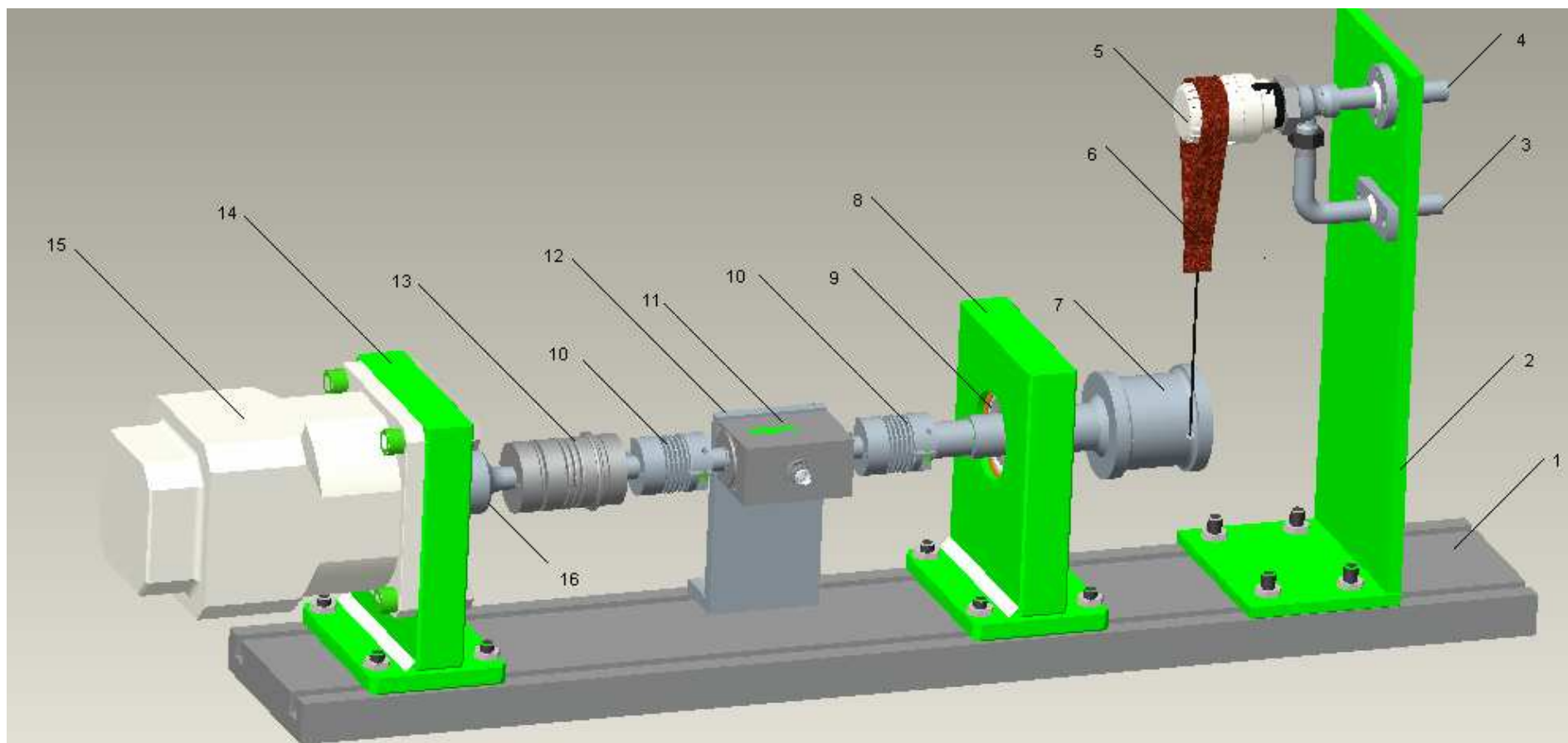
Navíjecí hlava má přesně stanovený vnější průměr bubnu, navržený tak, aby ohybová síla odpovídala požadované síle 250 N, udávané normou EN 215. Navíjecí buben je opatřen po stranách výstupky proti zamezení sklouznutí lanka. Pro jeho uchycení je zhotoven otvor. Zástavbovými rozměry je navíjecí hlava shodná s upínací.

POPRUH:

Popruh je vyroben z 20 mm širokého pruhu nevyčíněné kůže, pryže nebo jiného vhodného elastického materiálu. Tento popruh je umístěn tak, aby síla působila ve vzdálenosti 10mm od nejkrajnější hrany regulátoru. Popruh o vhodné délce je nerozebíratelně spojen lepením sešitím nebo nýtováním. Spoj je opatřen otvorem pro provlečení lanka.

DRŽÁK HLAVICE PRO OHYB

Držák se skládá z několika vzájemně spojených svarků. Základ tvoří dva silnější plechy svařené k sobě v pravém úhlu. Tento základ je opatřen otvory pro uchycení k loži a otvory pro uchycení pomocných armatur. Armatury jsou užity dvě. Obě jsou tvořeny trubkou s navařenou destičkou pro upevnění k základu. Destičky jsou opatřeny průchozími otvory, základní prvek pak drážkami, které umožňují výškovou stavitelnost a výměnu hlavice



Obr. 6.2 Popis jednotlivých dílů testovacího zařízení pro ohyb

1 – Lože, 2 - Držák termoregulační hlavice pro ohyb, 3 – Potrubí 2, 4 - Potrubí 1, 5 - Termoregulační hlavice, 6 - Popruh , 7 – Navíjecí hlava, 8 - Držák (podstava) upínací hlavy, 9 - Ložisko 6206, 10 - Dynamicky vyvážená spojka, 11 - Tenzometrická hlavice T20WN, 12 - Držák hlavice, 13 - Bezpečnostní spojka SK, 14 - Držák servomotoru, 15 - Servomotor TGH4-0780, 16 – Hřídel 1

7 ÚPRAVA VODY PRO TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Ohřev a regulace vody pro testovací zařízení

Test odolnosti termoregulační hlavice vůči krouticímu momentu má probíhat, jak uvádí norma EN 215, při teplotě vody $90\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, proudící skrz tělo ventilu a při venkovním statickém tlaku 100 kPa (1 bar). Proto musíme zajistit ohřev vody v testovacím zařízení tak, aby měla konstantní teplotu po celou dobu testu. Je zřejmé, že bude potřeba regulace pro udržení této stálé teploty. Dále je potřeba docílit toho, aby tlak ve ventilu odpovídal tlaku, jak stanoví norma EN 215. Systém (okruh) pro úpravu vody bude obsahovat typické prvky jako čerpadlo, expanzní nádobu s pojistným ventilem a armatury.

7.1 Komponenty v okruhu pro úpravu vody

Pro ohřev vody jsem použil šroubovací ponorný ohřívač ARTM 3000TH/240 s mosaznou závitovou přípojkou. Pomocí zavitu našroubujeme ohřívač do určeného otvoru nádrže na ohřev. Tento ohřívač pracuje ve škále teplot od 45 °C do 115 °C . Pro náš test ohřívač ARTM 3000TH vyhovuje vzhledem k tomu, že norma EN 215 vyžaduje testovací medium o teplotě $90\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.



Obr. 7.1 Šroubovací ponorný ohřívač ARTM 3000TH/240 [10]

Technické údaje ohřívače:

- Rozsah teplot: od 45 °C do 115 °C
- Výkon ohřívače: 3 kW
- Délka ponorné části: 50 cm
- Napájení: 240 V

Pro snímání teploty jsem použil odporovou teplotní sondu PT100. Tyto sondy Omega jsou určeny pro průmyslové a laboratorní aplikace. Sondy jsou vyráběny ve velké škále typů. Každý typ má své specifické vlastnosti jako například měřicí konce (uzavřený nebo krytý otevřený), přesnosti, délka sondy, materiál přívodních vodičů nebo uchycení snímače. Pro testovací zařízení jsem použil typ snímače se závitovým uchycením pro snadnější umístění snímače do kádinky. Pro izolaci přívodních vodičů se použije silikon, který je vhodný až do teploty 200 °C . [11]



Obr. 7.2 Snímač teploty PT100 s uchycovacím šroubením [11]

Technické údaje snímač teploty PT100:

Rozsah teplot:	od - 100 °C do 400 °C
Provedení:	uzavřený konec (označení M)
Přesnost:	třídy A (označení A)
Průměr sondy:	3 mm (označení 3) pro tlak do 20 bar.
Délka sondy:	5-200 mm
Montáž:	M10x1 (označení M10)

Snímač teploty PT100 vyhovuje vzhledem k tomu, že norma EN 215 vyžaduje testovací medium o teplotě $90\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a tlaku 100 kPa.

Pro kontrolu tlaku tekutiny proudící v těle ventilu jsem vybral tlakoměr DMP 331. Tento snímač je navržen pro měření absolutního a relativního tlaku (přetlak nebo podtlak).

V mém případě snímač tlaku převádí tlak kapaliny na elektrický signál. Hlavní částí snímače je nerezové čidlo tlaku, těsněné v pouzdře O-kroužkem, s přivařenou oddělovací membránou a s oddělovací náplní. V náplni se používá inertní olej. Při měření tlaku má polovodičové čidlo na výstupu signál cca 100 mV při konstantním napájení. Elektronika a čidlo jsou zabudovány do nerezového pouzdra. Konstrukce čidla je uzpůsobena tak, že je čidlo odolné vůči otřesům a rázům. Propojení vyhodnocovací elektroniky a čidla je provedeno kabelem s konektory. Pracovní rozsah této řady tlakoměrů DMP 331 je od -1 do 40 barů. V mém případě bude pracovní rozsah 0 do 1,6 barů (viz. Tab. 7.1). Tlakoměr DMP 331 má za úkol kontrolovat tlak vody proudící skrz tělo úplného termoregulačního ventilu. Tento tlak je předepsaný normou EN 215 a má hodnotu 100 kPa.



Obr. 7.3 Snímač tlaku DMP 331 [12]

Tab. 7.1 Rozsah snímače tlaku DMP 331 [12]

Rozsahy tlaku																
Jmenovitý tlak rel.	[bar]	-1...0	0,10	0,16	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
Jmenovitý tlak abs.	[bar]	-	0,10	0,16	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
Max.možné přetížení	[bar]	3	1	1	1	1	3	3	6	6	20	20	60	60	60	100

Další parametry tlakového snímače DMP331 :

Rozsah:	0 - 160 kPa (viz. Tab. 7.1)
Přesnost:	0,35 %, 0,25 %
Reakční čas:	ve vodě 0,2 m/s, 6 mm
Použití:	kapaliny, plyny nebo páry
Měřicí princip:	piezorezistivní
Teplota okolí:	od - 25 do + 85 °C
Teplota měřeného media:	od - 25 do + 125 °C
Výstup:	proudový 4 až 20 mA (dvouvodič)
Napájecí napětí:	UN = 12 až 36 V _{DC} (dvouvodič)
Zatěžovací odpor:	$R_{\max} = [(UN - UN_{\min}) / 0,02] \Omega$ (dvouvodič,proud)
Mechanická odolnost:	vibrace 10RMS (20 až 2000 Hz) rázy 100 g / 11 ms
Přesnost:	jmenovitý tlak $\leq 0,16$ bar: $\leq \pm 0,10$ % FSO
Stabilita:	$\leq \pm 0,1$ % HMR / rok
Rychlost odezvy:	< 5 ms
Vliv zatěžovacího odporu:	$\leq 0,05$ % HMR / k Ω
Vliv napájecího napětí:	$\leq \pm 0,05\%$ HMR / 10V

Další parametry snímače lze dohledat v katalogu od firmy JSP. [12]

Pro regulaci ponorného ohřívače ARTM 3000TH jsem použil procesní a teplotní PID regulátor Cni822 od firmy Omega. Jedná se o 1/8 DIN velmi výkonný panelový měřicí přístroj s čtyřmístným LED displejem s programovatelnou změnou barvy. Výběr regulátoru se řídí těmito podmínkami:

- Rozsah pracovních teploty
- Typ vstupního snímače (termočlánek, odporový teploměr)
- Potřebný řídicí algoritmus (zap./vyp., proporcionální, PID)
- Požadovaný typ výstupu (analogový výstup, elektrické relé, SSR)
- Počet a typ výstupů

Pro tento typ regulátoru jsem se rozhodl vzhledem k jeho vlastnostem.

Technické údaje regulátoru:

Vysoká přesnost:	$\pm 0,5$ °C, 0,03 % měřené hodnoty
Teplotní stabilita:	$\pm 0,04$ °C / °C pro odporové teploměry
Teplotní stabilita:	$\pm 0,05$ °C / °C pro termočlánky
Univerzální vstupy:	PT100, termočlánek, procesní signály napětí/proud
Vstup. napěťové rozsahy:	0-100 mV, 0-1 V, 0-10 V VDC
Vstup. proudové rozsahy:	0-20 mA, 4-20 mA
Napájení snímače:	24 V při 25 mA

PID regulátor CNi822 má vyšší teplotní stabilitu ($\pm 0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$) než požaduje norma EN215 ($\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Obr. 7.4 PID regulátor CNi822 [13]

Funkce regulátoru v okruhu:

Regulace teploty je zajištěna pomocí regulátoru, který má na vstupu připojený snímač teploty PT100 a na výstupu z regulátoru je připojen ohřívač ARTM 3000TH. Regulátor má za úkol porovnávat teplotu v kádince s teplotou požadovanou.

Ze tří typů regulací (zap./vyp., proporcionální, PID), které regulátor umožňuje, jsem vybral regulaci proporcionální.

Tato proporcionální regulace, na rozdíl od regulace zap./vyp., má výhodu v tom, že částečně zamezuje cyklování. Tímto omezením cyklování vzniká úspora energie tak, že při přiblížení teploty k teplotě požadované je ohřívač pomalu vypnut. Při tomto pomalém vypnutí ohřívače v kádince teplota vody nepřekročí žádanou teplotu, ale dosáhne jí, a dále je teplota udržována stabilně.

U proporcionální regulace je takzvané pásmo proporcionality, které se nachází v okolí požadované teploty. Proporcionální proměnnou pro regulaci je poměr času sepnutí k času vypnutí. Nad pásmem proporcionality má regulátor výstup vypnutý (nedochází k ohřevu vody, ohřívač je vypnut). Pod pásmem proporcionality je výstup z regulátoru sepnutý (ohřev vody, ohřívač je zapnutý). V pásmu proporcionality je podíl spínání a vypínání úměrný rozdílu teploty naměřené a teploty požadované. [13]

Oběhové čerpadlo

Pro cirkulaci vody v okruhu jsem použil teplovodní oběhové čerpadlo od firmy Grundfos typ UPS 25-40. Toto čerpadlo umožňuje plynulou regulaci otáček. Čerpadlo bude řízeno frekvenčním měničem, který zajistí plynulou regulaci čerpadla (rychlost průtoku). Jedná se o základní typ čerpadla, který je pro naše potřeby dostačující.



Obr. 7.5 Oběhové čerpadlo [14]

Technické parametry čerpadla:

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| • Průtok | max. 10 m ³ /h |
| • Dopravní výška | max. 4 m |
| • Teplota čerpané kapaliny | -25 °C až +110 °C |
| • Max. provozní tlak | 10 barů |
| • Hmotnost | 2,6 kg |
| • Napětí/frekvence | 1 x 230V/50Hz |

Před prvním spuštěním je nutné nejdříve odvzdušnit testovací okruh a teprve potom odvzdušnit prostor čerpadla pomocí odvzdušňovací zátky. Důležité pravidlo při instalaci čerpadla je, aby hřídel čerpadla byla vždy instalována vodorovně. Dále je důležité dodržovat minimální tlak na sací straně. Při teplotě 90 °C je to 0,3 baru. [14]

Expanzní nádrž s pojistným ventilem

Do okruhu jsem vybral expanzní nádobu B8 od firmy Dukla Trutnov.



Obr. 7.6 Expanzní nádoba B8 s pojistným ventilem [15]

Tlaková expanzní nádoba slouží k zabezpečení okruhu a pracuje na termostatickém principu. Expanzní nádrže se rozdělují na expanzní nádrže s pevnou membránou nebo s vyměnitelnou membránou.

Expanzní nádrž, kterou jsem použil v okruhu, je sestavena ze dvou ocelových nádob. Tyto nádoby jsou následně při výrobě k sobě svařeny. Prostor expanzní nádoby je uprostřed rozdělen pryžovou membránou. Na straně návarku je voda a na straně ventilu je stlačený plyn. Při správném tlaku plynového polštáře je umožněno plynulé přenášení tlaku v otopné soustavě přes membránu na tlakový plynový polštář. Důležitým parametrem je maximální dovolený pracovní tlak a udává se v barech. [15]

Funkce expanzní nádoby v okruhu:

- vyrovnání změn roztažnosti vody okruhu bez její ztráty
- v okruhu udržuje přetlak v nastaveném rozsahu
- zajišťuje doplňování vody při netěsnosti soustavy a přitom nevyvolává velkou ztrátu pracovního tlaku
- udržuje optimální podmínky pro rozvod tepla (bezztrátový rozvod)

Tlakové expanzní nádoby jsou dodávány s konstantně nastaveným tlakem plynové části. Po umístění expanzní nádoby do okruhu se nastaví tato část na potřebný provozní tlak.

Technické údaje expanzní nádoby:

Max. přetlak:	3 bar (300 kPa)
Max. provozní teplota:	110 °C
Min pracovní tlak:	0,5 bar
Objem:	8 litrů
Hmotnost:	4,8 kg

Expanzní potrubí musí být dimenzováno tak, aby hydraulický odpor nedosáhl otevíracího tlaku pojistné armatury. Pro tuto možnost jsem provedl výpočet.

Výpočet tlakové membránové expanzní nádoby:

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_o \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} \quad (7.1)$$

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_o \cdot 0,3553 \cdot \frac{1}{0,7254} = 1,3 \cdot 9,7639 \cdot 0,03553 \cdot \frac{1}{0,7254} = 0,622 \text{ l}$$

Vzhledem k tomu, že se expanzní nádoby o takto malém objemu nevyrábí. Vybral jsem nejbližší větší expanzní nádobu s objemem 8 litrů dostupnou na trhu.

kde: n součinitel zvětšení objemu [-] (viz. tabulka 7.1)
 V_o objem vody v celé otopné soustavě [l]
 V_{et} objem expanzní tlakové nádoby [l]
 η stupeň využití expanzní nádoby [-]

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,A}}{p_{h,dov,A}} \quad (7.2)$$

$$\eta = \frac{400 - 109,81}{400} = 0,7254$$

kde: $p_{d,A}$ hydrostatický absolutní tlak [kPa]
 $p_{h,dov,A}$ nejvyšší dovolený absolutní tlak = otevírací absolutní tlak pojistného ventilu [kPa]

Do vzorce pro výpočet se musí dosazovat v absolutních tlacích, tj. přetlak + barometrický tlak.

$$p_{d,A} = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_B \quad (7.3)$$

$$p_{d,A} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot 10^{-3} + 100 = 109,81 \text{ kPa}$$

kde: g tíhové zrychlení = 9,81 m/s²
 ρ hustota vody = 1000 kg/m³
 p_B barometrický tlak = 100 kPa
 h výška vodního sloupce nad expanzní nádobou [m]

Tab. 7.2 Součinitel zvětšení objemu [16]

$\Delta t = t_{max} - 10$ [K]	20	30	40	45	50	55	60	65	70
n [-]	0,00401	0,00749	0,01169	0,01413	0,01672	0,01949	0,02243	0,02551	0,02863
$\Delta t = t_{max} - 10$ [K]	75	<u>80</u>	85	90	95	100	105	110	115
n [-]	0,03198	<u>0,03553</u>	0,03916	0,04313	0,04704	0,05112	0,05529	0,05991	0,06435

Výpočet pojistného ventilu GIACOMINI 1/2"

Průřez sedla pojistného ventilu vypočítáme pomocí vztahu:

$$S_0 = \frac{2 \cdot Q_p}{\alpha_w \cdot \sqrt{p_{ot}}} \quad (7.4)$$

$$S_0 = \frac{2 \cdot 3}{0,64 \cdot \sqrt{300}} = 0,54127 \text{ mm}^2$$

Jmenovitý výkon zdroje tepla:

$$Q_p = Q_n$$

$$Q_p = 3 \text{ kW}$$

Kde

α_w	výkonový součinitel	[-]
Q_n	jmenovitý výkon zdroje tepla	[kW]
p_{ot}	otevírací přetlak pojistného ventilu	[kPa]
S_0	vypočtený minimální průřez sedla pojistného ventilu	[mm ²]

1/2"

...navržený pojistný ventil

$$S_0 = 201 \text{ mm}^2$$

...skutečný průřez sedla navrženého pojistného ventilu

$$d_1 = 11 \text{ mm}$$

...minimální vnitřní průměr vstupního pojistného potrubí

$$d_2 = 11 \text{ mm}$$

...minimální vnitřní průměr výstupního pojistného potrubí

Vnitřní průměr pojistného potrubí:

$$d_p \quad \text{pro případ kdy dochází k vývinu páry} \quad [\text{mm}]$$

$$d_p = 15 + 1,4 \cdot \sqrt{Q_p} \quad (7.5)$$

$$d_p = 15 + 1,4 \cdot \sqrt{3} = 17,4248 \text{ mm}$$

$$d_v \quad \text{pro případ kdy nemůže dojít k vývinu páry} \quad [\text{mm}]$$

$$d_v = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{Q_p} \quad (7.6)$$

$$d_v = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{3} = 11,0393 \text{ mm}$$

Redukční ventil

S ohledem k tomu, že okruh (na úpravu vody) je o hodně kratší než standardní otopné soustavy, je nutné upravovat tlak v okruhu pomocí redukčního ventilu. Pomocí tohoto ventilu upravíme tlak vody tak, aby přes tělo ventilu proudila voda o tlaku 100 kPa jak požaduje norma EN 215. Do vodního okruhu jsem vybral redukční ventil od firmy Gerhard Götze KG.

Technické parametry redukčního ventilu:

Výstupní tlak:	1 až 7 barů
Max. provozní teplota:	95 °C
Max. vstupní tlak:	25 bar
Připojení:	závitové, DN 15
Materiál:	bronz



Obr. 7.7 Redukční ventil [17]

Kulový kohout TA400**Funkce:**

Kohout uzavírá pracovní látku pomocí rotačního pohybu koule kolem svislé osy. Těsnost je zajištěna statickým těsněním mezi koulí a tělesem a ucpávkou vřetene.

Armatura není určena k regulaci hmotnostního průtoku topné vody. Plní pouze funkci otevření a uzavírání průtoku vody.



Obr. 7.8 Kulový kohout TA 400 [18]

Technické parametry kohout TA 400:

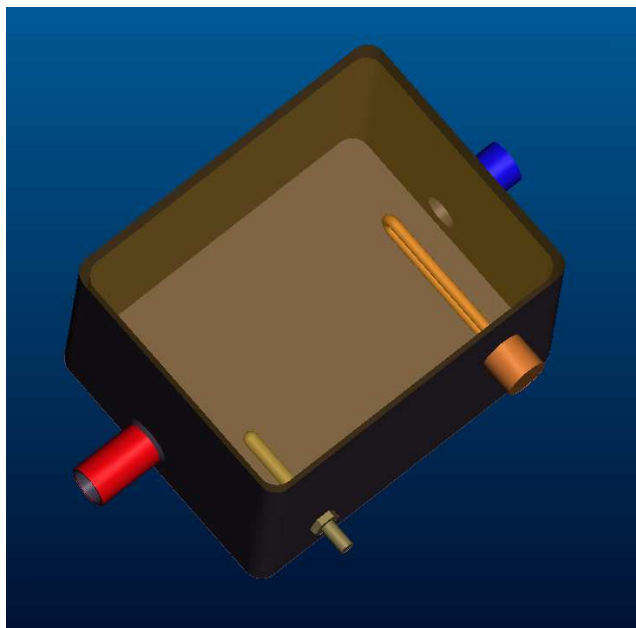
- Použití: v otopných a chladicích zařízeních
- Trubkový závit: G 1/2
- Funkce: uzavírání / otevírání
- Materiál: chromová ocel
- Teplota: maximální provozní teplota 100 °C,

Montáž: kohout je nutné před zabudováním řádně zkontrolovat a především se ujistit, že závity na kohoutu a na trubce jsou rozměrově kompatibilní. Do potrubí lze kohout namontovat v libovolné poloze.

V tělese kulového kohoutu je kulový uzavírací element s průtočným otvorem těsněný dvěma teflonovými kroužky, které jsou z vnějšku dotaženy kruhovou maticí. Uzavírání kulového kohoutu se provádí natáčením ovládacího elementu. Kulový kohout je dodáván v kompletu s přesuvnou maticí s těsnicím kroužkem. [18]

Nadrž na ohřev

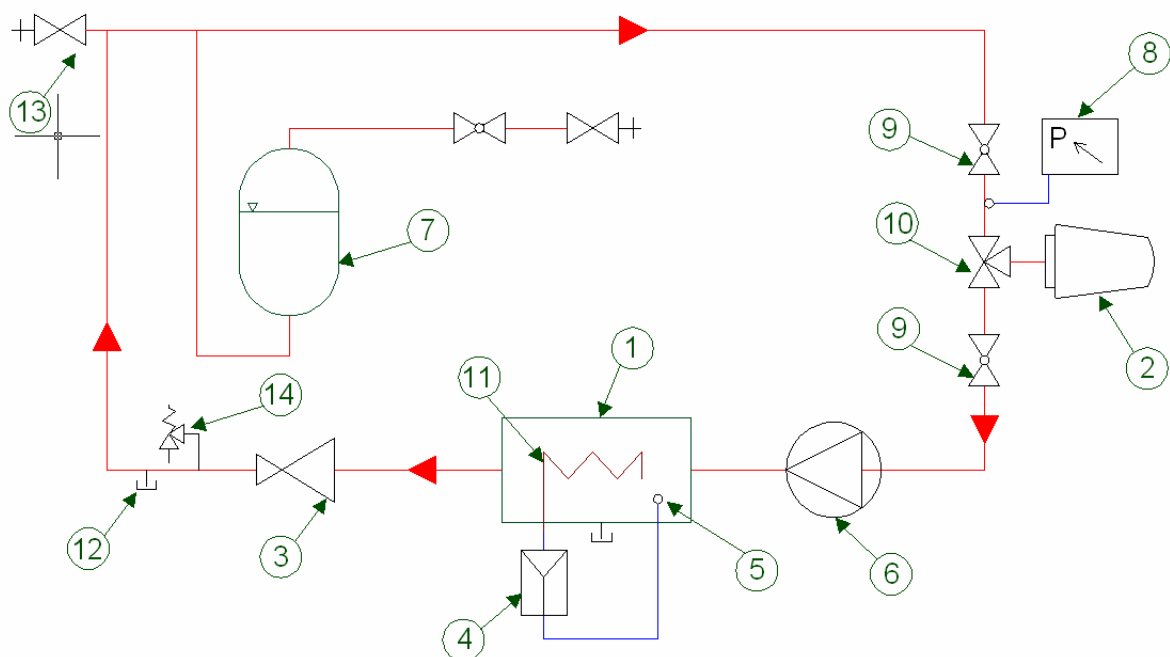
Na obrázku 7.9 je modře znázorněn přívod vody a červeně označen odvod vody. Dále jsou na obrázku znázorněny zařízení pro ohřev a snímání teploty. Tato zařízení jsou do nádrže připevněna pomocí závitového spoje s těsněním. Nádrž bude opatřena poklopem, který bude napevno přivařen k nádrži. Tím docílíme těsnosti nádrže, tak aby udržela potřebný přetlak v okruhu.



Obr. 7.9 Hrubé nastínění nádoby na ohřev

7.2 Schéma vodního okruhu

Na schématu je červeně vyznačen jednotrubkový okruh s nuceným oběhem, kterým proudí upravovaná voda. Trubky jsem navrhl měděné DN 15. Dále jsou v okruhu zabudovány prvky jako kolena, příruby, pojistné, kulové uzavírací a vypouštěcí ventily, kompenzátory a jiné typy armatur. Okruh jsem navrhl tak, aby zajistil potřebné vlastnosti, které jsou požadovány normou EN 215. Okruh je navržen jako uzavřený tlakovodní okruh a před testováním se musí natlakovat a odvzdušnit.



Obr. 7.10 Stručné schéma vodního okruhu

Legenda k obr. 7.10:

1. Zásobní nádrž
2. Termoregulační hlavice Heimeier
3. Redukční ventil od firmy Gerhard Götze KG
4. Teplotní PID regulátor Cni od firmy Omega.
5. Teplotní sonda Pt100
6. Čerpadlo od firmy Grundfos typ UPS 25-40
7. Expanzní nádrž B8 od firmy Dukla Trutnov
8. Snímač tlaku DMP 331
9. Kohout TA400
10. Termoregulační ventil
11. Ponorný ohřívač ARTM 3000TH
12. Vypouštěcí ventil VK15
13. Odvzdušňovací ventil
14. 1 x pojistný ventil GIACOMINI ½"

8 PŘIPOJENÍ ZDROJE VODY K TESTOVACÍMU ZAŘÍZENÍ

Upravená voda potřebná pro provedení testu termoregulačních hlavice je přivedena z okruhu pro úpravu vody do testovacího zařízení pomocí flexibilních průmyslových připojovacích hadic, propojujících obě zařízení pomocí trubkových závitů G1/2. Tyto hadice jsem vybral z důvodu časté manipulace s držákem hlavice při výměně termohlavice. Uzavírání okruhu na úpravu vody je provedeno pomocí dvou uzavíracích kulových kohoutů TA400. [19]

Pro toto propojení jsem vybral flexi hadici nerez IVAR. 2510 od firmy IVAR.



Obr. 8.1 Flexi hadici nerez IVAR. 2510 a těsnění 6017 [19]

Technické údaje: flexi hadici nerez IVAR. 2510

Závit:	vnitřní- vnitřní
Trubkový závit:	G 1/2
Délka hadice:	L= 1 m
Materiál:	z nerezavějící oceli
Maximální provozní teplota:	110 °C
Maximální provozní tlak:	PN10 (10 Barů)

Tyto hadice pro správnou funkci vyžadují těsnění typ 6017 dodávané k hadici firmou IVAR.

9 POSTUP ZKOUŠKY – TESTOVÁNÍ NA KRUT:

Před započítím testování je potřeba rukou odzkoušet funkčnost zařízení, zda nejsou poškozena ložiska a zda se rotor servomotoru volně otáčí.

Celé zařízení je vhodné zbavit nečistot a v případě potřeby promazat obě ložiska. Taktéž je nutná vizuální kontrola těsnosti hydraulické části zařízení, v případě prolínání tekutiny je potřeba vyměnit těsnění tak, aby se kapalina v žádném případě nedostala do snímací a měřicí elektroniky. Překontrolujeme dotažení veškerých šroubů a ustavení hřidelů.

Podle testovaného typu termostatické hlavice zvolíme příslušné silonové výstelky. Vymontujeme čtyři šrouby upínací hlavy a vyměníme příslušné výstelky.

Povolíme šrouby upevňující držák hlavice a přesuneme jej do nejzazší polohy. Pomocí převlečených matic upevníme měřenou termohlavici.

Přisuneme držák k upínací hlavici tak, aby termohlavice těsně doléhala na výstelku. Umístíme na termohlavici protilehlý kus a připevníme ho pomocí čtyř šroubů. Dotáhneme upevňovací šrouby držáku hlavice.

Dále se ujistíme, zda je připojen přepojovací kabel snímače tenzometrické hlavice a pomocí kalibrační skříňky VK 20 nakalibrujeme IO svorky servozesilovače (100% zatížení hlavice = 10V na IO vstupu servozesilovače). Dále se ujistíme, že měřicí software zaznamenává naměřené hodnoty z tenzometrické hlavice.

Pokud tak ještě není učiněno, k zařízení připevníme hadice přívodu zkušebního média.

Otevřením dvou kohoutů TA 400 začne ventilem termostatické hlavice protékat zkušební médium (voda) o teplotě $90\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a statickém tlaku 100 kPa. Systém natlakujeme a odvzdušníme.

Spustíme testovací program nainstalovaný v servozesilovači. Servozesilovač zaznamenává hodnoty naměřené tenzometrickou hlavici T20WN během celého testu.

Servomotor nastaví termohlavici do polohy pro maximální průtok (servomotor se bude otáčet doleva).

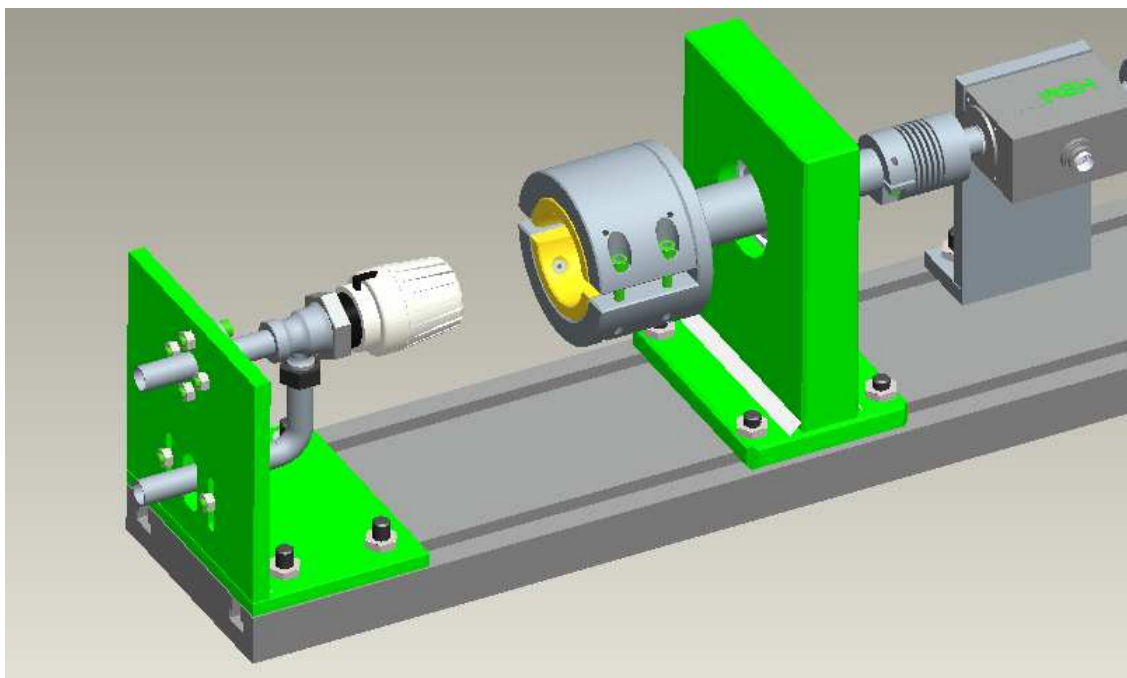
Po uplynutí minimální doby 22 minut, během které se ustálí termální ekvilibrium, se regulátor teploty nastaví do minimální polohy. Nastavení se provede pomocí servomotoru, který je řízen programem v servozesilovači. Jakmile je termohlavice nastavena do minimální polohy, bude servomotor působit na termohlavici krouticím momentem 8Nm. Kroutící moment budeme aplikovat po čas celého předepsaného měření a to po dobu 30 sekund. Síla působící na ventil musí mít stejný směr jako je smysl uzavírání ventilu (servomotor se bude otáčet doprava).

Po uplynutí minimální doby 30 vteřin se servomotor začne otáčet doleva, tím nastaví termohlavici do polohy odpovídající maximálnímu průtoku.

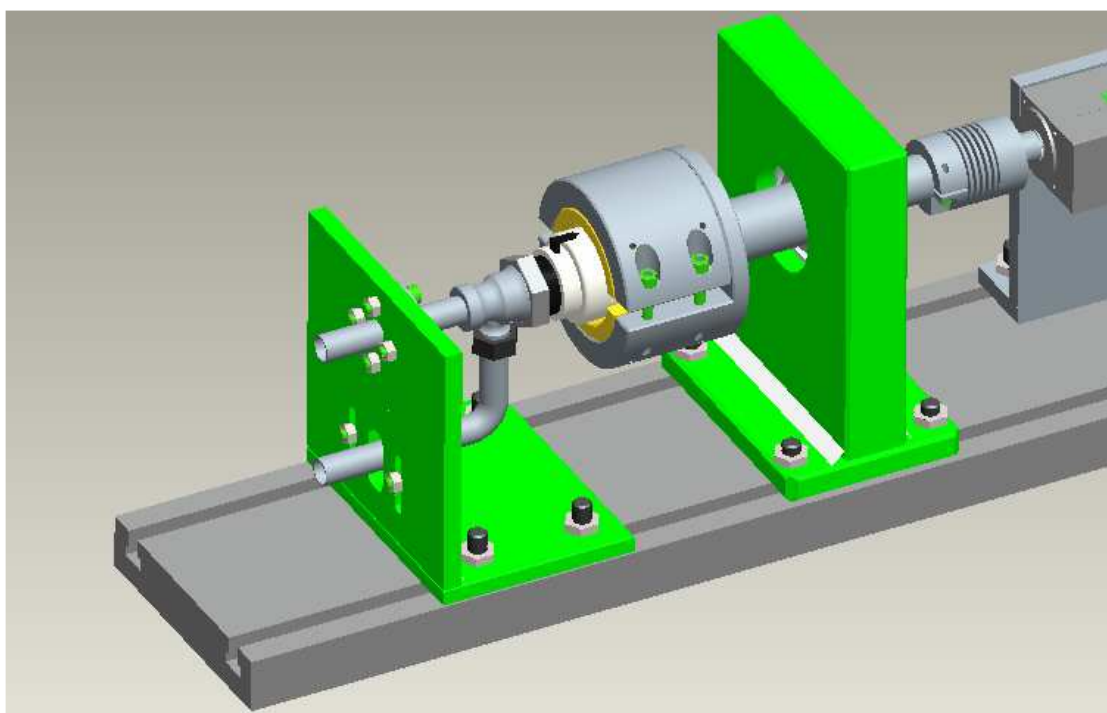
Jakmile dosáhne termohlavice krajní polohy servomotor aplikuje stejný kroutící moment 8 Nm, tentokrát ve smyslu otevírání ventilu, po stejnou dobu jako v předchozím měření a to po dobu třiceti sekund.

Po provedení měření zařízení vypneme a demontujeme z něj bez poškození termohlavice.

Důkladně prověříme, zda měření nemělo vliv na kompaktnost hlavice. Nesmíme najít jedinou známku poddimenzování hlavice. Jakýkoliv náznak trvalé deformace, popřípadě znehodnocení jakékoliv části prasknutím nebo utržením znamená nevhodnou konstrukci termohlavice a tato neodpovídá normě EN 215.



Obr 9.1 Pohled před spojením termostatické hlavice a upínací čelisti



Obr. 9.2 Pohled po spojení termostatické hlavice a upínací čelisti

10 POSTUP ZKOUŠKY – TESTOVÁNÍ NA OHYB:

Stejně jako v předchozím případě je potřeba před započítím testování rukou ozkoušet funkčnost zařízení, zda nejsou poškozena ložiska a zda se rotor volně otáčí.

Z měřicího zařízení demontujeme držák hlavice pro měření kroutícího ohybu a upínací hlavu. Tyto součásti nahradíme součástmi pro měření ohybu (navíjecí hlava, popruh, držák hlavice na tah). Překontrolujeme dotažení veškerých šroubů a ustavení hřídelů a připevníme hadice přívodu zkušební média.

Před spuštěním testovacího programu, který je nainstalovaný v servozesilovači provedeme následující kroky. Zkontrolujeme, zda je připojen přepojovací kabel snímače tenzometrické hlavice a pomocí kalibrační skříňky VK 20 nakalibrujeme IO svorky servozesilovače. Dále se ujistíme, že měřicí software zaznamenává naměřené hodnoty z tenzometrické hlavice. Na analogovém IO vstupu servozesilovače se zaznamenávají hodnoty naměřené tenzometrickou hlavici T20WN během celého testu. Otevřeme kohouty TA 400 a ventilem termostatické hlavice začne protékat zkušební médium (voda) o teplotě $90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a statickém tlaku 100 kPa.

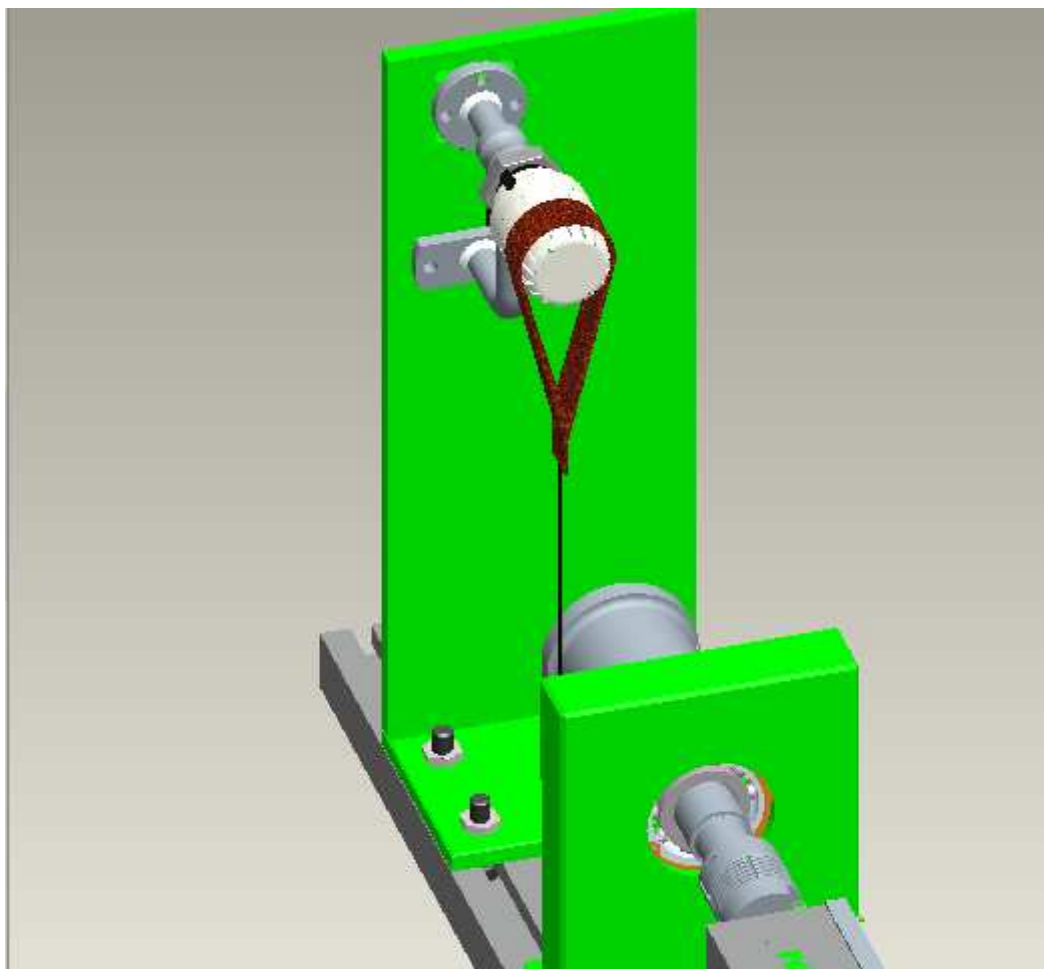
Spustíme testovací program. Program spustí odpočet 22 minut. Zahřátí termoregulační hlavice se provede stejným způsobem jako u předchozí zkoušky.

Po uplynutí 22 minut testovací program spustí servomotor. Program je nastaven tak, že nastaví na výstupním hřídeli servomotoru konstantní krouticí moment 8 Nm, který odpovídá při rozměru bubnu navíjecí hlavice $r = 32\text{ mm}$ síle 250 N. Servomotor utáhne lanko na bubnu a spustíme odpočet. Servomotor bude silou 250 Nm působit na hlavici po čas celého předepsaného měření a to po dobu 30 sekund.

Po uplynutí 30 vteřin testovací program vypne servomotor a přeruší zaznamenávání hodnot z tenzometrické hlavice.

Po ukončení měření demontujeme bez poškození termohlavici z testovacího zařízení.

Důkladně prověříme, zda měření nemělo vliv na kompaktnost hlavice. Jakýkoliv náznak trvalé deformace, popřípadě znehodnocení jakékoliv části prasknutím nebo utržením znamená nevhodnou konstrukci termohlavice a tato neodpovídá normě EN 215.



Obr. 10.1 Detailní pohled na umístění popruhu na termoregulační hlavici

11 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit konstrukční návrh zařízení pro zkoušení mechanických vlastností termostatické hlavice včetně okruhu na úpravu vody. Návrh vznikl na základě požadavků evropské normy EN 215, která udává zkušební metody a požadavky pro ventily otopných těles s regulátorem teploty.

V diplomové práci jsem se zaměřil na návrh zařízení pro testování krouticího momentu a ohybového momentu. V zásadě jde o jedno zařízení, které po výměně některých částí snadno upravíme pro provedení obou zkoušek.

Touto prací bylo navrženo testovací zařízení, pomocí něž lze provádět zmíněné zkoušky. Celá sestava a jednotlivé části, jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci, která je součástí práce. Hlavní komponenty byly vybrány s ohledem na adekvátní funkčnost, spolehlivost a kompatibilitu. Jejich specifikace a parametry jsou také v práci popsány. V koncepci vodního okruhu, jehož návrh je také obsažen v této práci, se může v průběhu konstrukce vyskytnout nutnost nebo vhodnost drobných úprav daných konkrétními dopředu špatně odhadnutelnými aspekty kompletace.

Výkresová dokumentace na prototyp testovacího zařízení je navržena tak, aby zařízení bylo snadno vyrobitelné a smontovatelné. Výkresovou dokumentaci jsem zhotovil v programech CAD 2006 a Pro ENGINEER tak, aby odpovídala příslušným normám.

Testovací zařízení se dá použít nejen k testování již vyrobených hlavice, ale i ve vývoji nových typů termoregulačních hlavice. Výhodou tohoto zařízení je jeho snadná kompletace a možnost testovat hlavice různých typů libovolných výrobců. To umožňuje výrobcům porovnávat své typy hlavice s konkurencí.

12 POUŽITÉ VELIČINY

Značka	Význam	jednotka
-	stupeň změny teploty	K/h
$2p$	počet pólů motoru	–
A	brzdící moment brzdy	Nm
d	vnitřní průměr potrubí	mm
d_p	vnitřní průměr pojistného potrubí - dochází k vývinu páry	mm
d_v	vnitřní průměr pojistného potrubí - nedochází k vývinu páry	mm
F	ohybová síla	N
g	tíhové zrychlení	m/s ²
h	výška vodního sloupce nad EN	m
I	proud	A
I_0	klidový proud	A
I_{max}	maximální proud	A
I_N	jmenovitý proud	A
J kg	vlastní moment setrvačnosti	cm ²
K_E	napěťová konstanta	V/1000 min. ⁻¹
K_M	momentová konstanta	Nm/A
l	délka potrubí	m
L_{2Ph}	indukčnost, dvě fáze	mH
m	hmotnostní průtok	kg/s; kg/h
m	hmotnost bez brzdy	kg
M_0	klidový moment	Nm
m_{Br}	hmotnost s brzdou	kg
M_{Br}	brzdící moment brzdy	Nm
M_k	krouticí moment	Nm
M_{max}	maximální moment	Nm
M_N	jmenovitý moment	Nm
M_O	ohybový moment	Nm
n	součinitel zvětšení objemu	-
n_N	jmenovité otáčky	min. ⁻¹
p	tlak	Pa; Bar
p_B	barometrický tlak	Pa
$p_{d,A}$	hydrostatický absolutní tlak	Pa
$p_{h,dov,A}$	nejvyšší dovolený absolutní tlak	Pa
P_N	jmenovitý výkon	W

Značka	Význam	jednotka
p_o	statický tlak na začátku potrubí	Pa
p_{ot}	otevírací přetlak pojistného ventilu	Pa
Q	průtok	m ³ /h; l/min
Q_n	jmenovitý výkon zdroje tepla	kW
R	odpor	ohm
r	průměr	mm ²
$R_{2Ph} \Omega_{0,25}$	odpor dvě fáze	Ω
S	plocha	mm ²
S_o	vypočtený minimální průřez sedla pojistného ventilu	mm ²
t	teplota	°C; K
U	napětí	V
v	rychlost	m/s
V_{et}	objem expanzní tlakové nádoby	l
V_o	objem vody v celé otopné soustavě	l
w	rychlost proudění	m/s
η	stupeň využití EN	-
λ	součinitel tření	-
ν	kinematická viskozita	m ² /s
ζ	součinitel místní ztráty	-
ρ	hustota vody	kg/m ³

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *pr EN 215:2003 Thermostatic radiator valves - Requirements and test methods*. vyd. CEN
- [2] KLIMEŠ, Pavel. *Části a mechanismy strojů I*. [s.l.] : [s.n.], 2003. 97 s. ISBN 80-214-2421-4
- [3] PAVELEK, Milan, ŠTĚTINA, Josef. *Experimentální metody v technice prostředí*. 1. vyd. [s.l.] : VUTIUM, 1997. 215 s. ISBN 80-214-0970-3.
- [4] VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1998. 672 s.
- [5] KLIMEŠ, Pavel. *Části a mechanismy strojů 2*. [s.l.] : [s.n.], 2003. 97 s. ISBN 80-214-2421-4
- [6] *Imi-International Heimeier TA Hydronics* [online]. 2007 [cit. 2009-05-12]. Dostupný z WWW: <www.imi-international.com>.
- [7] *TG drives* [online]. 2009 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.tgdrives.cz/>>.
- [8] *HBM – měřicí technika* [online]. 2008 [cit. 2009-05-06]. Dostupný z WWW: <www.hbm.cz>.
- [9] *Tandler precision limited* [online]. 2006 [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.tandler.co.uk/>>.
- [10] *Omega Engineering Česká republika* [online]. 1995 [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/>>.
- [11] *Jumo - Váš partner pro měřicí techniku* [online]. 1998 [cit. 2009-05-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.jumo.cz/>>.
- [12] *Jsp měření a regulace* [online]. 2009 [cit. 2009-05-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.jsp.cz>>.
- [13] *Omega Engineering Česká republika* [online]. 1995 [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/>>.
- [14] *Grundfos Czech & Slovak Republic homepage* [online]. 2002 [cit. 2009-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.grundfos.com/web/homecz.nsf>>.
- [15] *B 8 DUKLA CZ Topenářské Expanzní nádoby* [online]. 2009 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.topenilevne.cz/topeni-id/3245/dukla-cz-expanzni-nadoby-topenarske-b-8>>.
- [16] *Vytápění – TZB - info* [online]. 2001 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://vytapieni.tzb-info.cz>>.
- [17] *Avemar cz* [online]. 2008 [cit. 2009-05-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.avemar.cz>>.
- [18] *IMI International, Heimeier, TA, Pneumatex* [online]. 2007 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.imi-internationalcee.com>>.
- [19] *IVAR CZ: komponenty pro vodu, vytápění a plyn* [online]. 2001 [cit. 2009-05-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.ivarcs.cz/>>.

14 SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

2009 –	00 Sestava KRUT
2009 –	01 Upínací hlavice
2009 –	02 Základna (Lože)
2009 –	03 Hřídel 1
2009 –	04 Protihlava
2009 –	05 Výstelka
2009 –	06 L-KO A
2009 –	07 L-KO-B
2009 –	08 Podstavec ventilu 1
2009 –	09 Podstavec ventilu 2
2009 –	10 Držák ložiska A
2009 –	11 Držák ložiska B
2009 –	12 Destička 1
2009 –	13 Destička 2
2009 –	14 Trubka 1
2009 –	15 Trubka 2
2009 –	16 Navíjecí hlava
2009 –	17 Podstavec ventilu OHYB
2009 –	18 Hřídel 2
2009 –	19 Sestava OHYB
2009 –	20 Svarek 1
2009 –	21 Svarek 2
2009 –	22 Svarek 3
2009 –	23 Svarek 4
2009 –	24 Potrubí 2
2009 –	25 Potrubí 1
2009 –	26 Svarek 5