

Hydraulická stanice na stlačený vzduch

Václav Slaný

BS design Bystřice nad Pernštejnem

Úvod

Jednou ze zajímavých zakázek naší konstrukční kanceláře bylo vyřešení upínání rotační součásti v dělicím přístroji vertikální frézky. Řešení se muselo podřídit určenému dělicímu přístroji, který byl doplňkem již používané frézky. Rozměr součásti a její upínací síla jasně hovořily pro užití hydraulického upínání. Dovolené rozměry hydraulického válce pro upínání a požadovaná upínací síla určily potřebný tlak oleje, který hydraulická výbava obráběcího stroje neumožňovala. Východiskem bylo navržení hydraulického zdroje tlaku oleje, který bude při požadovaném tlaku schopen jeho nepřetržitému působení, nezávisle na provozu obráběcího stroje. Padla volba na pneumaticko-hydraulický multiplikátor tlaku. Před mnoha lety byl běžnou výbavou upínacích částí československých frézovacích strojů, ale časem se z obroben „jaksi“ vytratil. Zahraniční dodavatelé frézovacích strojů jej dodávají jen na zvláštní požadavek zákazníka.

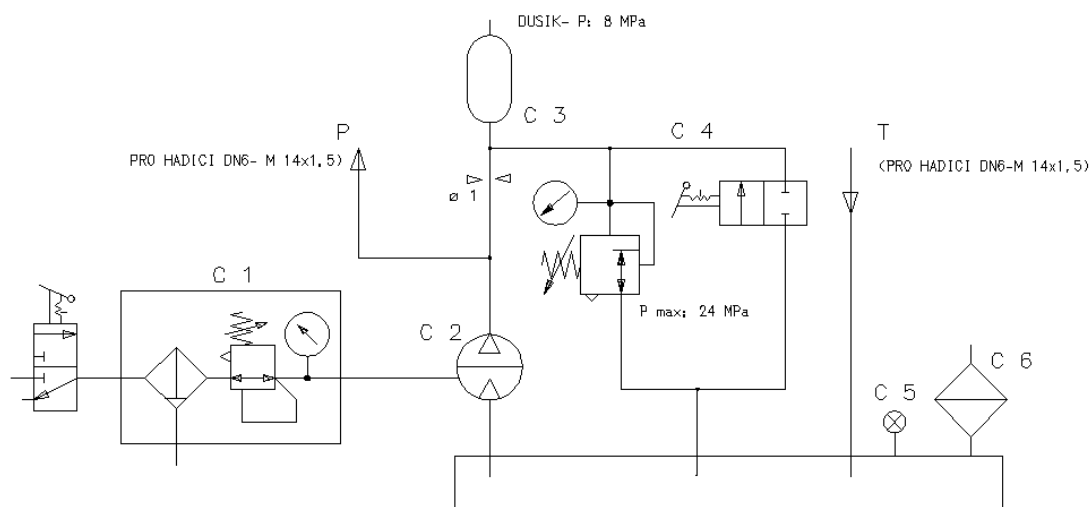
Hydraulická stanice

nemá rotační hydrogenerátor ani elektromotor. Jejím srdcem je pneumaticko-hydraulický multiplikátor tlaku, který pracuje nehučně a bez vibrací (jen občas se ozve charakteristický sykot vzduchu, který vychází z tlumiče hluku). Může tak být instalován i v místě obsluhy obráběcího stroje, ačkoliv konstrukce hydraulické stanice umožňuje její činnost mimo dosah obsluhy.

Samotný multiplikátor by nestačil. K jeho činnosti je třeba na straně vzduchu přístroj pro úpravu vzduchu s redukčním ventilem a manometrem nastaveného tlaku vzduchu. Na straně hydrauliky je to nádrž na hydraulický olej, ze které multiplikátor olej čerpá, a akumulátor tlakového oleje. Ten mimo rezervoáru tlakového oleje slouží i k vyrovnávání tlakových špiček v oleji při činnosti multiplikátoru, nebo při ovládání upínacího obvodu vřazeným šoupátkem. Nedílnou součástí akumulátoru je jeho bezpečnostní blok s pojistným ventilem a ručním ventilem pro tzv. „odtlakování“ upínacího obvodu a akumulátoru v případě seřizování nebo oprav. Na straně plynu je akumulátor plněn dusíkem o tlaku, který je určen konstruktérem vzhledem k provoznímu tlaku oleje. Pro sledování tlaku oleje při seřizování slouží manometr, umístěný na víku nádrže. Plnicí hrdlo se sítkem a zavzdušňovacím filtrem ve víčku a ukazatel výšky hladiny oleje v nádrži se zabudovaným teploměrem jsou běžné a nedílné části nádrže.

Popsaná hydraulická stanice je umístěna do stojanu, který tvoří vanička na čtyřech seřiditelných nohách. Její objem je větší než objem oleje v nádrži - je tak vytvořen bezpečnostní prostor pro zachycení plného objemu oleje v nádrži, pokud by nastala porucha některé přípojné hadice, nebo netěsnost některého spoje.

Hydraulické schéma popsané hydraulické stanice je na obrázku číslo 1.



Obrázek č. 1 Schéma hydraulické stanice

C1 Jednotka pro úpravu vzduchu
 C2 Multiplikátor (čerpadlo)
 C3 Hydraulický akumulátor

C4 Bezpečnostní a uzavírací blok
 C5 Hladinoměr s teploměrem
 C6 Plnicí hrdlo s odvzdušněním

Předběžný výpočet

bylo potřeba provést pro určení základních parametrů hydraulické stanice. Zákazník zadal minimální upínací sílu na obrobek v přípravku dělicího přístroje a tvar prostoru v dělicím přístroji. Ten dovoľoval pohyb pístnice v ose přístroje jen ve vertikální rovině a směr upínání dolů do upínacího stolu frézky. Z toho vzešlo řešení směru upínání silou, která vznikne od tlaku oleje na mezikruží hydraulického válce. Ve výpočtu se vystačilo s řešením statické síly v hydraulickém válci, který byl navržen ve speciálním tvaru ze standardně používaných jmenovitých rozměrů průměru válce a pístnice. Tak ze známých veličin „F“, „D“ a „d“ se hledala hodnota upínacího tlaku:

$$p = 4 * F / (\pi * (D^2 - d^2)) \quad (1)$$

kde: F = upínací síla [N]
 D = průměr pístu [mm]
 d = průměr pístnice [mm]
 p = upínací tlak oleje [MPa]

Další veličinou, která musí být známa, je maximální tlak vzduchu v rozvodném potrubí výrobního zařízení zákazníka. Jmenovitý tlak obvykle bývá 0,6 až 1 MPa. Podle poměru veličin „p“ a tlaku vzduchu „ p_{vzduch} “ se určil minimální poměr činných ploch multiplikátoru

$$i = p / p_{\text{vzduch}} \quad (2)$$

kde: i = poměr upínacího tlaku k jmenovitému tlaku vzduchu
 p = upínací tlak oleje [MPa]
 p_{vzduch} = jmenovitý tlak vzduchu [MPa]

V tuto chvíli nemusí být známy velikosti činných ploch multiplikátoru na straně vzduchu a na straně oleje. Výrobce multiplikátoru je ani neuvádí, co ale uvádí (mimo jmenovitého tlaku na straně oleje) je jejich poměr. Podle toho se také tento přístroj na zvyšování tlaku oleje vybírá. Ve stejném poměru je tedy skutečný upínací tlak oleje k nastavenému tlaku vzduchu.

$$S_1 / S_2 = i_{\text{multi}} = p_2 / p_1 \quad (3)$$

Z toho vyplývá, že výsledná hodnota tlaku oleje v multiplikátoru bude taková, na jakou hodnotu se seřídí tlak vzduchu, který multiplikátor pohání.

$$p_2 = i_{\text{multi}} * p_1 \quad (4)$$

kde: i_{multi} = poměr činných ploch multiplikátoru a poměr tlaku oleje k tlaku vzduchu

S_1 = činná plocha multiplikátoru na straně vzduchu

S_2 = činná plocha multiplikátoru na straně oleje

p_1 = tlak vzduchu v multiplikátoru [MPa]

p_2 = tlak oleje v multiplikátoru [MPa]

Při výběru vhodných zařízení pro realizaci zadaného úkolu se počítá vždy s určitou silovou tj. i tlakovou rezervou zařízení. Proto vždy bude platit:

$$i_{\text{multi}} > i \quad p_2 > p \quad p_{\text{vzduch}} \Rightarrow p_1 \quad (5)$$

Uvedená rezerva se využívá až do výše hodnoty jmenovitého tlaku multiplikátoru na straně oleje. Na tuto hodnotu se seřizují všechny bezpečnostní prvky tlaku oleje. Provozní hodnota tlaku oleje, která odpovídá požadované upínací síle, je docílena seřízením tlaku vzduchu (p_1), který vstupuje do multiplikátoru. Ten je rovný nebo menší než jmenovitý tlak vzduchu (p_{vzduch}).

Realizace zařízení

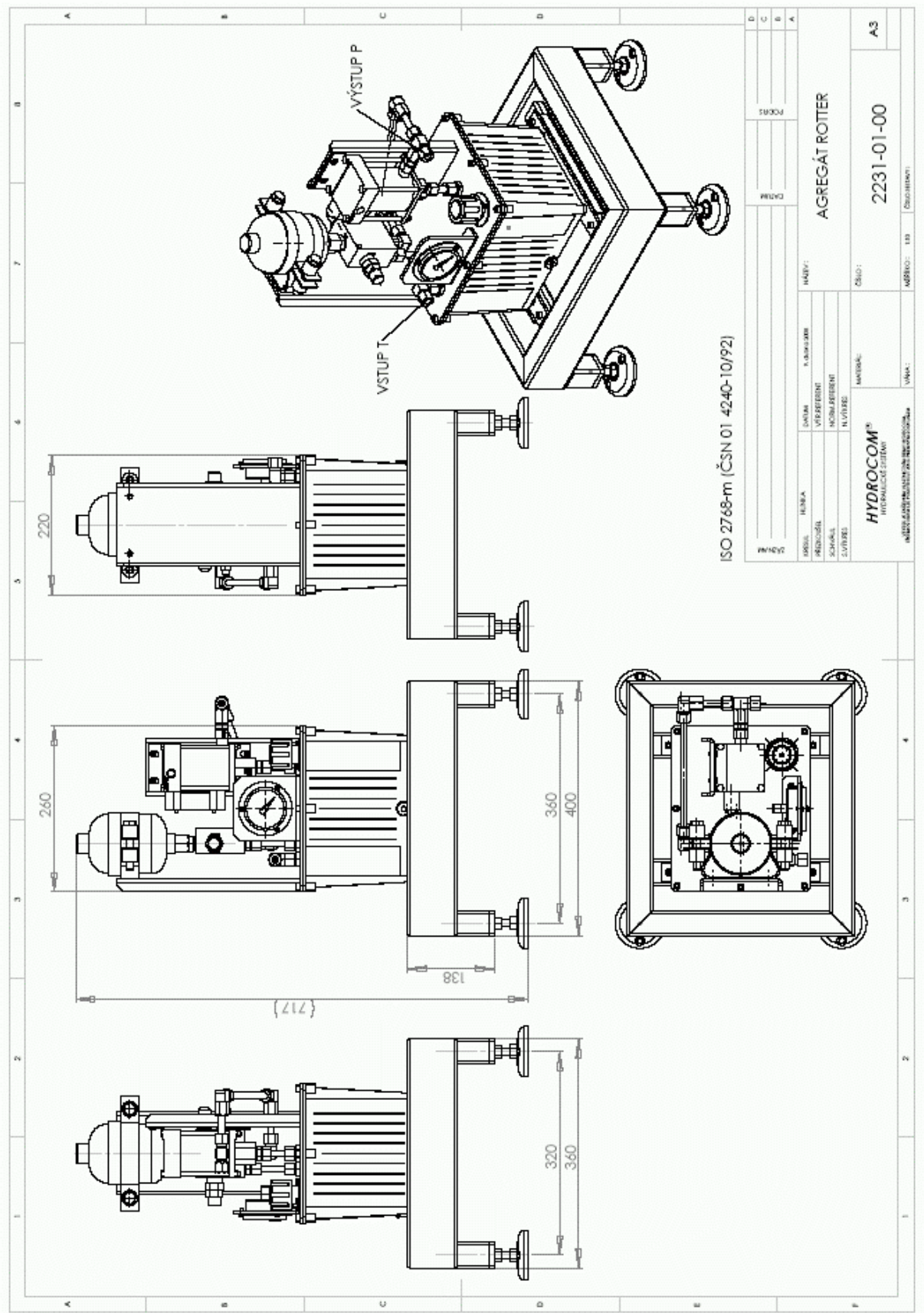
byla zákazníkem svěřena firmě HYDROCOM v Brně, která je dodavatelem podstatné části hydraulických dílů. Ty, které nemá ve svém obchodním programu, byly dodány dalšími specializovanými firmami. Byl to multiplikátor HASAKEL M-36 od firmy OLAER a jednotka pro úpravu vzduchu SKL-1/4 od firmy Fluidtechnik Bohemia. Nádrž hydraulické stanice byla naplněna hydraulickým olejem OH HM 46. Bylo možné použít i jeho ekvivalenty od různých zahraničních firem. Zákazník zajistil připojení sušeného a nemazaného vzduchu o minimálním jmenovitém tlaku 0,6 MPa.

Výsledné provedení popsané hydraulické stanice je na obrázku číslo 2.

Upínání

provádí jednočinný hydraulický válec speciálního tvaru. Jeho specialitou, mimo vnějšího tvaru, je připojení tlakového oleje do osy pístnice přes rotační přívod a zpětný pohyb pístu s pístnicí pomocí pružiny, která je zabudovaná mimo olejovou část válce (viz obrázek číslo 5).

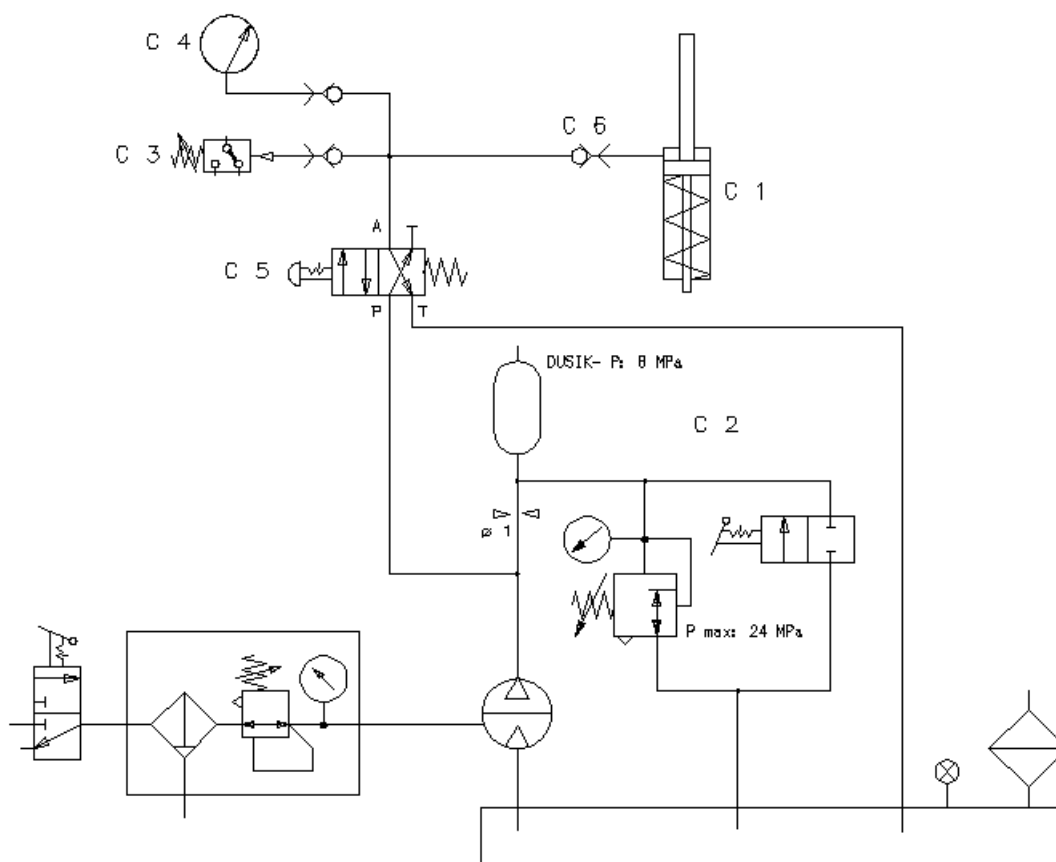
Obrázek č. 2 Hydraulická stanice



Při postupném obrábění je po každé operaci obrobek v přípravku uvolněn, s rotační částí dělicího přístroje je obrobek pootočen o předem nastavený rozměr a znovu upnut před dalším obráběním. Znamená to, že při upínání zajíždí pístnice do válce (tlakem oleje na mezikruží pístu) a při uvolnění vyjíždí pístnice z válce (tlakem pružiny na dno pístu). Tato činnost zařízení je umožněna zdrojem tlakového oleje (hydraulickou stanicí), řídicím šoupátkem, tlakovým spínačem a kontrolním manometrem. Mimo hydraulické stanice jsou všechny jmenované díly soustředěny do ovládacího panelu upínacího zařízení (viz obrázek číslo 4). Jeho předpokládané umístění bylo na krytu obráběcího stroje, ale zákazník si jej nechal zabudovat na horní část hydraulické stanice. Tak je v dosahu obsluhy obráběcího stroje panel i hydraulická stanice (viz foto obrázky číslo 6).

Tlakový spínač je seřízen a zapojen do bezpečnostního systému obráběcího stroje tak, aby v případě malého poklesu tlaku oleje při upínání signalizoval možnou poruchu a při větším poklesu tlaku obráběcí stroj zastavil. Využívá se tzv. hystereze tlakového spínače. Ta probíhá mezi rozpojením kontaktu vyššího tlaku a spojením kontaktu nižšího tlaku za pomoci pružiny uvnitř spínače.

Hydraulické schéma popsaného upínání a hydraulické stanice je na obrázku číslo 3.



Obrázek č. 3 Schéma hydraulické stanice s upínáním

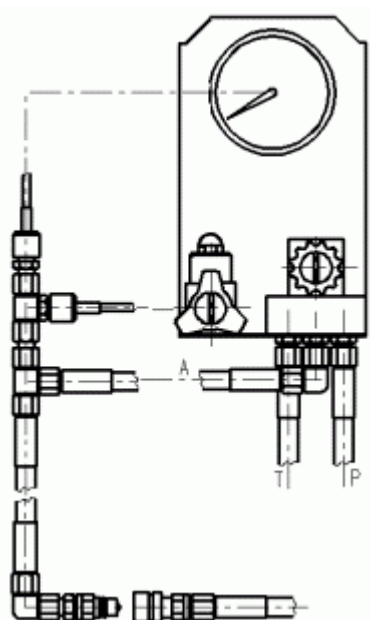
C1 Hydraulický válec
C2 Hydraulická stanice
C3 Tlakový spínač

C4 Kontrolní manometr
C5 Řídicí šoupátko
C6 Rychlospojka hadic

Ovládací panel

Jsou v něm soustředěny všechny prvky ovládání včetně kontrolního manometru. Ten spolu s tlakovým spínačem je připojen k tlakové větvi rychlospojkami a hadičkami MINIMESS-systému. Samotné trubky (P) a (T) jsou připojeny přímo na hydraulickou stanici a hadice (A) je k hydraulickému válci v dělicím přístroji připojena pomocí kuličkové rychlospojky. Aby se zamezilo nechtěné manipulaci, je použito řídicí šoupátko s otočnou rukojetí a aretací polohy a tlakový spínač s uzamykatelnou regulací nastaveného tlaku.

Samotnou výrobu panelu provedla firma HYDROCOM Brno spolu s výrobou hydraulické stanice. Na obrázku číslo 4 je původní návrh panelu pro instalaci na kryt obráběcího stroje.



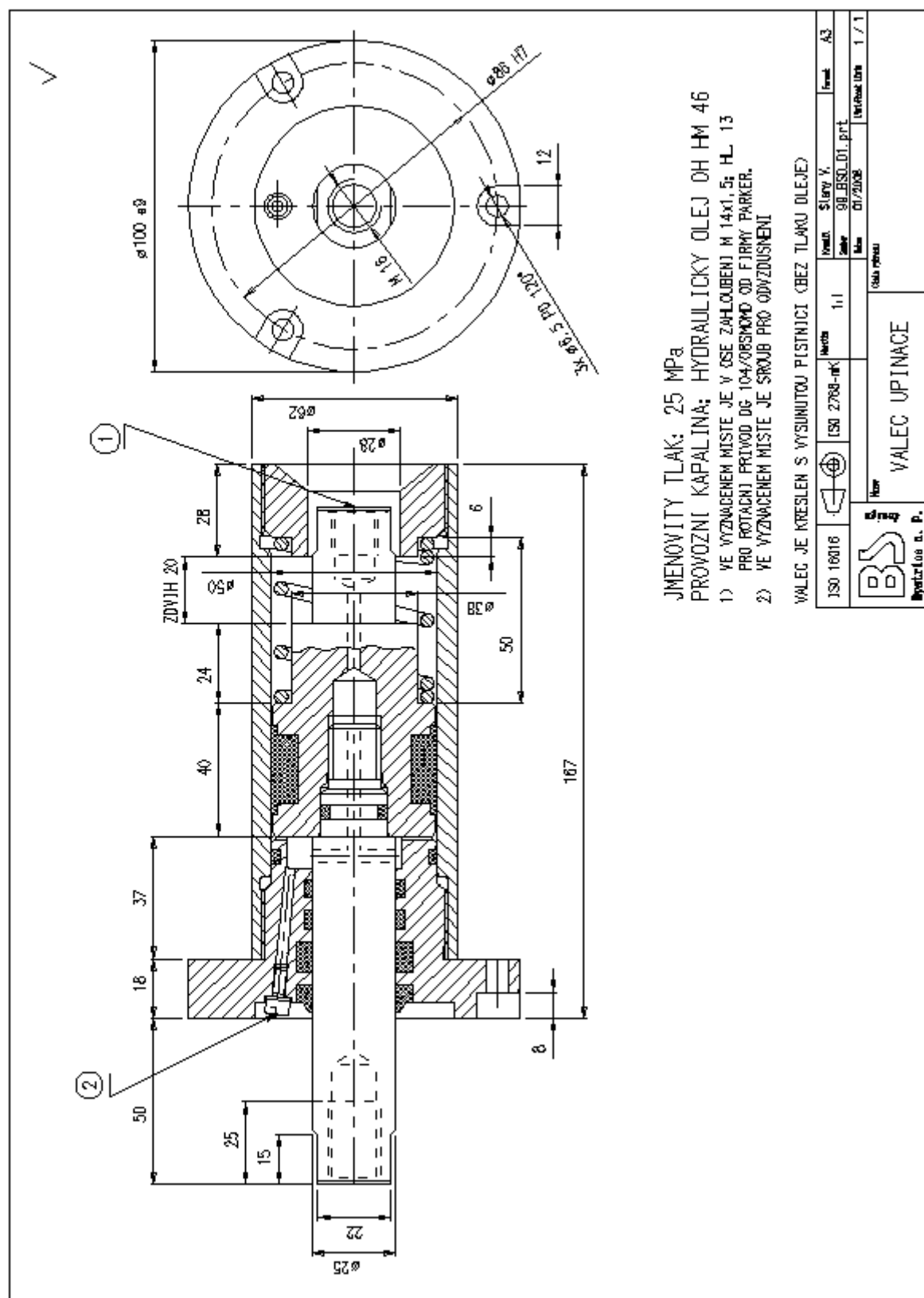
Obrázek č. 4 Ovládací panel

Hydraulický válec

má speciální tvar, který je podřízen prostoru v ose dělicího přístroje, kde je zabudován. Jeho konstrukční provedení zaručuje spolehlivý chod a dlouhodobou životnost zejména tím, že je v nejvyšším bodě vnitřního (olejového) prostoru válce proveden kanálek se šroubkem pro odvzdušnění tohoto prostoru. Odvzdušňování se provádí při prvním plnění oleje do upínací části zařízení tj. při instalaci nebo po opravě hydrauliky upínacího zařízení.

Jmenovité rozměry hydraulického válce tj. průměr pístu a pístnice vycházejí ze standardních (katalogových) rozměrů hydraulických válců pro jmenovitý tlak oleje. Proto nebyl problém najít výrobce, který by zaručil funkci a kvalitu zkonstruovaného válce. Byla jím firma HYDRAULICS Sehradice.

Obrázek č. 5 Hydraulický válec



Řízení rychlosti pohybu hydraulického válce

Myšlen je pohyb pístu s pístnicí ve válci. Limitujícím prvkem je životnost těsnicích částí pístu a pístnice, které jsou při tření o stabilní díly válce vystaveny maximálnímu opotřebení. Proto všichni výrobci hydraulických válců udávají maximální rychlost zdvihu pístu s pístnicí a zaručenou dráhu zdvihu s ohledem k opotřebení těsnicích dílů. Povinností konstruktérů je tyto údaje brát na zřetel a hydraulické obvody vybavit řídicími prvky rychlosti pohybu pístu s pístnicí. Tyto prvky mohou být seřiditelné (např. škrticí ventily), nebo neseřiditelné (např. clony).

Neseřiditelným prvkem v konstrukci popisovaného zařízení je clona o průměru průtočného otvoru 1 mm. Je vsazena do šroubení bezpečnostního bloku akumulátoru na přívodu od multiplikátoru. Při propojení šoupátka do upínací polohy (akumulátoru s válcem) řídí clona průtok oleje z akumulátoru do válce a svým odporem průtoku (omezováním tlaku oleje při průtoku) řídí rychlost zdvihu (zasouvání pístnice do válce) a tím i rychlost dosednutí přípravku na plochu obráběné součásti. Dalším odporem tohoto pohybu je zvětšující se síla od pružiny ve válci, která je v tu chvíli stlačována. Při propojení šoupátka do základní polohy (válce s nádrží) není průtok řízen, protože mimo odporu průtoku oleje šoupátkem je závislý na snižující se síle pružiny, která vytlačuje píst s pístnicí do krajní polohy a uvolňuje součást v přípravku. Rychlost pohybu pístu se v tento okamžik snižuje.

Bez clony by olej z akumulátoru vytekl prudce, protože akumulátor by v té chvíli pracoval jako plynová pružina bez řízení průtoku. Mimo nebezpečně rychlého pohybu pístu s pístnicí by přípravek narazil nekontrolovanou rychlostí do obrobku. Při opakovaných pohybech by mohlo dojít i k poškození upínacího přípravku.

Průměr otvoru v cloně nebyl zvolen náhodně. Byl zjištěn výpočtem pomocí softwaru, který má konstrukční kancelář k dispozici.

Proč odvzdušňovat

Při uvádění hydraulického zařízení do provozu a napouštění oleje do všech potrubí, hadic a hydraulických válců většinou se najde místo, které olej úplně nevyplní. Zbývá bublina vzduchu v oleji se přesune obvykle k nejvyššímu bodu prostoru, vyplněného olejem. U hydraulického válce s vertikální osou pístnice to bývá mezera mezi pístnicí a stěnou průchozího otvoru ve víku válce, zakončenou těsněním nebo vodící teflonovou manžetou. Pokud se beztlakým prouděním oleje vzduch nevyžene odvzdušňovacím otvorem ven, způsobí během provozu válce při provozním tlaku oleje poruchu těsnění. Nastane též degradace vlastností hydraulického oleje a tím jeho stárnutí a posléze znehodnocení. Porucha těsnění nastane přehřátím až spálením místa styku těsnění s bublinou vzduchu. Může zaznít otázka: kde se tam ta teplota vzala, když běžné provozní teplotě oleje všechna těsnění odolávají?

Ve vzduchové bublině dochází za vysokého tlaku ke změně stavu plynu. U hydraulického válce, zabudovaného v dělicím přístroji, nebude docházet ke sdílení tepla do okolí, které uvnitř válce vzniklo a tak bude tato změna adiabatická. Při vysokém tlaku oleje - a tím i vzduchu v bublině - dojde při adiabatické změně stavu plynu k ohřátí vzduchu v bublině. Výpočet této teploty probíhá podle stavové rovnice plynu, která je známá z fyziky, s mocnitelem $((\chi-1) / \chi)$.

V obdobných případech, kdy ke sdílení tepla do okolí dochází, by se popisovaný děj řídil podle polytropické změny stavu plynu s mocnitelem $((n-1) / n)$.

$$T_2 = T_1 * (p_2 / p_{\text{atm}})^{((\chi-1) / \chi)} \quad (6)$$

$$T_2 = T_1 * (p_2 / p_{\text{atm}})^{((n-1) / n)} \quad (7)$$

kde: T_1 = teplota vzduchu při atmosférickém tlaku [°K]

T_2 = teplota vzduchu při provozním tlaku [°K]

p_{atm} = atmosférický tlak (cca 0,1 MPa)

p_2 = upínací tlak [MPa]

χ = 1,4 - adiabatická konstanta pro vzduch

n = 1 až 1,4 – polytropická konstanta pro vzduch

Teprve vypočtené číslo ve °C ukáže jak vysoká teplota je v místě, kde může způsobit neopravitelnou poruchu těsnění a vyřadit celé zařízení z provozu.

Příklady teplot při adiabatické změně stavu plynu:

- při tlaku oleje 10 MPa je teplota vzduchu v bublině cca 820 °C
- při tlaku oleje 16 MPa je teplota vzduchu v bublině cca 976 °C
- při tlaku oleje 24 MPa je teplota vzduchu v bublině cca 1 130 °C

Příklady teplot při polytropické změně stavu plynu (např. $n = 1,15$):

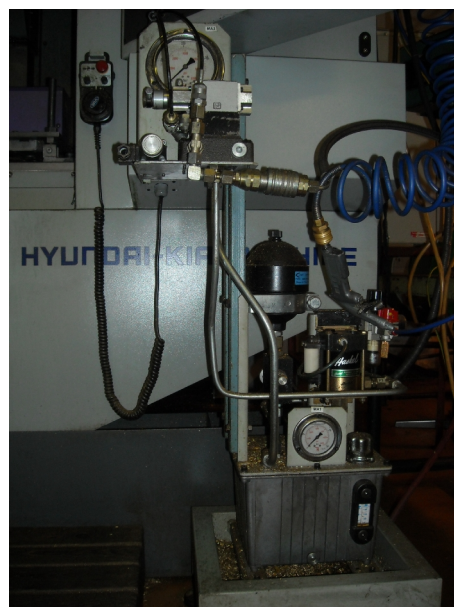
- při tlaku oleje 10 MPa je teplota vzduchu v bublině cca 261 °C
- při tlaku oleje 16 MPa je teplota vzduchu v bublině cca 295 °C
- při tlaku oleje 24 MPa je teplota vzduchu v bublině cca 326 °C

Při všech těchto teplotách žádný materiál těsnění hydraulického válce nevydrží. Pokud bublina zůstane na vnitřní stěně hadice, obvykle ji propálí. Za povšimnutí stojí vypočtené teploty při adiabatické změně. Pohybují se v oblasti teplot, které mají vliv na změny mechanických vlastností oceli. A právě ocelové stěny v hydraulickém válci jsou obvykle, vedle těsnění, ve styku se vzduchovou bublinou. Z toho vyplývá, že by mohlo nastat místní poškození i některých hladce obrobených ocelových ploch hydraulického válce.

Závěr

Popis v tomto textu svědčí o odbornosti konstruktérů naší konstrukční kanceláře a o pozornosti, věnované všem detailům, které mohou mít vliv na bezporuchový provoz zařízení a zároveň ovlivňují jeho dlouhou životnost (zařízení na obrázcích číslo 6 pracuje 3 roky v dvousměnném provozu, spolehlivě a bez jediné poruchy).

Hydraulická stanice popsaného principu, by mohla být použita nejen pro upínání, ale i k pohonu složitějších hydraulických mechanismů s jejich občasnou činností. Postačilo by zvětšit nádrž na olej a instalovat baterii větších akumulátorů s větším objemem pro tlakový olej. Z akumulátorů by tlakový olej přes řídicí prvky (šoupátka, škrťací ventily, hydraulické zámky apod.) byl použit pro činnost mechanismů a v mezidobí pracovní prodlevy mechanismů by multiplikátor tlakový olej do akumulátorů doplnil. Pokud by nebyla potřeba elektrického řízení šoupátek (vystačilo by ruční ovládání), nebylo by třeba ani přívodu elektrické energie do místa činnosti hydraulické stanice. Jediným zdrojem energie stále zůstává dostatečné množství upraveného tlakového vzduchu.



Obrázky č. 6 Skutečné provedení hydraulické stanice