

Optimalizace zařízení na zkoušku těsnosti automobilového světlometu

Karel Volčík

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání diplomové práce

Prohlašuji, že na celé diplomové práci jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně 2. června 2005

.....

Karel Volčák

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Tato práce se zabývá problematikou zkoušení těsnosti automobilového světlometu v sériové výrobě.

V teoretické části jsou shrnuty fyzikální požadavky a principy měření netěsností. Způsoby použitelné při zkoušení těsnosti automobilového světlometu jsou podrobněji popsány.

V praktické části jsou nejprve shrnuty požadavky kladené vnitropodnikovými normami a popis současného zkušebního zařízení. Následuje popis použitého hardware. V poslední části je stručně popsán nový program pro pracoviště na zkoušku těsnosti.

Závěr je zároveň vyhodnocením přínosu zrealizovaného zařízení a částečným vyčíslením finančních úspor oproti použití současného zkušebního zařízení.

Abstract

This thesis is concerned with Leak test of car headlamps, which is used in batch production.

There are summed up the physical specifications and the leak test principles in the theoretical section. The suitable methods of the leak tests for the car headlamps are described in more detail.

In the practical section there are firstly summed up the requirements of the internal standards and described contemporary test equipment. Thereafter the used hardware is described. In the last part there is a brief description of a new programme for the leak test workstation.

The conclusion is both an evaluation of the acquisition of the realized equipment and partial quantification of the economical benefits in comparison with the actual test equipment.

Chtěl bych tímto velmi poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Dolinayovi, za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během řešení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Ondřeji Kalužovi za velmi cenné rady a připomínky a ochotu podělit se o své zkušenosti. A v neposlední řadě bych chtěl také poděkovat své rodině, kteří mi po celou dobu studia byli oporou.

ÚVOD.....	7
I. TEORETICKÁ ČÁST	8
1 ÚVOD	9
1.1 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ SOUVISLOSTI.....	9
1.1.1 Ideální plyn.....	10
1.1.2 Měrná plynová konstanta	11
1.1.3 Měrná tepelná kapacita.....	12
1.1.4 Základní děje	13
1.1.5 Přehled vratných dějů.....	13
1.1.6 Některé nevratné děje.....	15
1.1.7 Stavová rovnice plynů	15
1.1.8 Stavová rovnice reálných plynů	16
1.2 ZÁKLADNÍ PRINCIPY MĚŘENÍ NETĚSNOSTI	17
1.2.1 Přetlaková zkouška těsnosti	18
1.2.2 Podtlaková zkouška těsnosti	20
II. PRAKTICKÁ ČÁST	22
2 ROZBOR A POPIS PRAKTICKÉHO ŘEŠENÍ.....	23
2.1 VNITROPODNIKOVÉ NORMY.....	23
2.1.1 Obecné požadavky vnitropodnikových norem.....	23
2.1.2 Základní vlastnosti zkušebního zařízení	25
2.1.3 Požadavky na zadávání parametrů	27
2.1.4 Provádění zkoušky těsnosti	28
2.1.5 Vlastní průběh testu na vyhodnocení netěsnosti	28
2.1.6 Provádění pravidelných funkčních zkoušek.....	31
2.2 MĚŘÍCÍ A TESTOVACÍ PŘÍSTROJ TYPU VP5928.....	34
2.2.1 Strojní výrobní zařízení.....	35
2.2.2 Parametry přístroje VP5928	36
2.2.3 Zkušební parametry	36
2.2.4 Parametry stroje.....	37
2.2.5 Popis konzole pneumatických prvků.....	38
2.2.6 Průběh zkoušky těsnosti prováděné přístrojem VP5928.....	39
2.3 POPIS POUŽITÉHO HARDWARE	40
2.3.1 Způsoby zapojování vstupních a výstupních modulů	41
2.3.2 Popis PLC.....	43
2.3.3 Zobrazovací terminál MAC E200	49
2.3.4 Miniaturní elektropneumatický regulátor SMC ITV0010-3N-Q	51
2.3.5 Přesný tlakový snímač TMG 418 Z3D.....	53
2.4 POPIS SOFTWARE ČÁSTI.....	53
2.4.1 Program pro operátorský panel MAC E200.....	54
2.4.2 Program pro PLC	55
3 ZÁVĚR.....	59
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	59
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	63

SEZNAM OBRÁZKŮ	66
SEZNAM TABULEK.....	67
SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Dnešní automobil je komplikované zařízení skládající se z mnoha komponent. Jedním z nejdůležitějších jsou světlomety. Ty jsou při používání automobilu vystaveny působení mnoha nepříznivých vlivů jako jsou povětrnostní podmínky, stav komunikací, nánosy hmyzu, pronikání nečistot a různých kapalin, atd. Tyto vlivy způsobují namáhání celého tělesa a při vniknutí nečistot do vnitřku světlometu způsobují jeho nefunkčnost a někdy mohou dokonce ohrozit bezpečnost provozu. Proto je třeba při vývoji světlometu na tyto parametry pamatovat a při jeho výrobě je třeba světlomet testovat na odolnost vůči těmto vlivům. Mezi nejdůležitější vlastnosti patří těsnost světlometu.

Při výrobě světlometu musí být každý světlomet testován na netěsnost. Tato zkouška samozřejmě zvyšuje výrobní náklady a prodlužuje takt výrobní linky. Proto je potřeba, aby trvala co nejkratší dobu, ale také aby byla prokazatelně spolehlivá a odhalila veškerou netěsnost.

V současné době je k měření netěsnosti ve firmě Hella Autotechnik používáno měřicí a zkušební zařízení VP 5928, které je dodáváno z mateřské firmy Hella KGaA Hueck & Co. Tento přístroj je v koncernu doporučeným prvkem zkoušky těsnosti, avšak možnosti jeho modifikace jsou omezené. V ceně přístroje jsou zahrnuty také licenční poplatky, což jej činí relativně nákladným. Upravování programu není povoleno, modifikovatelné jsou pouze parametry stroje a zkušební parametry.

Ve své práci se zabývám především analýzou vnitropodnikových norem a popisem současného zařízení na měření netěsnosti. Dále je popsáno hardwarové vybavení, pro které byl napsán nový program na zkoušení těsnosti automobilového světlometu. Program je přílohou této práce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ÚVOD

V této části nejprve objasním základní pojmy a fyzikální souvislosti, které jsou pro provádění zkoušky těsnosti charakteristické, nebo na ní mají vliv. Dále bude uveden přehled možných způsobů měření netěsností.

1.1 Základní fyzikální souvislosti

Pojem *netěsnost* může být uvažován jako množství *tekutiny*, které vyteče z uzavřené nádoby určitého *objemu* za jednotku *času*. Jedná se tedy v podstatě o objemový *průtok* Q_V , který je definován jako objem tekutiny, který proteče daným průřezem za jednotku času

$$Q_V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt}, \quad (1)$$

kde ΔV je elementární objem protékající tekutiny a Δt je časový interval. Jednotkou objemového průtoku je $m^3 \cdot s^{-1}$.

Protože měření netěsnosti světlometu je chápáno jako měření poklesu tlaku, v konstantním objemu, je vhodné upravit rovnici objemového průtoku o tlakovou veličinu p takto

$$Q_L = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot V = \frac{dp}{dt} \cdot V, \quad (2)$$

kde Δp je tlaková difference, V je objem nádoby a Δt je časový interval. Jednotkou potom bude $Pa \cdot m^3 \cdot s^{-1}$.

Pojem tlaková difference označuje rozdíl dvou absolutních tlaků. Absolutní tlak je tlak měřený na stupnici začínající při nulovém tlaku, tj. v absolutní nule. Normální, tj. atmosférický (barometrický) tlak, nebo také fyzikální atmosféra nemá hodnotu absolutní nuly, ale je mu definitoricky přisouzena hodnota 101 325 Pa, což je tlak který odpovídá průměrnému atmosférickému tlaku při hladině moře při teplotě 0° C [13].

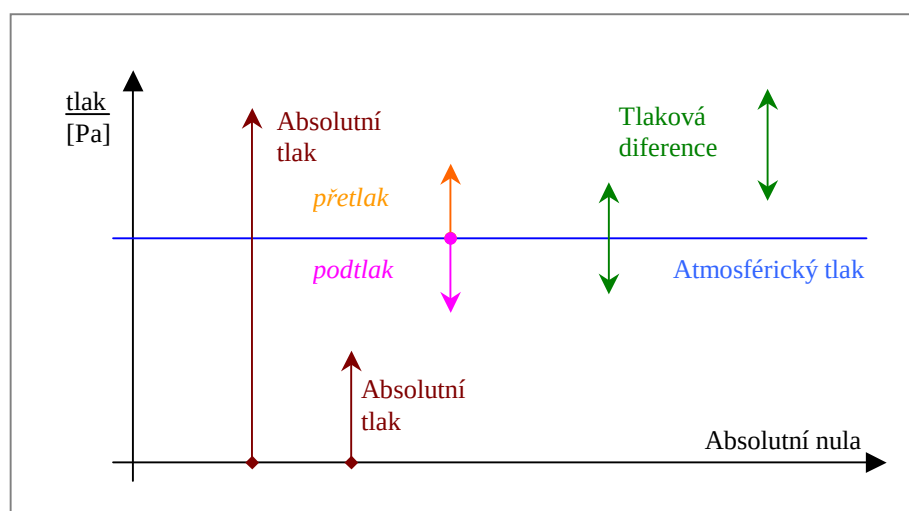
V souvislosti s pojmem atmosféra je vhodné poznamenat, že určení základní hodnoty velikosti atmosférického tlaku není jednoznačné. Existuje tzv. technická atmosféra, a fyzikální atmosféra. Fyzikální atmosféře je určena výše uvedená hodnota v Pa, která se značí jako 1 atmosféra, neboli 1 atm. Velikost technické atmosféry vychází z použití starších jednotek síly. Jednotkou je pro rozlišení od fyzikální atmosféry 1 at a tato hodnota je rovna tlaku, kterým působí síla jednoho Kilopondu na čtverečný centimetr. Velikost

tohoto tlaku je 98 066,5 Pa. Fyzikální atmosféra je tedy přibližně o 3 % větší, než technická atmosféra. V technické praxi se někde tato hodnota stále ještě používá [13]. V této práci bude vždy myšlena velikost tlaku fyzikální atmosféry.

V souvislosti s výše uvedenými poznatky dále zavádíme pojmy *přetlak* a *podtlak*.

Přetlak je tlak, který nabývá kladné hodnoty vůči vztažné smluvené nulové hodnotě, tzv. relativní úrovni, za kterou je obvykle volen tlak atmosférický [14].

Podtlak je takový tlak, který nabývá záporné hodnoty vůči relativní úrovni tlaku. Velký podtlak, což znamená malý absolutní tlak, se nazývá vakuem [15]. Názorně jsou vztahy mezi těmito pojmy znázorněny na obrázku (Obr. 1).



Obr. 1. Pojmy užívané v souvislosti s měřením tlaku

V technické praxi je běžné používat k určení hodnoty velikosti tlaku měřidla, která mají stupnici cejchovanou v barech. Hodnota 1 bar odpovídá 100 kPa. Z výše uvedeného vyplývá, že tlak na měřidlech je uveden přibližně v hodnotách absolutního tlaku.

Rozdíl 1 325 Pa je při odečítání stupnice většinou nepodstatný, a při vyjádření tlakové difference se rozdíl samozřejmě vylučuje.

1.1.1 Ideální plyn

Ideální plyn je takový plyn, jehož částice na sebe vzájemně nepůsobí a objem, který částice zaujímají je nekonečně malý [14]. Můžeme také říct, že ideálním plynem rozumíme takový, který je dokonale tekutý, bez vnitřního tření a dokonale stlačitelný [13].

Chování ideálního plynu popisuje stavová rovnice [13]:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T, \quad (3)$$

jako součin absolutního tlaku ideálního plynu p a objemu V , který je roven součinu počtu molů n , plynové konstanty R a termodynamické teploty T .

Kvantita plynu je tedy vyjádřena látkovým množstvím n , které představuje počet molů ve vzorku libovolné látky [14]. Toto množství lze určit ze vztahu

$$n = \frac{N}{N_A}, \quad (4)$$

kde N je počet molekul ve vzorku a N_A Avogadrova konstanta, která má hodnotu

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

Hodnota 1 mol je takové látkové množství soustavy, která obsahuje tolik elementárních entit, kolik je atomů v 0,012 kg izotopu uhlíku $^{12}_6\text{C}$.

Ideální plyn je samozřejmě idealizovaná veličina a běžně se s ním v přírodě nesetkáme. Používá se ke studiu vlastností a modelování fyzikálních dějů. Chování všech reálných plynů se blíží svými vlastnostmi chování plynu ideálního při nízkých hustotách, s teplotou blízkou absolutní nule, což odpovídá větším vzdálenostem mezi molekulami [13].

1.1.2 Měrná plynová konstanta

Všechny plyny s vlastnostmi, jež se blíží ideálnímu případu, se vyznačují tím, že mají společné charakteristické číslo. Je to univerzální (molová) plynová konstanta

$$R_m = 8314,32 \pm 0,34,$$

jejíž jednotkou je $\text{J} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Vypočítá se jako součin Avogadrovy konstanty N_A a Boltzmannovy konstanty k :

$$R = N_m \cdot k. \quad (5)$$

Molární plynová konstanta se při znalosti molové hmotnosti M přepočítává na hodnotu měrné plynové konstanty konkrétního plynu.

$$r = \frac{R_m}{M}. \quad (6)$$

Hodnoty měrné plynové konstanty a molové hodnoty jsou uvedeny v tabulkách [14].

K výpočtu plynové konstanty plynu, složeného z více základních chemicky definovaných a vzájemně nereagujících složek se používá vztah

$$r = \frac{\sum (r_i M_i)}{\sum M_i}, \quad (7)$$

kde i je číselné označení jednotlivé složky.

1.1.3 Měrná tepelná kapacita

Udává elementární teplo, potřebné k ohřátí jednotky hmoty dané látky o elementární přírůstek teploty

$$c = \frac{dq}{dT}, \quad (8)$$

Protože však dq není úplný diferenciál, musí být předchozí vztah doplněn podmínkou, určující při jakém termodynamickém ději ke sdílení tepla došlo [14]. Rozlišujeme tedy

Měrná tepelná kapacita při stálém objemu

$$c_v = \left(\frac{dq}{dT} \right)_v, \quad (9)$$

měrná tepelná kapacita při stálém tlaku

$$c_p = \left(\frac{dq}{dT} \right)_p. \quad (10)$$

U plynů je měrná tepelná kapacita značně závislá na druhu stavové změny a mění se s teplotou. Poměr obou hodnot je však možné považovat v dosti širokém rozmezí parametrů za stálý a nazývá se *izoentropický exponent*

$$\chi = \frac{c_p}{c_v}. \quad (11)$$

Je to význačná charakteristika plynu, často potřebná při výpočtech ideálních stavových změn.

1.1.4 Základní děje

Základní vlastností plynů je jejich stlačitelnost. Tím se podstatně liší od kapalin. Vzduch podobně jako všechny plyny nemá stálý tvar. Přijímá tvar svého okolí. Lze ho stlačovat (komprese), resp. Má snahu se rozpínat (expanse) [15]. Popisem těchto dějů v reálných plynech se mimo jiné zabývá obor zvaný termodynamika. Při termodynamickém ději dochází ke změně stavu soustavy. Děj je *vratný*, jestliže nejen soustavu, ale i tu část okolí, která se na průběhu děje podílí, lze vrátit zpět do výchozího stavu. Děje, které této podmínce nevyhovují jsou *nevratné*. Skutečné termodynamické děje jsou více nebo méně *nevratné* [14].

K řešení dějů je nutné znát termodynamické vlastnosti látky. Ty jsou nejjednodušší u ideálního plynu s konstantními tepelnými kapacitami c_p a c_v .

1.1.5 Přehled vratných dějů

Izotermický děj probíhající při konstantní teplotě je technicky nerealizovatelný. Přesné splnění definiční podmínky by vyžadovalo buď ideální tepelný kontakt s okolím, nebo nekonečně pomalý průběh děje. Izotermický děj je užitečný pro teoretické úvahy jako hraniční porovnávací děj, např. pro skutečnou kompresi v chlazeném kompresoru [14].

Izotermický děj popisuje *Boyle – Marriotův zákon*. Objem plynu v uzavřeném prostoru je při konstantní teplotě nepřímo úměrný absolutnímu tlaku, resp. součin absolutního tlaku a objemu určitého množství plynu je konstantní [15].

$$k = p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3. \quad (12)$$

Izobarický děj probíhá při konstantním tlaku. Je způsobem výměny tepla v průtokových ohřívácích a chladičích při zanedbání tlakových ztrát.

Tuto závislost popisuje *Gay-Lussacův zákon* [9]:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (13)$$

tedy poměr objemů se rovná poměru teplot, vyjádřených v Kelvinech.

Izochorický děj je definován konstantním objemem soustavy. Uskutečňuje se výměnou tepla v uzavřených nádobách, nebo ve válci tepelného stroje v okamžiku, kdy se píst nepohybuje [14].

Izochorický děj popisuje *Charlesův zákon* [9]:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}, \quad (14)$$

tedy jako poměr tlaků rovnající se poměru teplot, vyjádřených v Kelvinech.

Adiabatický děj je definován podmínkou dokonalé tepelné izolace soustavy. Většinu expanzí a kompresí ve strojích lze, při zanedbání výměny tepla s okolím, považovat za adiabatické. Adiabatický vratný děj ideálního plynu je izoentropický [14].

Adiabatický děj je popsán rovnicí [9]:

$$pv^\chi = p_1 v_1^\chi = p_2 v_2^\chi = \text{konst.} \quad (15)$$

Polytropický děj je zobecněn vratným ideálním dějem [14]. Rovnice polytropické změny stavu má tvar [9]:

$$p \cdot v^n = \text{konst.}, \quad (16)$$

kde n je polytropický exponent, který může teoreticky nabývat libovolné hodnoty od $-\infty$ do $+\infty$. Předchozí ideální děje jsou tedy zvláštními případy obecného polytropického děje za předpokladu [14]:

- $n = \pm \infty$ izochorický děj
- $n = 0$ izobarický děj
- $n = 1$ izotermický děj
- $n = \chi$ izoentropický děj.

V technické praxi umožňuje polytropický děj popsat v tepelných strojích komprese a expanze s výměnou tepla, u kterých se hodnoty polytropického exponentu výrazně neliší od izoentropického exponentu [14].

Na základě experimentálních údajů ve dvou bodech polytropického děje lze z rovnice polytropy určit hodnotu polytropického exponentu

$$n = \frac{\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}{\log\left(\frac{v_1}{v_2}\right)}, \quad (17)$$

popřípadě z průběhu polytropického děje poměrem tlakové a objemové práce

$$n = \frac{w_{t12}}{w_{12}}. \quad (18)$$

1.1.6 Některé nevratné děje

Technické děje jsou zpravidla provázeny nevratnými ztrátami (tření, sdílení tepla, mísení atd.) spojenými se vzrůstem entropie soustavy i za předpokladu tepelné izolace soustavy vůči okolí [14].

Tření vzniká při pohybu částic s uvolňováním třecího tepla dq na úkor mechanické energie. Třecí teplo zvyšuje teplotu soustavy, i když se z okolí žádné teplo nepřivádí a vyvolává přírůstek měrné entropie

$$ds = \frac{dq}{T}, T > 0. \quad (19)$$

Vyrovňávání teploty mezi látkami v soustavě o různých teplotách, přičemž $T_1 > T_2$. Teplo dq , které se odvádí z látky o teplotě T_1 přechází na látku o teplotě T_2 . Celková změna měrné entropie soustavy je součtem změn obou látek [9]

$$ds = ds_1 + ds_2 = dq \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right). \quad (20)$$

Vyrovňání tlakového rozdílu dvou nádob, z nichž jedna o objemu V_1 je naplněna plynem o tlaku p_1 a teplotě T_1 a druhá je vzduchoprázdná o objemu ΔV . Propojením nádob proběhne expanze a plyn o stavu 2 zaplní celý prostor $V_2 = V_1 + \Delta V$. Plyn nekoná práci, a proto v izolované soustavě nedochází ke změně vnitřní energie soustavy a teplota ideálního plynu se po expanzi nezmění: $T_2 = T_1$. Potom lze nahradit nevratný děj izotermickou expanzí [14].

1.1.7 Stavová rovnice plynů

Stavová rovnice vyjadřuje vzájemnou závislost teploty, tlaku a hustoty plynu v kontrolním objemu.

Zákonitosti uvedené v předešlých odstavcích lze vyjádřit zjednodušeně společně touto stavovou rovnicí [15].

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = konst \quad (21)$$

Spojením *Boyleova-Mariottova a Gay-Lussacova zákona* vyplyne pro ideální plyny stavová rovnice

$$\frac{p}{\rho} = rT \quad (22)$$

která dobře vyhovuje pro mnoho v praxi se vyskytujících plynů i v širokém rozsahu tlaků a teplot [14]. Tato rovnice je první aproximací obecnějšího znění stavové rovnice

$$\frac{p}{(\rho r T)} = 1 + B(T)\rho + C(T)\rho^2 + \dots \quad (23)$$

v níž $B(T)$, $C(T)$ jsou korekční součinitelé teploty, nikoliv tlaku. Hodnotu prvního součinitele lze vyjádřit ve tvaru

$$B(T) = b_1 - \frac{b_2}{(rT)}, \quad (24)$$

kde konstanty b_1 a b_2 udává literatura. Stavová rovnice s prvními dvěma členy na pravé straně odpovídá van der Waalově rovnici, která je psána ve tvaru

$$p + b_2 \rho^2 = \frac{(\rho r T)}{(1 - b_1 \rho)}, \quad (25)$$

Stavová rovnice plynů umožňuje určit jednu stavovou veličinu při znalosti zbývajících dvou za předpokladu že je známa hodnota plynové konstanty.

1.1.8 Stavová rovnice reálných plynů

Stavové chování reálných plynů vykazuje většinou odchylku od rovnice (2). Proto byl zaveden takzvaný *kompresibilitní činitel* z , který je určen rovnicí [14]

$$z = \frac{pv}{r \cdot T} = \frac{p \cdot V_m}{R_m \cdot T} \lessgtr 1, \quad (26)$$

kde V_m je molová hmotnost. Pro ideální plyn je hodnota kompresibilitního činitele $z = 1$.

1.2 Základní principy měření netěsnosti

Těsnost je relativní pojem [8]. Absolutně těsné součásti neexistují. Požadovaná těsnost zkoušeného kusu je vždy vztažena na způsob použití. K tomu musí být stanoven odpovídající postup testování netěsnosti, velikost vstupního tlaku a přípustné hodnoty úniku netěsností.

Zkouškou těsnosti se prokazuje, zda celek tělesa zkoušeného prvku je odolný vůči působení okolního prostředí. Působením okolního prostředí se myslí pronikání nežádoucích látek netěsnými spoji do, nebo z tělesa.

Definice přípustných hodnot úniku spočívá ve stanovení přípustného úniku netěsností V_{LDOV} . Pro sledovaný objekt potom platí:

$$\dot{U}_{\text{nik}} < V_{LDOV} = \text{těsný} \quad (27)$$

$$\dot{U}_{\text{nik}} \geq V_{LDOV} = \text{netěsný}. \quad (28)$$

Tedy, jak velký může být únik vzduchu, aby se zaručilo, že v provozních podmínkách nebude výrobek propouštět kapalinu, nebo jak bude odolný vůči průniku nežádoucích látek [16].

Přípustný únik je pro každý případ použití jiný. Je závislý na řadě vlivů, jako například na materiálu dílu, konstrukčním provedení a na konkrétních podmínkách předpokládaného provozu. Svůj význam mají také další vlivy, jako je tloušťka stěny dílu, dostupnost povrchu a charakter poréznosti (lunkry, trhliny) [1].

Při určování přípustného úniku v rámci průmyslové výroby jsou rozhodující především ekonomická hlediska. Zkouška má být přesná jen tak, jak je to nutné a ne tak, jak je to proveditelné. Je-li mezní únik stanoven na nižší úroveň, než je požadovaná hodnota, stoupá počet nevyhovujících dílů a rostou náklady.

Definované unikající množství vzduchu (únik netěsností) je předpokladem pro automatické zkoušení těsnosti. Nulový únik netěsností není možné zjistit žádným zkušebním postupem [8].

Netěsnost je vyjádřena tzv. mírou úniku, která je definována jako množství tekutiny, které unikne těsným uzávěrem. Tekutina, tlakový rozdíl, směr úniku a umístění musí být specifikováno. Přípustné hodnoty pro výrobní úniky se musí určit empiricky. Pro testování automobilových světlometů ve firmě Hella je toto určeno vnitropodnikovou normou.

Zkouška těsnosti může být prováděna následujícími metodami:

- *Penetrační zkouška* - princip je založen na pronikání detekční vztlínové kapaliny do místa netěsnosti.
- *Podtlaková zkouška* - je založena na principu vytvoření podtlaku ve zkoušeném objektu a následném sledování vyrovnání tlaku.
- *Přetlaková zkouška* - principem je na vytvoření přetlaku ve zkoušeném objektu a následném sledování poklesu tlaku, nebo hledání unikajících míst. Přetlak je možno vytvořit:
 - ❑ *Hydraulicky (pracovní tekutina, je-li nežíravá, nejedovatá, nehořlavá a nevýbušná, zpravidla voda) [25]*
 - ❑ *Pneumaticky (vzduch, nebo inertním plyn)*
- *Ultrazvuková zkouška* - je založena na pronikání a odrazu ultrazvukových vln v místech necelistvostí zkoušeného materiálu. Vlny vysílané a přijímané UZ sondou se zobrazí jako echogram na ultrazvukovém defektoskopu [23]. Zkouškou lze zjistit například provaření svarového spoje.
- *Zkouška vysokým napětím* - je založena na vzniku elektrického výboje v místě netěsnosti zkoušeného předmětu vlivem vysokého napětí. Elektrický výboj je indikován akustickým signálem detektoru nebo vizuálně.

Jako další detektory netěsností jsou v literatuře uváděny vizuální kontrola, čich, naslouchání a použití detektorů plynu. Použití v sériovém provozu je ovšem diskutabilní, a také vypovídací schopnost je malá.

1.2.1 Přetlaková zkouška těsnosti

Těsnost automobilového světlometu je sériově testována přetlakovou zkouškou. Použití této metody je dáno především snížením rizika pronikání nežádoucích látek dovnitř světlometu při vytvoření přetlaku.

Při automatickém testování netěsností vzduchem je zkoušený objekt vystaven působení tlakové difference a zjistí se, jestli uniká vzduch. Unikající vzduch není možné bezprostředně změřit. Sleduje se tedy účinek buď jako změna tlaku při oddělení objektu od zdroje tlakového vzduchu (měření tlaku) nebo proud vzduchu při připojení na zdroj

tlakového vzduchu (měření přítoku). Jak pro měření tlaku tak i pro měření průtoku existují různé možnosti.

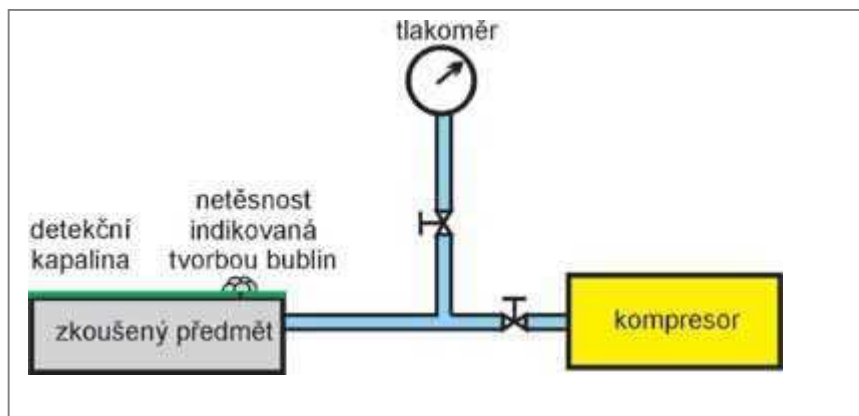
Používání kapaliny pro vytvoření přetlaku ve světlometu není vhodné. Světlometry obsahují spoustu kovových a elektrických dílů, které se mohou po styku s kapalinou stát nefunkční. Také je velmi obtížné vysušit vnitřní prostor světlometu. Dalším problémem je vlastní doprava kapaliny na místo zkoušky. Nejvhodnějším médiem je tedy použití zkušebního plynu. Viskozita plynů v porovnání s kapalinami je menší a tak se zkouškou dosáhne podstatně větší přesnosti. Porézními místy, kterými prakticky nepronikne žádná kapalina, plyn jako zkušební médium proniká a lze tak měřit netěsnosti.

Při přetlakových zkouškách musí být zkušební plyn bezpečný z hlediska biologického účinku na lidský organismus a z hlediska výbušnosti, použití kyslíku je nepřípustné. Jako zkušební médium je tedy užíván tlakový vzduch. Dalšími důvody jsou:

- Vysoká bezpečnost a spolehlivost zkoušky
- Objektivní a kvantifikované vyjádření
- Krátké časové trvání zkoušky
- Nízké investiční a provozní náklady
- Dostatečná přesnost
- Šetrná zacházení s dílem
- Jednoduché zařazení do výrobního procesu
- Jednoduché kalibrace
- Snadná dostupnost z centrálního rozvodu tlakového vzduchu.

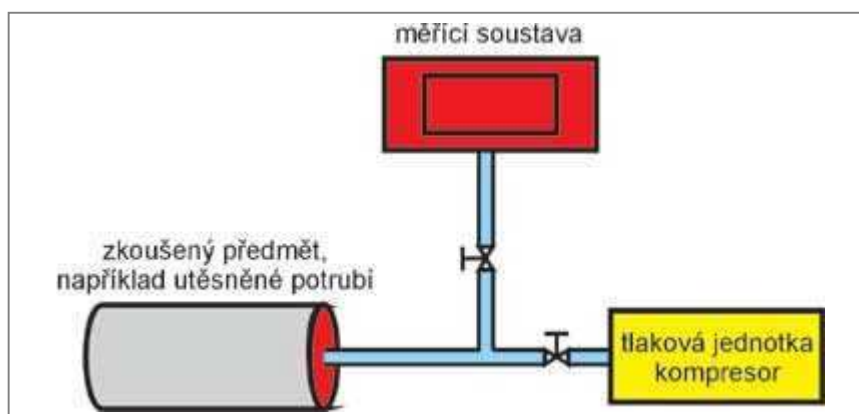
Přetlakovou zkoušku můžeme dále rozdělit podle způsobu určení netěsnosti na zkoušku lokalizační tzv. bublinkovou, a integrální.

Lokalizační zkouška spočívá ve vytvoření přetlaku ve zkoušeném předmětu a následně v potírání míst možného výskytu netěsnosti, (např. sváry, lepené a šroubované spoje, atd.) detekčním roztokem [23]. Tento bývá většinou na bázi saponátu. Případná netěsnost se projeví tvorbou bublin na povrchu zkoumaného objektu (Obr. 2). Výhodou této metody je okamžitá lokalizace netěsnosti. Nevýhodou je nemožnost přesného numerického vyjádření velikosti netěsnosti.



Obr. 2. Přetlaková zkouška těsnosti lokalizační

Principem *Integrované zkoušky* je vytvoření přetlaku a následné měření poklesu tlaku měřicí aparaturou, (Obr. 3). Podle velikosti nebo rychlosti poklesu tlaku je následně určena velikost netěsnosti. Výhodou této metody je znalost velikosti netěsnosti. K přesné lokalizaci netěsného místa ale musí být použita metoda předchozí.



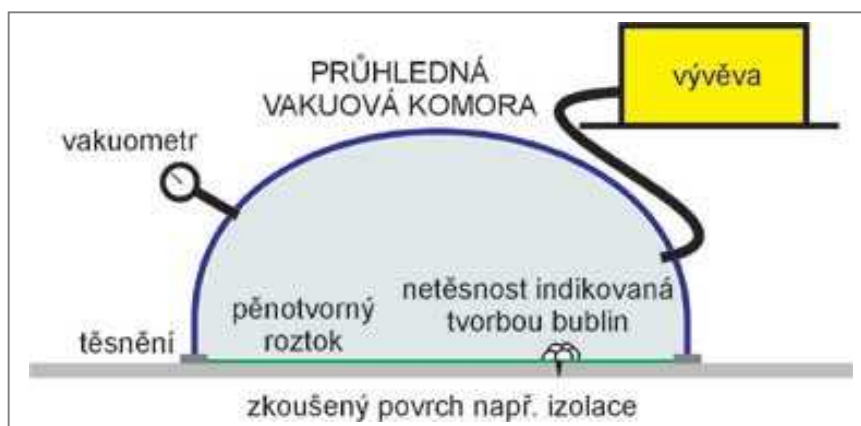
Obr. 3. Přetlaková zkouška těsnosti integrální

1.2.2 Podtlaková zkouška těsnosti

Podtlaková (vakuová) zkouška těsnosti pracuje na principu opačném než přetlaková zkouška a to vytvořením podtlaku ve zkoušeném objektu. Jako pracovní médium je zde používán výhradně zkušební plyn. Podtlaková zkouška může být také použita pro hledání netěsností v automobilovém světlometu, zde ale hrozí riziko pronikání nežádoucích částic do vnitřku světlometu nasátím podtlakem u případné netěsnosti. Zkušební okolí by tedy muselo být zajištěno zcela bez přítomnosti cizích částic, minimálně prachotěsné. Toto řešení zvyšuje náklady na provoz, proto je vhodnější zkouška přetlaková.

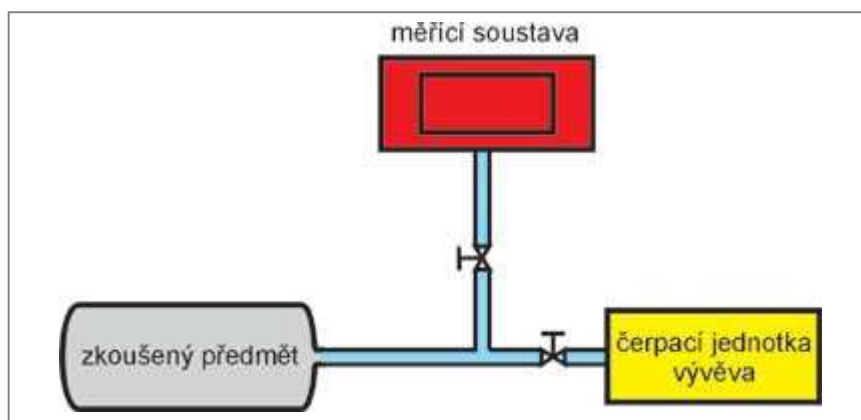
Podle místa vytvoření podtlaku můžeme rozlišovat podtlakovou zkoušku těsnosti lokalizační s využitím zkušebního zvonu, a zkoušku integrální – celkovou.

Zkouška těsnosti lokalizační využívá k určení netěsného místa průhledného zkušebního zvonu, který se přiloží na zkoušené místo [23]. Toto místo musí být předem natřené detekčním roztokem. Ve zkušebním zvonu se pomocí vývěvy vytvoří definovaný podtlak – vakuum. Případná netěsnosti se projeví vytvářením bublin uvnitř zkušebního zvonu. Používá se především ke zjišťování těsnosti kovových a nekovových materiálů přístupných z jedné strany. Princip je znázorněn na (Obr. 4).



Obr. 4. Podtlaková zkouška těsnosti lokalizační s využitím zkušebního zvonu

Zkouška těsnosti integrální – celková, spočívá ve vytvoření podtlaku (vakua) uvnitř zkoušeného objektu a následném sledování poklesu tlaku na měřících přístrojích, (Obr. 1) [23]. Metoda je velmi citlivá a odhalí i velmi malé netěsnosti. Využívá se ke zjištění celkové (integrální) netěsnosti uzavřených objektů. K přesné lokalizaci netěsnosti musí být použita metoda výše uvedená. V případě vytvoření podtlaku ve zkoušeném objektu a následném použití detekční kapaliny pro lokalizaci místa netěsnosti hrozí riziko pronikání této kapaliny dovnitř objektu.



Obr. 5. Podtlaková zkouška těsnosti integrální

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 ROZBOR A POPIS PRAKTICKÉHO ŘEŠENÍ

V této části bude nejprve provedena analýza požadavků vnitropodnikových norem kladených na provádění zkoušky těsnosti. Další částí bude popis stávajícího zkušebního zařízení. Poté následuje kapitola, kde je uveden popis hardwarového vybavení, pro které byl napsán nový optimalizovaný program. V poslední části bude stručně popsán program, který je přílohou této práce.

2.1 Vnitropodnikové normy

Každý parametr světlometu, který je testován, je definován určitou normou, a musí být dokumentován. V koncernu Hella jsou všechny vnitropodnikové normy vedeny a evidovány v systému centrální správy norem NIS (Normen Information System) [1]. Normy v tomto systému slouží k upravování vztahů mezi jednotlivými společnostmi, jejich odděleními, určují jednotné parametry posuzování událostí,

Požadované parametry pro testování světlometů na netěsnost určuje především vnitropodniková norma Hella-Norm N67096 Dichtigkeitsprüfung von belüfteten Scheinwerfern [3] a dále Hella-Norm N67062 Dichtheitsprüfung lichttechnischer Geräte [2]. Provádění zkoušek na netěsnost je také upraveno v dalších normách, jako např. Hella-Norm N67001 Technische Lieferbedingungen für Scheinwerfer und Leuchten, které však přímo neurčují požadavky kladené na zkoušku těsnosti, nebo zařízení na zkoušku těsnosti, ale upravují četnosti zkoušek, značení přezkoušeného kusu, dokumentaci zkoušek, atd.

Zkoušeným kusem rozumíme pro účely této práce automobilový světlomet.

2.1.1 Obecné požadavky vnitropodnikových norem

Každý vyrobený světlomet v koncernu musí být přezkoušen na netěsnost (leak test) [3]. Tento test se nazývá 100 % zkouška [2]. Těsnost je jednou z nejdůležitějších vlastností světlometu a patří k základním parametrům uváděným i v životopise dílu/ výrobku. Podle výsledku testu je světlomet vyhodnocen jako těsný (OK), nebo netěsný (not OK).

Těsný výrobek musí být označen dle normy N21175-01 [7] a dále pokračuje výrobním procesem.

Netěsný světlomet musí být prokazatelně vyřazen z výrobního procesu, označen etiketou „not OK“, případně „netěsný“ a analyzován. Příčina netěsnosti musí být určena a netěsné místo lokalizováno. Poté je výrobek demontován a jednotlivé dílce recyklovány.

Vyřazení netěsného kusu z výrobního procesu závisí na stupni automatizace montážního zařízení. V případě ručního vkládání a odebrání následuje, po vyhodnocení netěsného kusu, akustický nebo vizuální signál a cyklus zkušebního zařízení se automaticky zastaví. Obsluha musí potvrzením chybového tlačítka uvolnit zařízení, které se tímto uvede do výchozího nastavení, poté vyjme netěsný kus, označí jej a vyřadí. V případě výskytu více netěsných kusů vyřazených za sebou je nutné zastavit výrobu a najít příčinu netěsnosti.

Světlometry se pro účely provádění zkoušky těsnosti dělí na [2]:

- **Světlometry s odvětráním (odvětrané)** - jsou takové světlometry, které mají odvětrávací otvory. Tyto technologické otvory slouží k vyrovnávání tlaku vzduchu uvnitř světlometu během vykonávání jeho hlavní funkce, tj. svícení. Při rozsvícení žárovky dochází ke zvýšení vnitřní teploty a tím k nárůstu tlaku uvnitř světlometu. U malých objemů světlometů dochází k relativně velkému nárůstu tlaku, což vede k tvorbě páry.
- **Světlometry bez odvětrání (neodvětrané)** - nemají odvětrávací otvory. Jsou to především zadní skupinové svítilny, které se montují přímo do karoserie. Odvětrání je tedy zajištěno průduchy v karoserii.

V současné době se stále vyrábějí především světlometry s odvětráním.

Jako měřítko pro těsnost světlometu se užívá míra netěsnosti „ Q_L “ (Q_{Leak}) [2]:

$$Q_L = \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot V, \quad (29)$$

kde ΔP je tlakový rozdíl v určitém objemu V za měřenou jednotku času Δt . Použití míry netěsnosti ve spojení s tlakovým rozdílem za jednotku času na objemovou jednotku je především z praktického důvodu. Tím je fakt, že se míra netěsnosti mění s velikostí zkušební tlaku. Jednotkou je $\text{mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$.

Maximální možný únik za jednotku času při uvedeném zkušebním tlaku (přetlaku vůči okolní atmosféře) je předepsán pro libovolný světlomet dle rozdělení podle přítomnosti odvětrávacích otvorů. Předepsané hodnoty jsou uvedeny v (Tab. 1). Uvedené hodnoty

zkušební tlaku jsou dosti nejednoznačné, ovšem z následujícího výkladu a především z (Tab. 2) se lze domnívat, že tyto jsou minimálními hodnotami, pro které platí uvedené rozsahy míry netěsnosti Q_L . Rovněž konzultace s autorem příslušné normy tuto domněnku potvrdila.

Tab. 1. Předepsané hodnoty míry úniku dle druhu světlometu při zkušebním tlaku

Zkušební tlak p_p	Světlometry bez odvětrání	Světlometry s odvětráním
25 mbar	$Q_L \leq 0,05$	$Q_L \leq 0,5$
50 mbar	$Q_L \leq 0,1$	$Q_L \leq 1,0$

Zkušební tlak je předepsán v závislosti na celkovém objemu zkoušeného světlometu a zkušebního zařízení. Objemem zkušebního zařízení se rozumí objem připojených hadic (plnicí a měřicí), nebo utěšňovacího přípravku a vnitřního objemu testovacího přístroje [3]. Testovacím přístrojem je zde myšlen převodník tlaku.

Hodnoty zkušební tlaku v závislosti na objemu jsou uvedeny v (Tab. 1). Je možné si všimnout nesouladu mezi zkušebním tlakem uvedeným v (Tab. 1 a Tab. 2), ve které není uveden zkušební tlak 25 mbar, ale až hodnota 30 mbar jako minimum pro světlomet o objemu menším než 5 litrů.

Zkušební tlak 25 mbar je totiž normou povolen pouze ve výjimečných případech, a to při testování světlometů, u kterých je jako těsnící hmota použit 1 K (jedno-komponentní) silikon.

Zkušební tlak tedy závisí na objemu světlometu a také na použitém těsnícím tmelu.

Tab. 2. Předepsané hodnoty zkušební tlaku (přetlaku) dle objemu světlometu

Objem	Zkušební tlak p_p [mbar]
< 5 l	30 – 50
> 5 l	30

2.1.2 Základní vlastnosti zkušebního zařízení

K zajištění vypovídací schopnosti, musí být splněny určité předpoklady vztažené na zkušební zařízení.

Vlastní testovací zařízení musí tedy splňovat následující kritéria [7]:

- Světlomet je umístěn v přípravku tak, že krycí sklo směřuje nahoru (ve směru svícení)
- Upevnění pouzdra a krycího skla světlometu musí být samostatné, tzn. že pouzdro je upevněno samostatnou skupinou upínacích prvků a sklo také samostatnou skupinou upínacích prvků
- Upínací přípravek musí umožňovat opakovatelné zakládání testovaného kusu
- Krycí sklo musí být upevněno bez působení síly ve směru spoje s pouzdem tak, aby se předešlo pohybu vzhledem k pouzdru během zkoušky těsnosti.
- Přítlak na krycí sklo není povolen
- Všechny technologické otvory (např. centrální zástrčka, odvětrávací otvory, atd.) světlometu musí být utěsněny
- Musí být k dispozici zdroj tlakového vzduchu regulovatelný minimálně do 60 mbar (6 kPa), aby mohl být prováděn test těsnosti s přetlakem 50 mbar.

Aby se zajistilo, že výsledek zkoušky odpovídá míře netěsnosti světlometu, musí být světlomet plněn pomocí plnicího vedení jediným otvorem a měřen druhým jediným otvorem měřicí hadicí.

Zařízení nesmí být umístěno v blízkosti zdrojů tepla, ani vystaveno přímému slunečnímu záření. Zkoušený kus nesmí být zahříván dotykem ruky před, nebo během zkoušky [3].

Musí být zajištěno, že těsnící prvky světlometu (např. O-kroužek na centrální zástrčce) nejsou neprodyšně stlačeny při upevnění v zařízení.

Dále musí být evidovány výsledky zkoušek. K tomuto účelu postačuje ukládat do paměti počty celkem provedených zkoušek, dále množství zkoušek s výsledkem OK, a množství zkoušek s výsledkem not OK. Aby se předešlo nesprávnému načítání počtu cyklů například zdvihem naprázdno, nebo opakovaným zkoušením jednoho stejného kusu, je vhodné hlídat vložení a odebrání zkoušeného kusu například světelnou závorou, nebo jiným vhodným způsobem.

K zajištění opakovatelnosti zkoušky a správné reprezentace výsledků musí být umožněno vykonávat na zařízení funkční zkoušku dle Hella-Normy N67096-01.

2.1.3 Požadavky na zadávání parametrů

Zkušební zařízení musí umožňovat zadávat a nastavovat parametry v daném rozsahu. Tyto parametry stanovuje provozní inženýr, nebo tým výrobních inženýrů. Zadávání, nebo modifikace hodnot musí být umožněno pouze přes zabezpečovací zařízení, jakým může být například kódovací klíč, nebo nutnost zadání hesla k editaci. Také možnost změny parametrů přímou úpravou konstant v programu je povolena, protože tento způsob zaručuje provádění změn pouze kompetentní osobou.

Musí být umožněno zadávat následující parametry [3]:

- Čas plnění t_f [s]
- Čas uklidnění t_b [s]
- Korekce pro míru netěsnosti Q_{L-cor} [mbar·l·s⁻¹]
- Plnicí tlak p_f [mbar] a přípustná odchylka [%], nebo Minimální plnicí tlak p_{f-min} [mbar] a Maximální plnicí tlak p_{f-max} [mbar]
- Objem V [l]
- Hranice - míra úniku Q_L , nebo Hraniční hodnota úniku pro netěsný světlomet Limit- Q_L [mbar·l·s⁻¹]
- Čas měření t_m [s].

Hodnoty v závorkách určují měrnou jednotku, ve kterých je daná hodnota zadávána.

Parametry musí být umožněno zadávat v určitém rozlišení, neboli krocích, které jsou upraveny normou. Maximální rozlišení zadávaných jednotek je uvedeno v (Tab. 3).

Tab. 3. Požadované maximální možné rozlišení zadávaných jednotek

Jednotka	Rozlišení jednotek
Tlak [mbar]	1
Časy [s]	1/10
Míra netěsnosti [mbar·l·s ⁻¹]	1/100
Objem [l]	1/1000

2.1.4 Provádění zkoušky těsnosti

Vlastní průběh vykonávání zkoušky je v podstatě také určen obecným předpisem. Hlavním předpokladem k provedení testu je samozřejmě nutné mít vyrobený světlomet a také musí být k dispozici příslušné zkušební zařízení, které splňuje předepsané podmínky. Všechny přídatné dílce nezbytné k zajištění neprodyšnosti (např. krytky a odvětrávací elementy) musí být připevněny ke světlometu [3]. Technologické otvory pro vlastní provedení zkoušky na netěsnost musí být samozřejmě odkryté, nebo jiným způsobem přístupné pro nabití plnicí a měřicí hadice.

Zkušební cyklus probíhá v následujících krocích [3]:

1. Vložení světlometu
2. Upevnění světlometu za pouzdro
3. Utěsnění otvorů na pouzdru
4. Nabití plnicími a měřicími hadicemi
5. Fixace krycího skla
6. Vlastní zkouška (plnění, čas uklidnění, měření)
7. Pokud je výsledek zkoušky OK, pouzdro (světlomet) je označeno dle N21175-01.

V tomto uvedeném průběhu zkušebního cyklu není uveden postup při vyhodnocení světlometu jako netěsného. Vyřazení a označení netěsného kusu se proto řídí dle obecných požadavků na provádění zkoušek.

Také není nijak určeno, zda musí být průběh zkoušky automatický, nebo může být proveden ručně. Pouze značení světlometu posouzeného jako těsný musí být provedeno automaticky.

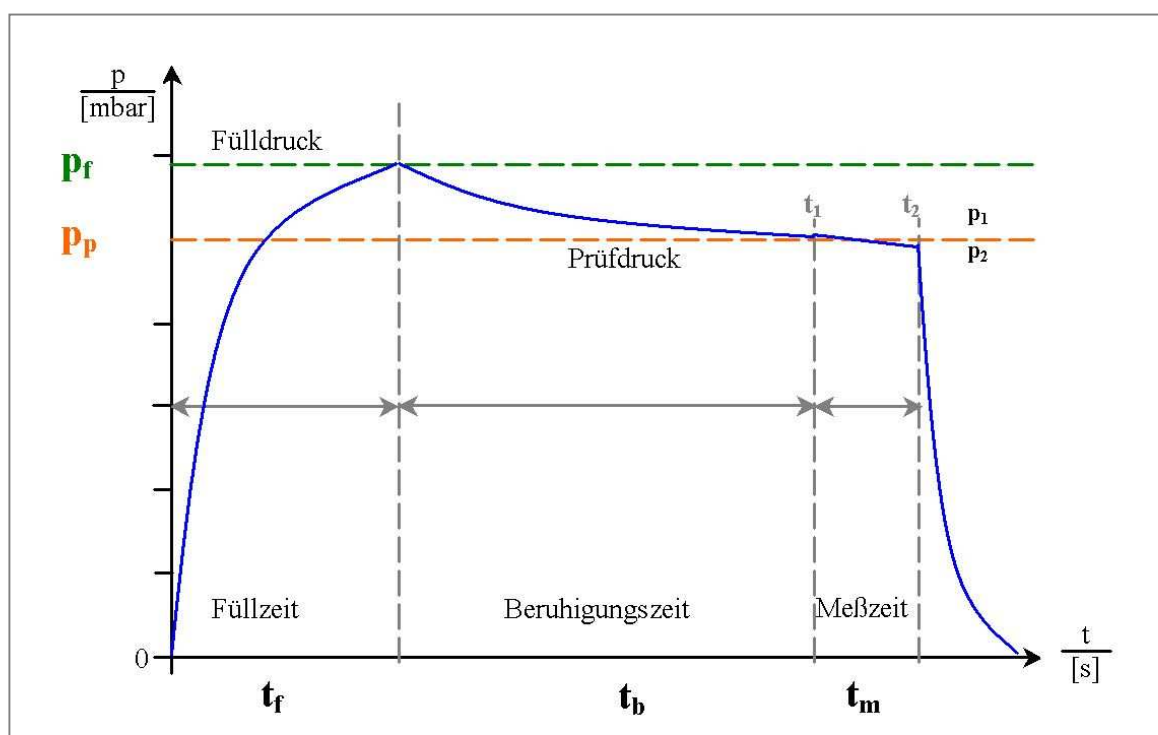
2.1.5 Vlastní průběh testu na vyhodnocení netěsnosti

Jak již bylo řečeno, testování světlometů na netěsnost se provádí metodou přetlaku. To znamená, že se světlomet plní definovanou dobu na určitý přetlak. Po dosažení plnicího tlaku, respektive po uplynutí doby, která je stanovena pro plnění určitým přetlakem, nastává doba uklidnění. Teprve po uplynutí této doby dochází k měření aktuálního přetlaku ve světlometu a z rychlosti poklesu tlaku se stanovuje míra netěsnosti.

Průběh testu je znázorněn na (Obr. 6).

Celý testovací cyklus tedy můžeme v podstatě rozdělit na tři časové úseky.

- **čas plnění t_f** , je takový čas, během kterého je plněn světlomet tlakovým vzduchem, až po dosažení přednastaveného plnicího přetlaku p_f .
- **čas uklidnění t_b** , je minimální čas, po kterém se míra netěsnosti v absolutně těsném světlometu blíží nule.
- **čas měření t_m** , během kterého dochází k vlastnímu měření poklesu tlaku, neboli k určení míry úniku.



Obr. 6. Průběh testu na netěsnost

Časy musí být voleny tak, aby potřebný zkušební tlak p_p byl dosažen ke konci času uklidnění [3]. Je jasné, že musí být pro každý světlomet různý. Není nijak stanoven způsob zjišťování času potřebného pro měření, běžnou praxí je zjišťovat tuto dobu experimentálně.

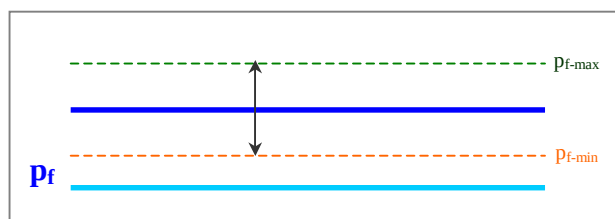
(Tab. 4) zobrazuje velikost doporučených hodnot měřicího času t_m v závislosti na objemu a velikosti zkušební tlaku p_p . Objem, jak již bylo řečeno se skládá z objemu vlastního světlometu, dále objemu připojených hadic (plnicí a měřicí), nebo utěšňovacího přípravku a vnitřního objemu testovacího přístroje. Objemy připojených hadic, nebo utěšňovacího přípravku a vnitřní objem testovacího přístroje je uveden v dokumentaci výrobce. Objem

světloometu udá jeho konstruktér a poté se tato hodnota experimentálně potvrdí. Prakticky se to vykoná tak, že se naleje do vnitřku světloometu kapalina a poté se změří její objem.

Tab. 4. Doporučené hodnoty pro určení času měření

Objem [l]	Zkušební tlak p_p [mbar]	Doporučená hodnota t_m [s]
$V < 1$	50	$t_m \approx 1$ s
$1 \leq V \leq 5$	30 - 50	$t_m \approx V$
$V \geq 5$	30	$t_m \approx V$

Plnicí tlak p_f musí být nastaven takovým způsobem, aby u absolutně těsného světloometu po uplynutí času uklidnění t_b poklesla hodnota tlaku ve zkoušeném kusu na úroveň zkušební tlaku p_p [3]. Požadované hodnoty zkušební tlaku p_p znázorňuje (Tab. 4). Hodnota plnicího tlaku se nastavuje včetně tolerancí, které mohou nabývat maximálních odchylek ± 10 %. Minimální plnicí tlak p_{f-min} musí být samozřejmě vyšší hodnoty, než je hodnota zkušební tlaku p_p . Názorně jsou toleranční meze vyobrazeny na (Obr. 7).



Obr. 7. Toleranční meze plnicího tlaku p_f

Míra úniku Q_L se následně určí z tlakového rozdílu za časovou jednotku. Pro její určení lze použít tento vzorec [3]:

$$Q_L = \frac{(p_1 - p_2)}{(t_2 - t_1)} \cdot V, \quad (30)$$

kde jednotkou bude $\text{mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$.

Míra úniku rovna nule je dosažena u světloometu bez jakéhokoliv tlakového poklesu (absolutně těsného).

K odhadu míry úniku závisující na zkušebním tlaku může být použita následující rovnice [3]:

$$Q_L = \frac{p_p}{50}, \quad (31)$$

kde p_p je zkušební tlak o rozměru mbar a konstanta 50 s rozměrem $s \cdot l^{-1}$. Výsledek je opět míra úniku s jednotkou $mbar \cdot l \cdot s^{-1}$.

Tab. 5. Referenční hodnoty míry úniku dle plnicího tlaku

Zkušební tlak p_p [mbar]	Míra netěsnosti Q_L [mbar·l/s]
≈ 25	$\approx 0,5$
≈ 30	$\approx 0,6$
≈ 50	$\approx 1,0$

Referenční hodnoty míry netěsnosti vycházející z této rovnice podle výše plnicího tlaku jsou uvedeny v (Tab. 5).

Aby se předešlo extrémně dlouhým dobám uklidnění, je používána korekce pro míru netěsnosti Q_{L-cor} . Ta se získá tak, že vypočtená hodnota míry úniku je odečtena od změřené. Korekce by měla mít hodnotu menší než $0,20 \text{ mbar} \cdot l \cdot s^{-1}$, aby se předešlo závažným nepřesnostem při měření [3].

2.1.6 Provádění pravidelných funkčních zkoušek

Pro zajištění způsobilosti provádění zkoušky těsnosti v nepřetržitém provozu, tj. že zařízení opakovaně správně vyhodnocuje míru úniku, je nutno zařízení preventivně kontrolovat a to formou pravidelných funkčních zkoušek [4].

Funkce zařízení je pravidelně přezkušována pomocí příslušného vzduchotěsného vzorku, který je použit místo světlometu. Tento způsob zaručuje stálé vlastnosti zkušebního kusu. Zařízení musí být vybaveno programem pro provádění pravidelné funkční zkoušky. Tento zkušební program se nazývá „dummy-test“ – test vzorkem.

Vzorek je vzduchotěsný ocelový válec s definovaným objemem 5 l, se vstupním (plnicím) a výstupním (měřicím) otvorem.

Aby mohla být simulována případná netěsnost, musí být zařízení vybaveno únikovým ventilem. Tento ventil slouží k nastavení definované netěsnosti, to znamená průtoku vzduchu v jednotkách, ve kterých je měřena míra úniku. Tento ventil odpouští vzduch do atmosféry a tím simuluje netěsnost.

Kontrola probíhá stejným způsobem, jako je prováděna vlastní zkouška těsnosti. Vzorek je vložen do přípravku a zkušební proces „dummy-test“ je spuštěn.

Funkční zkouška zařízení na kontrolu těsnosti

Test zařízení na zkoušku těsnosti probíhá ve třech fázích:

- Zkouška bez zkušebního úniku
- Kompenzace tlaku a vyrovnání teploty
- Zkouška se zkušebním únikem

V první fázi je vzorek přezkoušen na nulovou míru úniku bez zapnutí zkušebního úniku.

Výsledek testu musí ležet v rozsahu 20 % maximální přípustné míry úniku.

Fáze druhá je uklidnění, kdy po prvním testu musí dojít k vyrovnání tlaku a teploty. Délka této fáze je vypočtena ze součtu času uklidnění t_b a měřicího času t_m .

Ve třetí fázi je vzorek zkoušen se zapnutým zkušebním únikovým ventilem.

Výsledek testu musí ležet v rozmezí $\geq 100\%$ a $\leq 120\%$ z maximální povolené míry úniku [4]. Přehled výsledků zkoušek v první a v druhé fázi je shrnut do (Tab. 6).

Tab. 6. Výsledek testu s vypnutým a se zapnutým únikovým ventilem

Míra úniku bez zapnutého únikového ventilu	Míra úniku se zapnutým únikovým ventilem	Výsledek testu
$Q_L \leq 20\%$	$100\% \geq Q_L \leq 120\%$	OK
$Q_L > 20\%$	$100\% < Q_L > 120\%$	not OK

Vyhodnocení a indikace výsledků zkoušky

Jestliže oba výsledky testu jsou OK, zkoušecí zařízení vygeneruje OK zprávu a systém bude uvolněn pro výrobu.

Jestliže je nejméně jeden výsledek testu negativní, celkový výsledek testu je not OK. V tomto případě musí být zkouška opakována. Jestliže i poté bude stejný negativní výsledek, musí být neprodleně informován odpovědný tým provozních inženýrů a výrobní kontroly, kteří musí zajistit vhodné nápravné opatření.

Testovací interval a přídavné tolerance

K zajištění pravidelného provádění funkční zkoušky je v systému k dispozici čítač, který si po přezkoušení nastaveného denního počtu světlometů automaticky vyžádá pomocí zvláštního signálního světla test se vzorkem. Nastavený denní počet světlometů závisí dle

taktu dané montážní linky a počtu vyráběných kusů daného projektu. Neměl by být větší než jednodenní produkce s tolerancí + 10 %.

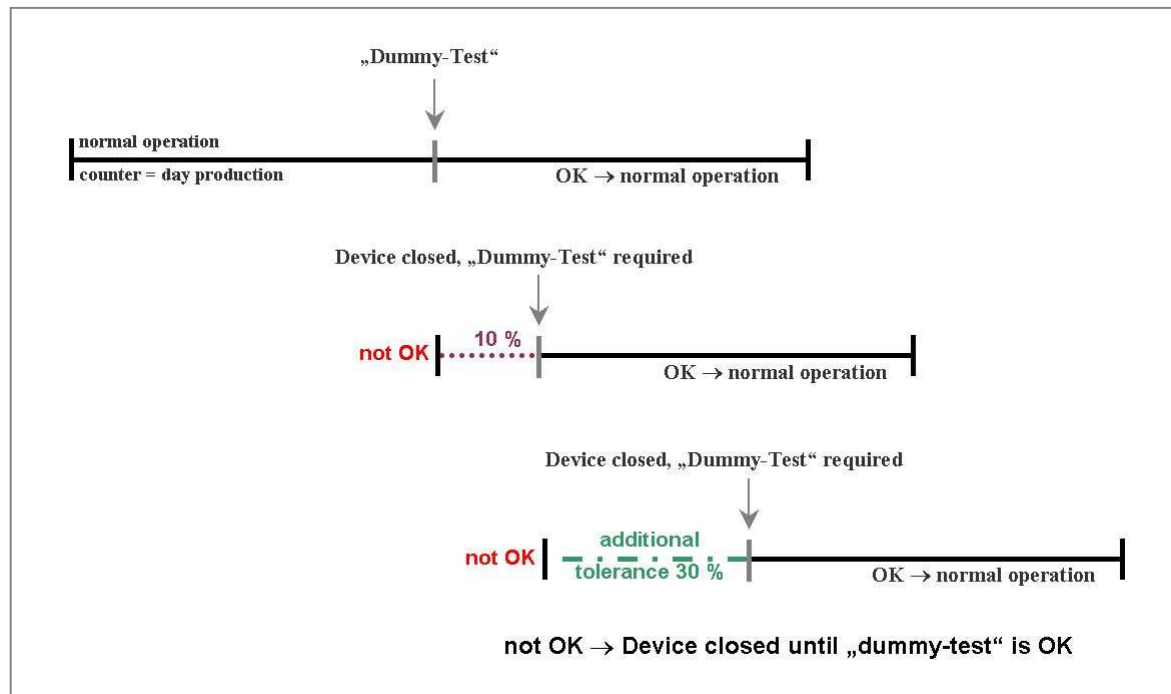
Po ukončení odpočítávání včetně tolerance bude zařízení zablokováno, dokud nebude vykonán test se vzorkem.

Pokud v případě negativního výsledku testu se vzorkem nemohou být ihned provedeny nápravná opatření (např. noční směna), může produkce pokračovat, ale pouze do určitého maximálního počtu. Tento počet se nazývá vyčkávací lhůta. Výrobky přezkušované v období této lhůty musí být umístěny do karantény a zpětně podrobeny další zkoušce.

Nastavená hodnota vyčkávací lhůty by měla činit přibližně 30 % zkušebního intervalu, tj. jednodenní produkce.

Po uběhnutí vyčkávací lhůty je nutné provést test se vzorkem s hodnocením OK, aby mohlo být zařízení uvolněno pro další užití. V případě not OK výsledku je zkušební zařízení zablokováno a musí se najít příčina nefunkčnosti zařízení.

Průběh zkušebních intervalů pro provádění funkční zkoušky je znázorněn na (Obr. 8).



Obr. 8. Průběh zkušebních intervalů

2.2 Měřicí a testovací přístroj typu VP5928

K měření netěsností se ve firmě Hella Autotechnik používá zkušební a testovací přístroj VP5928. Jeho výrobcem je oddělení konstrukce VMK Hella KGaA Hueck & Co. Tento přístroj je dodáván v kompaktním provedení, skládajícím se z vlastní univerzální rozvodné skříně (Obr. 9) a periferní konzole elektropneumatického obvodu (Obr. 10 a Obr. 12). Rozvodná skříň obsahuje PLC (Programmable Logic Controller), vybavené moduly s příslušnými hardwarovými předpoklady, elektroniku a operátorský panel LAUER PCS009 (Obr. 11). Tento panel zobrazuje průběh zkoušky těsnosti a pomocí něj jsou zadávány zkušební parametry a parametry přístroje.

Rozvodná konzole je vybavena elektropneumatickými obvody, ve kterých jsou integrovány měřicí a testovací prvky. Jeho součástí je také kompaktní pneumatická jednotka pro ovládání pneumatických pohonů.



Obr. 9. Zkušební přístroj VP5928

Přístroj je spolu s elektropneumatickou konzolou schopen okamžité funkce po připojení zdroje tlakového vzduchu o velikosti 5 barů, síťového napětí 220 V, 50 Hz, nastavení parametrů a připojení testovaného světlometu pomocí dvou přívodních hadic, z nichž jedna je plnicí a druhá měřicí.

Pro použití v běžném provozu není tato konfigurace vhodná, proto je kompletní přístroj umístěn do jednotky strojního výrobního zařízení, případně poblíž něj. Rozvodná konzole s elektropneumatickými prvky je umístěna co nejbližší zakládacímu přípravku pro testovaný světlomet.



Obr. 10. Foto konzole elektropneumatiky

2.2.1 Strojní výrobní zařízení

Strojní výrobní zařízení je dnes v koncernu standardizovaný univerzální set-box, použitelný pro většinu technologických operací. Zařízení se skládá z montážního stolu, skříně přípravky s pohyblivou deskou a ochranným krytem, dále z montážních prvků pro výměnné základací přípravky vyráběné skupiny, elektrického rozváděče a konzoly pro rozmístění elektropneumatických prvků, obsahující jednotku úpravy tlakového vzduchu kterou se realizuje připojení k centrálnímu rozvodu.

Toto univerzální řešení zjednodušuje konstrukci velké většiny strojních zařízení a zaručuje jejich vzájemnou kompatibilitu na úrovni základacích přípravků. Zapojení elektrických a pneumatických prvků je samozřejmě specifické pro každý stupeň technologické operace s ohledem na složitost výrobní skupiny daného výrobku a požadavků na počet prováděných činností na daném pracovišti. Pneumatická část se skládá většinou z ventilů obsluhujících pneumatické pohony. Elektrická část se skládá ze zdroje většinou stejnosměrného proudu, řídicí jednotky, snímačů veličin, startovacích a potvrzovacích tlačítek a signalizace. Dle potřeby je přítomen operátorský HMI (Human Machine Interface) panel pro komunikaci mezi operátorem/ obsluhou a řídicím systémem, případně pro vizualizaci průběhu vykonávané činnosti.

2.2.2 Parametry přístroje VP5928

Parametry lze zadávat prostřednictvím tlačítkové klávesnice operátorského panelu LAUER PCS009 (Obr. 11). LCD-displej panelu umožňuje zobrazení 4 řádků po 20ti znacích. K zadávání parametrů slouží 20 kláves panelu a čtyři funkční klávesy. Tyto funkční klávesy (F1-F4) je možno klávesou Shift na panelu rozšířit na další čtyři s významem F5-F8.

Neoprávněný přístup je blokován programovacím klíčem na čelním panelu zkušebního zařízení, který je nutno přepnout do polohy servis/ nastavení.

Vkládané parametry se dělí na *zkušební parametry* a *parametry stroje*.

Zkušební parametry (Prüfungsparametern) jsou takové, které definují požadavky na vlastní průběh zkoušky.

Parametry stroje (Maschinenparametern) jsou takové, kterými se zadávají požadované vlastnosti přístroje.



Obr. 11. Operátorský panel LAUER PCS009

2.2.3 Zkušební parametry

Ovládacím panelem je možné přímo zadat následující zkušební parametry:

- FÜLLZEIT: – plnicí čas. Nastavení je možné v rozsahu od 0,0 do 99,9 sekundy, velikost kroku 0,1 s.
- BERUHIGUNGSZEIT: - čas uklidnění, je možné zadat jej v rozmezí od 0,0 do 99,9 sekundy, velikost kroku 0,1 s.
- SCHLECHT-ABBRUCHZEIT: - doba přerušení v případě, že kus je špatný. Hodnotu je možno zadat v rozmezí od 0,0 do 99,9 s, velikost kroku 0,1 sekundy.

- KORREKTURWERT: - opravná hodnota, udána v jednotkách mbar.l.s^{-1} , při velikosti kroku 0,01.
- MIN. FÜLLDRUCK: - minimální plnicí tlak v rozsahu 0-99 mbar, krok 1 mbar.
- MAX. FÜLLDRUCK: - maximální plnicí tlak v rozsahu 0-99 mbar, krok 1 mbar.
- VOLUMEN: - objem zkoušeného kusu v jednotkách litrů a rozlišení 0,001 litru.
- LECKRATENGRENZWERT: - hraniční hodnota úniku uvedená v mbar.l.s^{-1} , s velikostí kroku 0,01.

Velikost plnicího tlaku se nastavuje jemným regulátorem tlaku na elektropneumatické konzoli. Hodnota tlaku je orientačně zobrazena na manometru regulátoru, ale přesné zobrazení v jednotkách milibar je uvedeno na displeji ovládacího panelu.

Měřicí čas nastavuje zkušební přístroj automaticky, v závislosti na objemu zkoušeného výrobku [5].

Přístroj umožňuje uložit do paměti až 16 (0-15) nezávislých programů pro testování netěsnosti. K pojmenování slouží 8-mi místné kódové označení výrobku.

2.2.4 Parametry stroje

Parametry stroje slouží k nastavení požadovaného chování vůči externím periferiím. Přístroj je možno používat zcela samostatně, nebo ve spojení s nadřazeným řídicím systémem.

V případě samostatného užití lze zkušebním přístrojem ovládat až čtyři skupiny elektropneumatických okruhů, jejichž funkce je kontrolována koncovými snímači, nebo trvá zadanou dobu.

- První skupinou je ovládání a funkce bezpečnostních prvků, jako jsou například bezpečnostní dveře a tlačítka total-stopu.
- Ve druhé skupině je zařazeno ovládání najetí upínacích prvků do koncových poloh.
- Třetí skupina zahrnuje ovládání pohybu utěšňovacích pneumatických pohonů.
- Čtvrtá skupina slouží k ovládání razníku, který potvrzuje dobrý kus. Dále je v ní obsažena světelná signalizace výsledku zkoušky.

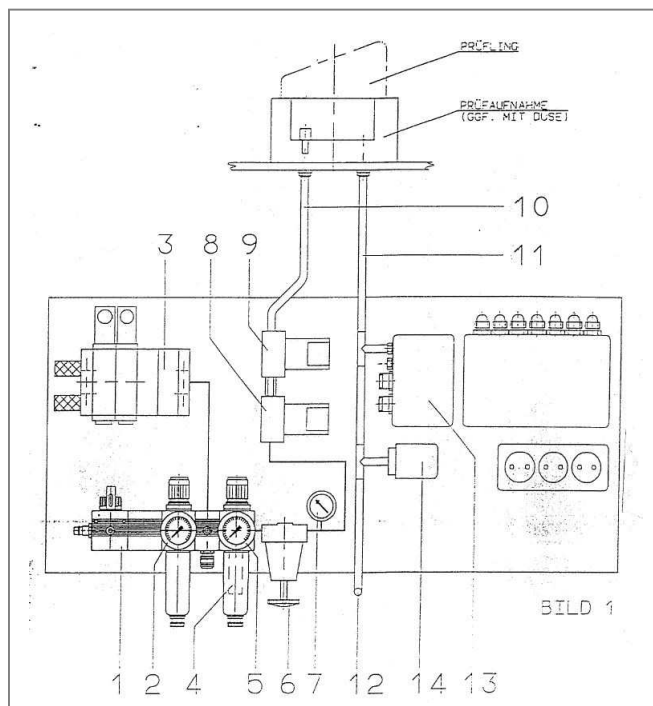
Každou ovládanou skupinu lze jednotlivě vypnout. Dle potřeby je také možné u libovolné skupiny vypnout požadavek na kontrolu funkce koncovým snímačem, nebo nastavit dobu trvání funkce na 0 s.

Ke spojení s nadřazenou řídicí jednotkou je určena zdírka obsahující 39 pinů. Z těchto pinů je ovšem 36 vyhrazeno pro spojení zkušebního zařízení s ventilovými jednotkami pro ovládání pneumatických pohonů, potvrzujícího tlačítka a startovacího tlačítka. Zbylé tři piny jsou určeny pro tzv. „externí řízení“, jak je uvedeno v menu přístroje. V tomto případě znamená externí řízení zasílání žádosti o spuštění zkoušky z externího zařízení. Po vykonání zkoušky je tímto způsobem poslána zpět informace o výsledku testu.

2.2.5 Popis konzole pneumatických prvků

Konzole elektropneumatických prvků (Obr. 10 a Obr. 12) se skládá z následujících komponentů:

- 1 Jednotka úpravy vstupního tlakového vzduchu
- 2 Regulátor tlaku – pracovní tlak pro pneumatické prvky
- 3 Ventilová jednotka pro pohyb pneumatických pohonů
- 4 Jemný filtr úpravné jednotky
- 5 Regulátor tlaku – vstupní tlak do měřicího systému
- 6 Regulátor tlaku – jemné nastavení pracovního tlaku v mbar
- 7 Manometr pro plnicí tlak
- 8 Předřazený ventil
- 9 Plnicí ventil
- 10 Plnicí přívodní hadice
- 11 Měřicí hadice
- 12 Přípojka pro testovací zařízení, například kalibrační přístroj
- 13 Převodník tlaku Digima AP, výrobce Special Instruments, GmbH.
- 14 Bezpečnostní tlakový spínač.



Obr. 12. Konzole elektropneumatiky

2.2.6 Průběh zkoušky těsnosti prováděné přístrojem VP5928

Předpokladem pro automatické provádění zkoušky těsnosti je správné nastavení všech parametrů [6]. Dále pak předpokládáme, že zkušební přístroj je umístěn ve strojním zařízení, které je vybaveno všemi nezbytnými náležitostmi. Všechny ovládané a kontrolované prvky musí být ve výchozí poloze. V základacím přípravku musí být vložen testovaný kus.

Start cyklu se zahajuje stiskem tlačítka Start, nebo externím povelom od nadřízené jednotky. Po kontrole výchozího stavu sjedou ochranné dveře, proběhne upnutí zkoušeného kusu a najedou utěšňovací prvky. Dále následuje vlastní zkouška těsnosti.

Zkouška se skládá ze čtyř po sobě jdoucích fází – plnění, uklidnění, měření a odvzdušnění.

Fáze plnění – je prováděno plnicím ventilem s lineární charakteristikou. Doba musí být zvolena vhodně tak, aby v požadovaném čase byl dosažen požadovaný tlak [4].

Fáze uklidnění – během této doby dochází k vyrovnání teploty zkoušeného kusu s okolní teplotou a tím ke kompenzaci vlivu teploty na netěsný světlomet. Hodnota je zadána na základě experimentálně zjištěné doby, kdy u absolutně těsného tělesa již nedochází k žádnému, nebo zanedbatelnému poklesu tlaku.

Fáze měření – vlastní doba měření, kterou automaticky stanovuje zkušební přístroj v závislosti na vloženém objemu. Číselná hodnota doby měření je přibližně rovna číselné hodnotě objemu zkoušeného kusu [5]. Během této fáze je zjištěna hodnota velikosti poklesu tlaku ve zkoušeném objektu.

Fáze odvzdušnění – slouží k odvětrání otestovaného světlometu.

Dle výsledku zkoušky proběhne oražení zkoušeného kusu. Pneumatické pohony najedou do výchozích poloh. Po ukončení pohybů pohyblivých prvků vyjedou ochranné dveře. V případě vyhodnocení kusu jako dobrý, je vyjmutím testovaného kusu ukončen cyklus.

V případě vyhodnocení kusu jako špatný je nutno po vyjmutí testovaného kusu stisknout potvrzovací tlačítko. Potom je ukončen celý cyklus, zařízení je připraveno k další zkoušce.

Ke zkrácení doby měření je užita funkce Kurzprüfung (krátká zkouška). Principem této funkce je ukončení provádění měření v případě, že hodnota aktuálně naměřené netěsnosti je menší, než požadovaná míra netěsnosti Q_L .

2.3 Popis použitého hardware

Analýza požadavků, které jsou kladeny vnitropodnikovými normami na provádění zkoušky těsnosti, ukázala, že stávající zařízení plně vyhovuje. Ovšem délka cyklu je poněkud dlouhá. U světlometů o objemu 7 litrů činí až 45 s. Na této době se největší měrou podílí především lineární plnicí ventil, kterému trvá naplnění světlometu na požadovaný zkušební tlak při uvedeném objemu minimálně 15 sekund.

Cílem je především zrychlení provádění zkoušky. Toho není možné dosáhnout použitým plnicím ventilem. Ovšem pouhá výměna ventilu je nedostatečná, musí se změnit program. Dalším ukazatelem je pořizovací cena zařízení. Aby byla snížena pořizovací cena, je nutné vytvořit vlastní zařízení a pro něj vyvinout odpovídající funkční software.

Nejdříve je nutno zvolit odpovídající hardwarové vybavení, které bude popsáno v následujících kapitolách.

Na úvod je vhodné popsat způsoby zapojování vstupně/ výstupních jednotek

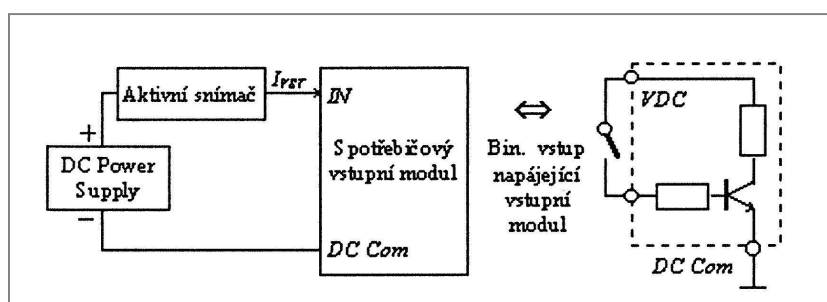
2.3.1 Způsoby zapojování vstupních a výstupních modulů

Nejdůležitějšími periferiemi programovatelného automatu jsou jednotky vstupů a výstupů (I/O, Input/ Output) v různých provedeních podle typu a úrovně signálů. Tyto I/O moduly lze principiálně rozdělit do dvou skupin [12]:

- *Zdrojové* – proud $I_{výst}$ z nich vytéká do spotřebičových I/O prvků, které proto mají spojeny negativní póly (DC Com - společná svorka) (Obr. 13 a Obr. 15).
- *Spotřebičové* – proud I_{vst} do nich vtéká ze zdrojových I/O prvků, které proto mají spojeny pozitivní póly (+VDC) (Obr. 14 a Obr. 16)

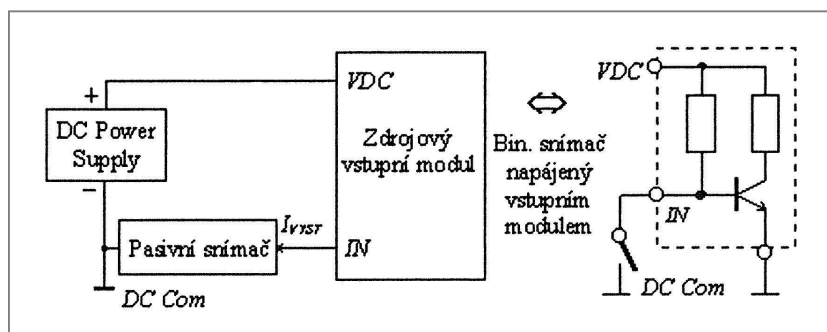
Aby byla zajištěna kompatibilita I/O modulů a připojených periferních I/O prvků, musí zdrojové karty PLC napájet spotřebičové I/O prvky, nebo naopak, zdrojové I/O prvky napájet spotřebičové I/O moduly. Z výše uvedeného vyplývá, že existují principiálně čtyři schémata zapojení modulů PLC s periferními prvky:

- 1) Aktivní snímač napájějící svým výstupem vstup PLC a spotřebičový vstupní modul (Sourcing Device with Sinking Input Module). Snímače mají navzájem spojenou kladnou svorku, připojenou k vnějšímu zdroji, záporná svorka snímače je přivedena na vstup I/O modulu, který má pro všechny vstupy jeden společný záporný pól (DC Com), viz (Obr. 13).



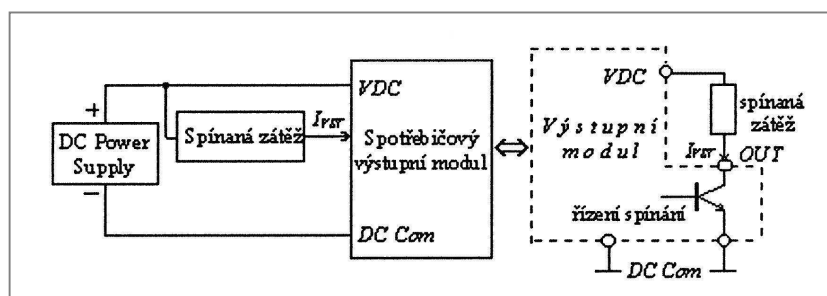
Obr. 13. Aktivní snímač a spotřebičový vstupní modul

- 2) Pasivní snímač a zdrojový vstupní modul (Sinking Device with Sourcing Input Module). Všechny snímače jsou napájeny ze svorek vstupního modulu, druhé vývody jsou navzájem spojeny na záporné svorce zdroje. Kladný pól zdroje je připojen na společnou svorku (VDC) napájení jednotlivých vývodů zdrojového vstupního modulu pro napájení snímačů, (Obr. 14).



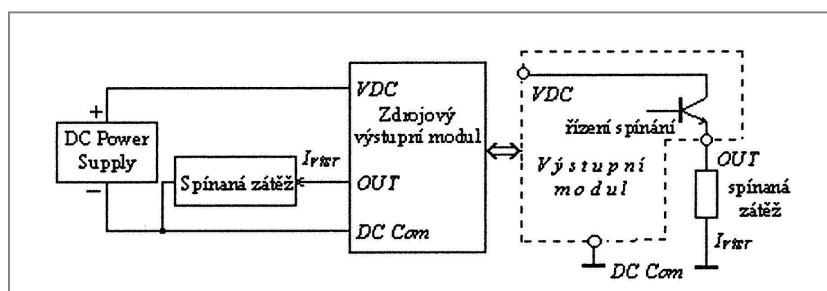
Obr. 14. Pasivní snímač a zdrojový vstupní modul

- 3) Aktivní výstupní prvek a spotřebičový výstupní modul (Sourcing Device with Sinking Output Module). Všechny spínané zátěže mají navzájem spojenou kladnou svorku (VDC). Záporné svorky jednotlivých zátěží jsou přivedeny na příslušné svorky výstupního modulu, který má pro všechny vstupy jeden společný záporný pól DC Com spojený se záporným pólem zdroje, (Obr. 15).



Obr. 15. Aktivní výstup a spotřebičový výstupní modul

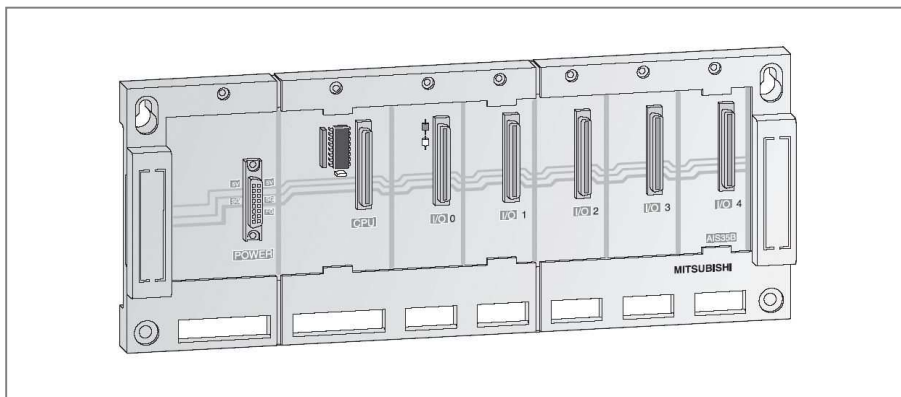
- 4) Pasivní výstupní prvek a zdrojový výstupní modul (Sinking Device with Sourcing Output Module). Všechny spínané zátěže jsou napájeny z výstupních svorek modulu. Záporné vývody spínaných zátěží jsou navzájem spojeny na záporné svorce zdroje a společné svorce zdroje a společné záporné svorce modulu DC Com. Kladný pól zdroje je připojen na společnou svorku (VDC) napájení jednotlivých vývodů výstupního modulu, (Obr. 16).



Obr. 16. Pasivní výstup a zdrojový výstupní modul

2.3.2 Popis PLC

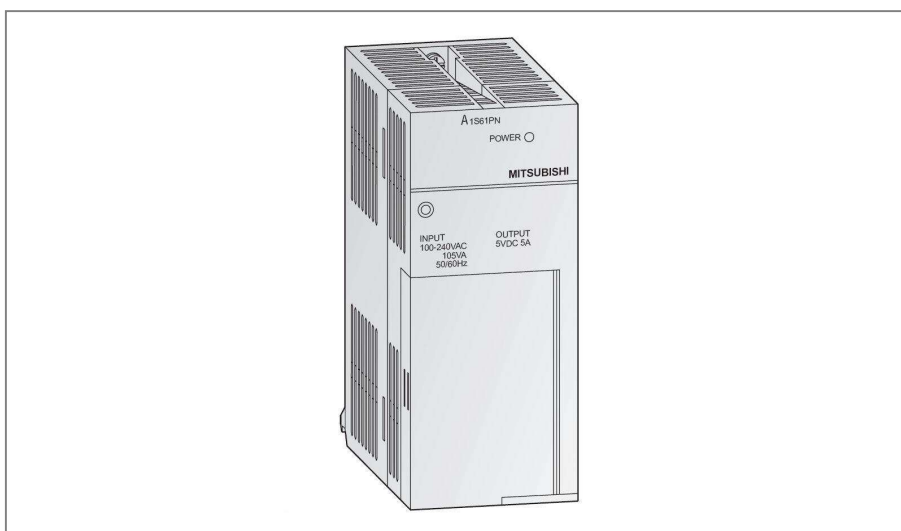
Řídící jednotkou je zvolen modulární průmyslový automat (PLC) Mitsubishi MELSEC řady A. Výhodou tohoto řešení je snadná volba požadované konfigurace jednotlivých funkčních modulů. Je složeno z následujících součástí:



Obr. 17. Základová deska A1S38B-E

Základová deska (Main Base Unit) A1S38B-E () – Je v podstatě stavebním kamenem modulárního PLC. Má vlastní interní napájecí sběrnici pro zajištění rozvodu energie a systémovou sběrnici pro komunikaci mezi jednotlivými funkčními moduly a centrální procesorovou jednotkou. Zásuvné periferní moduly lze umístit téměř libovolně. Pouze modul napájecího zdroje je nutné umístit na pozici.

U tohoto provedení je k dispozici 8 volných slotů pro rozšiřující moduly, a konektor pro propojení až tří dalších rozšiřujících základních desek (Extension Base Units).



Obr. 18. Napájecí zdroj A1S61PN

Napájecí zdroj (Power Supply Module) A1S61PN (Obr. 18) – Napájecí zdroj dodává potřebné napětí všem funkčním jednotkám umístěným na základové desce. Zdroj A1S61PN je na vstupu napájen střídavým napětím o velikosti 100-240 V, 50/60 Hz, a je schopen zatížení jmenovitým výstupním proudem 5 A při napětí 5V.

Centrální procesorová jednotka (CPU - Central Processor Unit) A1SHCPU (Obr. 19) – Tato procesorová jednotka poskytuje programovatelnému automatu inteligenci. Realizuje soubor instrukcí a systémových služeb, zajišťuje i základní komunikační funkce s vlastními i vzdálenými moduly, s nadřazeným systémem a s programovacím zařízením. Tento typ CPU umožňuje interně přímo adresovat až 256 vstupů/výstupů. Ve spojení se vzdáleným modulem je možno celkově adresovat až 2048 vstupů/výstupů.

Velikost paměťového prostoru je 64 kB, v němž je možno vyhradit pro vnitřní program mikropočítače maximálně 14 kB a pro uživatelský program PLC maximálně 8000 kroků. Paměti jsou typu RAM, EPROM a EEPROM. Paměť RAM je zálohována baterií pro uchování obsahu vnitřních proměnných. Paměťový prostor je možno zvýšit přidáním paměťového modulu o velikosti až 20 kB.

Pro programování je k dispozici 131 základních příkazů, 106 aplikovaných a 26 sekvenčních instrukcí. Pro CC-link, což je otevřený komunikační protokol pro vzdálené řízení a obsluhu vstupů a výstupů je k dispozici 8 vyhrazených instrukcí. Čas cyklu potřebný na vykonání jedné logické instrukce je 0,333 μ s.

Pomocných paměťových buněk (M-merkerů) je 2048, z toho 256 speciálních. Volně použitelných datových registrů (D) je 1024, z toho 256 je speciálních. Pro realizaci časových dějů je k dispozici 256 časovačů (T0-T199 100 ms, T200-T255 10 ms). K dispozici je dále 256 čítačů (C) a 256 ukazatelů (P), 32 ukazatelů přerušení (I), 256 stavových merkerů (F), 2 registry akumulátoru (A), 2 index registry (V,Z), 1024 linkových merkerů (B), a 1024 spojovacích registrů (W). V závislosti na paměťové konfiguraci je možno použít až 8192 souborových registrů (R). Také vytvoření komentáře k programovým krokům závisí na konfiguraci paměti a maximálně je možno uložit až 4032 komentářů.

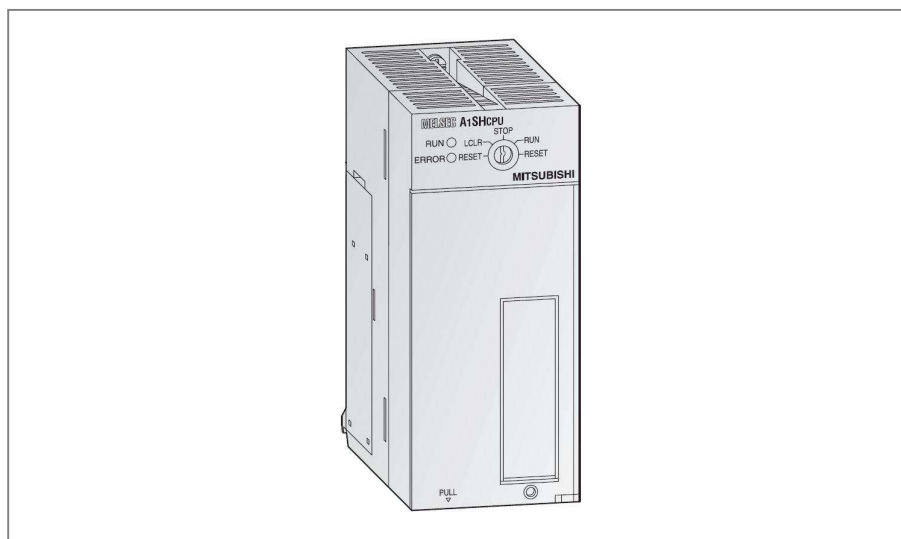
Maximální čas chodu PLC při výpadku napětí je 20 ms.

Vybavení procesorové jednotky kontrolními mechanismy pro zjišťování chyb při zpracování instrukcí v CPU, kontrolu programu, detekci chyb napájení, zálohovací baterie,

pojistky nebo paměti a „Watchdogem“ pro kontrolu periodického vykonávání programu je samozřejmostí.

K připojení programovacího počítače, nebo operátorského panelu je procesorový modul vybaven komunikačním rozhranním RS232C/RS422.

Modul je také vybavení LED-diodami pro indikaci provozních stavů, jako je POWER, RUN, a ERROR.



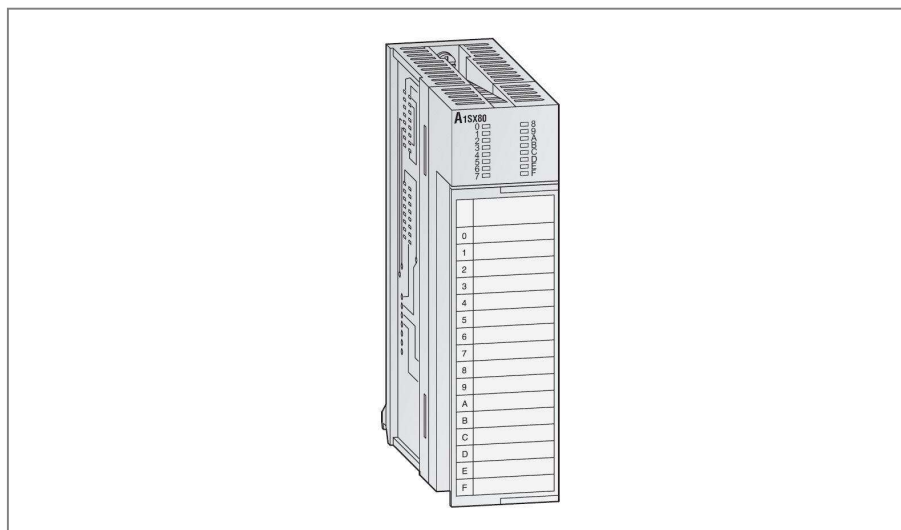
Obr. 19. Centrální procesorová jednotka A1SHCPU

Modul digitálních vstupů (Digital Input Module) A1SX81– modul slouží k připojení binárních vstupů z různých vstupních zařízení, jako jsou například snímače různých veličin a akční členy. Na (Obr. 20) je zobrazen modul A1SX80, který se od popisovaného modulu liší pouze polovičním počtem vstupů.

Modul obsahuje 32 binárních vstupů, které jsou galvanicky odděleny optočlenem od napájení vstupu a vlastního řízení. Všechny vstupy mohou být nakonfigurovány tak, aby byly spínány proti kladnému pólu (source – pozitivní spínání), nebo proti zápornému pólu (sink - negativní spínání). Modul obsahuje jednu napájecí svorku (DC Com), která je společná pro všech 32 vstupů. Bude-li použit tranzistor jako vstupní spínač, musí se při kladném spínání použít tranzistor PNP a při záporném spínání tranzistor NPN. U použitého typu modulu jsou jako spínací prvky použity tranzistory PNP. Vstupní jmenovité napětí je 12/24 V stejnosměrné (DC), při vstupním jmenovitém proudu 3/7 mA. Stav vstupů je signalizován LED diodami, a vyhodnocení stavu dle úrovně napětí, nebo proudu ukazuje (Tab. 7). Doba odezvy pro přestup ze stavu sepnuto do stavu rozepnuto a obráceně činí 10 ms při 24 V DC.

Tab. 7. Stav vstupů v závislosti na přivedeném vstupním napětí, nebo proudu

Stav vstupů	Jmenovité vstupní napětí [V]	Jmenovitý vstupní stejnosměrný proud [mA]
ON – sepnuto	≥ 8	≥ 2
OFF – rozepnuto	≤ 4	≤ 1



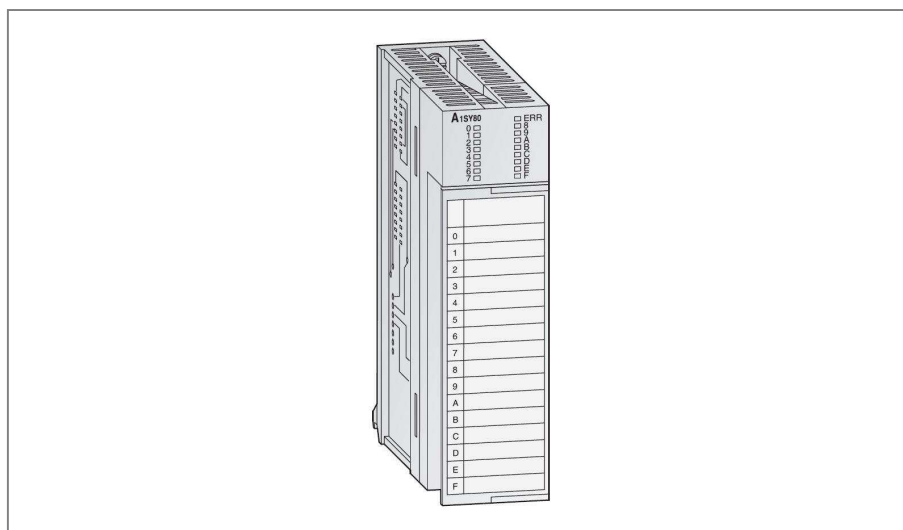
Obr. 20. Modul digitálních vstupů A1SX80

Modul digitálních výstupů (Digital Output Module) A1SY80 (2 ks) (Obr. 21) – výstupní modul slouží k ovládání akčních členů a ostatních periférií, jako jsou například cívky, relé, stykače, elektromagneticky ovládané pneumatické, nebo hydraulické rozvaděče.

HW vybavení je velmi podobné modulu digitálních vstupů. Počet výstupů u použitých modulů je 16 a jsou galvanicky oddělené optočlenem. Sepnutí, respektive rozepnutí výstupu je signalizováno LED diodou. U použitého typu modulu je spínání výstupu typu PNP transistor. Operační rozsah napájení je 10,2–30 V DC. Maximální výstupní zatížení je 0,8 A. Ochrana proti přetížení je až 8 A po dobu maximálně 10 ms. K potlačení šumu je užita zenerova dioda. Pojistka proti přetížení je dimenzována na 5A. Přepálení pojistky signalizuje LED dioda. Doba odezvy činí při přechodu ze stavu OFF do stavu ON 3 ms a obráceně, ze stavu ON do stavu OFF je tato doba 10 ms.

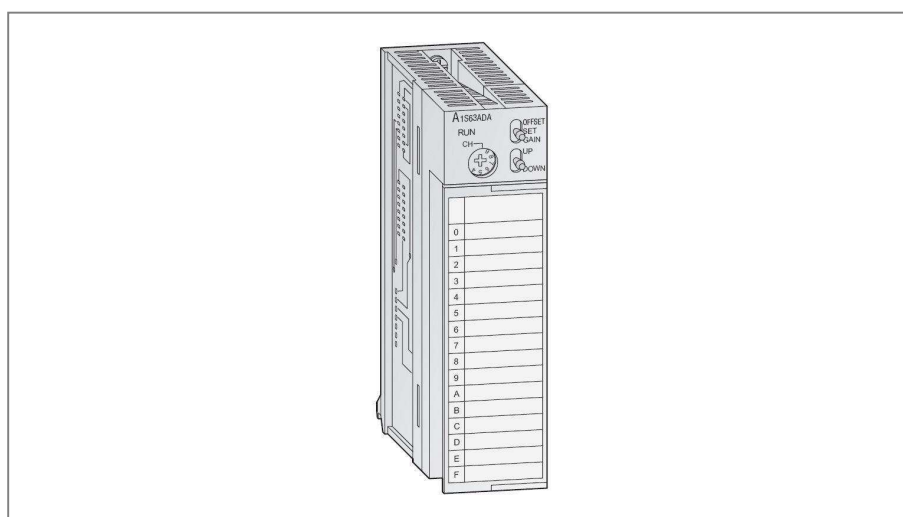
Místo 2 modulů A1SY80 (2x16 výstupů) by bylo možno použít pouze jeden modul A1SY81, který má 32 výstupů. Avšak tento modul obsahuje pouze jednu společnou napájecí svorku (DC Com). Modul A1SY80 obsahuje dvě napájecí svorky pro každých

osm výstupů. Takto je možno například blokovat každou celou jednu skupinu osmi výstupů jedním kontaktem.



Obr. 21. Modul digitálních výstupů A1SY80

Modul vstupního a výstupního analogového signálu (Analog Input/Output Module) A1S63ADA (Obr. 22) – modul převodníku analogového signálu na digitální signál a obráceně. Převádí spojitou vstupní měřenou veličinu na diskrétní, která může být dále zpracována procesorem. Diskrétní výsledky zpracované programem převádí na analogovou veličinu.



Obr. 22. Modul AD/DA převodníku A1S63ADA

Modul obsahuje dva vstupní a jeden výstupní kanál, které jsou galvanicky oddělené optočlenem. Na vstupní kanály je možné přivádět unifikovaný vstupní stejnosměrný signál napětový v rozsahu $-10/+10$ V, nebo proudový v rozsahu $-20/+20$ mA. Maximální vstupní napětí činí ± 15 V, maximální vstupní proud ± 30 mA. Tento signál je dále zpracován AD

převodníkem s rozlišením 16 bitů, včetně znaménkového bitu. Charakteristika převodníku podle vstupního napětí, proudu, a jeho výstupní číslicový ekvivalent podle zvoleného rozlišení je uveden v (Tab. 8).

Tab. 8. Hodnoty digitálního výstupu z převodníku v závislosti na velikosti vstupního signálu

Analogový vstup		Digitální výstup dle rozlišení		
Napětí [V]	Proud [mA]	1/4000	1/8000	1/12000
+10		4000	8000	12000
+5	+20	2000	4000	6000
0	4	0	0	0
-5	-12	-2000	-4000	-6000
-10		-4000	-8000	-12000

Hodnoty maximálního rozlišení vstupního signálu a rychlost konverze jsou uvedeny v (Tab. 9).

Tab. 9. Rozlišení vstupního signálu a rychlost převodu dle rozlišení převodníku

Rozlišení	Napětí [mV]	Proud [μ A]	Rychlost převodu [ms]
1/4000	2,50	10,00	1
1/8000	1,25	5,00	2
1/12000	0,83	3,33	3

Hodnota převedeného signálu je uložena do bufferů převodníku, ze kterých jsou čteny programem.

Vypočtené hodnoty jsou převedeny na spojitý signál a přivedeny na svorky výstupního kanálu. Velikost výstupního napěťového signálu je stejná jako u vstupního, tzn. v rozsahu -10/+10 V DC. Výstupní proudový signál nabývá hodnoty v rozsahu 4-20 mA (Tab. 10).

Maximální rozlišení výstupního signálu podle zvoleného rozlišení převodníku je uvedeno v (Tab. 11).

Přesnost převodu se pohybuje v rozmezí $\pm 1,0$ % z celkového rozsahu dle zvoleného rozlišení. Nejdelší převodní čas je 3 ms na kanál.

Jednotlivé kanály pracují autonomně, ale v případě potřeby mohou být navzájem párovány. Volba režimu se provádí křížovým kódovacím switchem na panelu převodníku.

Převodník je užit pro přesný snímač měření tlaku a k řízení plicního ventilu.

Tab. 10. Velikost analogového výstupu podle digitální vstupní hodnoty

Rozlišení digitální vstupní hodnoty			Analogový výstup	
1/4000	1/8000	1/12000	Napětí [V]	Proud [mA]
4000	8000	12000	+10	20
2000	4000	6000	+5	12
0	0	0	0	4
-2000	-4000	-6000	-5	-
-4000	-8000	-12000	-10	-

Tab. 11. Maximální rozlišení výstupního signálu převodníku

Rozlišení	Napětí [mV]	Proud [μ A]
1/4000	2,5	5
1/8000	1,25	2,5
1/12000	0,83	1,7

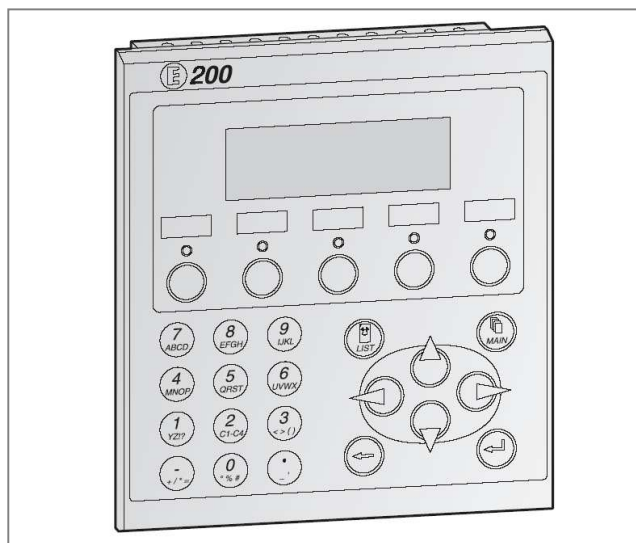
2.3.3 Zobrazovací terminál MAC E200

Pro snadnou komunikaci mezi operátorem a programovatelným automatem byl zvolen terminál MAC E200 (Obr. 23), jehož výrobcem je firma Beijer Electronics AB. Tento terminál je použitelný pro všechny PLC systémy Mitsubishi a dalších hlavních světových výrobců. K dispozici jsou i ovladače pro jiná zařízení než je PLC, jako například invertor. Další součástí jsou integrované Real-time hodiny a časovací kanály. Zabudována je také podpora dvou ovladačů vzájemně nezávislých zařízení najednou.

Filozofií terminálu MAC E200 je snadné a přehledné ovládání. K tomuto účelu slouží podsvícený LCD displej, pět programovatelných funkčních kláves, dvanáct tlačítek numerické klávesnice, čtyři tlačítka speciálního významu (enter, backline, list, main) a čtyři směrová tlačítka určena pro ovládání pohybu kurzoru po displeji. Panel je vybaven také pěti indikačních dvoubarevných LED diod s rozlišováním vypnuto, červená a zelená barva. Jejich funkce je libovolně programovatelná, například mohou indikovat stav funkčních kláves, nebo provozní stav přiřazených provozních proměnných.

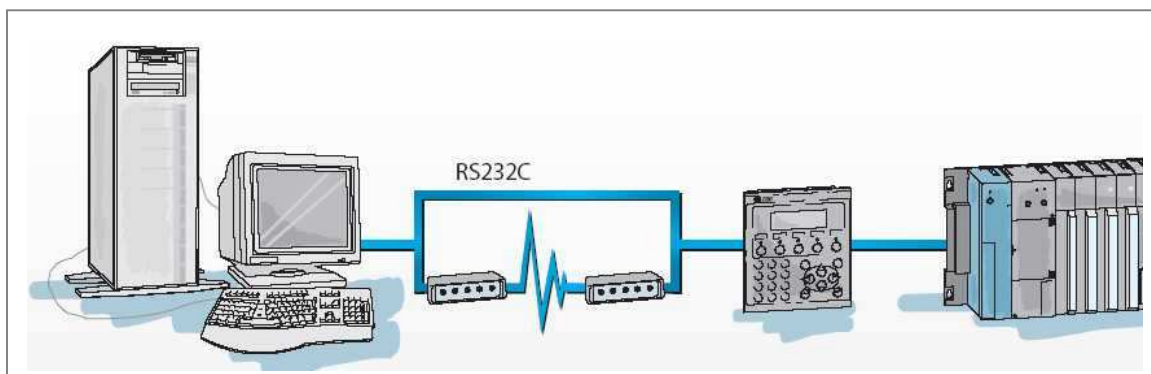
LCD displej umožňuje zobrazit čtyři řádky po dvaceti znacích maximální výšky 5 mm. Údaje jsou zobrazeny formou uživatelsky definovaných textových bloků, ke kterým může být přiřazena proměnná, nebo konstantní hodnota. Zobrazen může být samozřejmě také statický text.

Pro uživatelský program je k dispozici vnitřní paměť typu Flash-RAM o kapacitě 64 kByte.



Obr. 23. Operátorský terminál MAC E200

Panel je vybaven pro připojení k procesorové jednotce řídicího zařízení komunikačním rozhraním RS232C a RS422. Rozhraní RS232C slouží k připojení PC, nebo tiskárny. Toto rozhraní může pracovat v transparentním režimu (Obr. 24), což znamená, že panel je schopen simultánní komunikace s PLC a jiným systémem, například počítačem (programovacím, monitorovacím), nebo SCADA systémem.



Obr. 24. Transparentní režim

Změna údajů, nebo vnitřního programu nepovolanou osobou může být chráněna požadavkem na zadání hesla.

Hlavní výhodou terminálu je snadná komunikace mezi panelem a logickou jednotkou na úrovni většiny bitových a datových proměnných.

K provozu zařízení je potřeba napájecí napětí 24 V DC (povolený rozsah 20-30V).

2.3.4 Miniaturní elektropneumatický regulátor SMC ITV0010-3N-Q

K dosažení co nejrychlejšího plnění byl zvolen proporcionálně řízený miniaturní rychlý elektropneumatický regulátor SMC IT V0010-3N-Q (Obr. 25). Tento regulátor vyniká kompaktní lehkou konstrukcí, šířkou 15 mm a hmotností 100 g. Může být použit jednotlivě, nebo modulárně v bloku na DIN liště. Je osazen nástrčnými rychlospojkami pro přívod a odvod tlakového vzduchu. Chyby jsou diagnostikovány pomocí LED.

Regulační rozsah tlaku dodávaného do systému je 0,001 až 0,1 MPa. Maximální dodávaný tlak je 0,2 MPa, minimální tlak je nastavená hodnota + 0,1 MPa. Průtok je až 3,5 normovaných litrů za minutu při dodávaném tlaku 0,2 MPa.

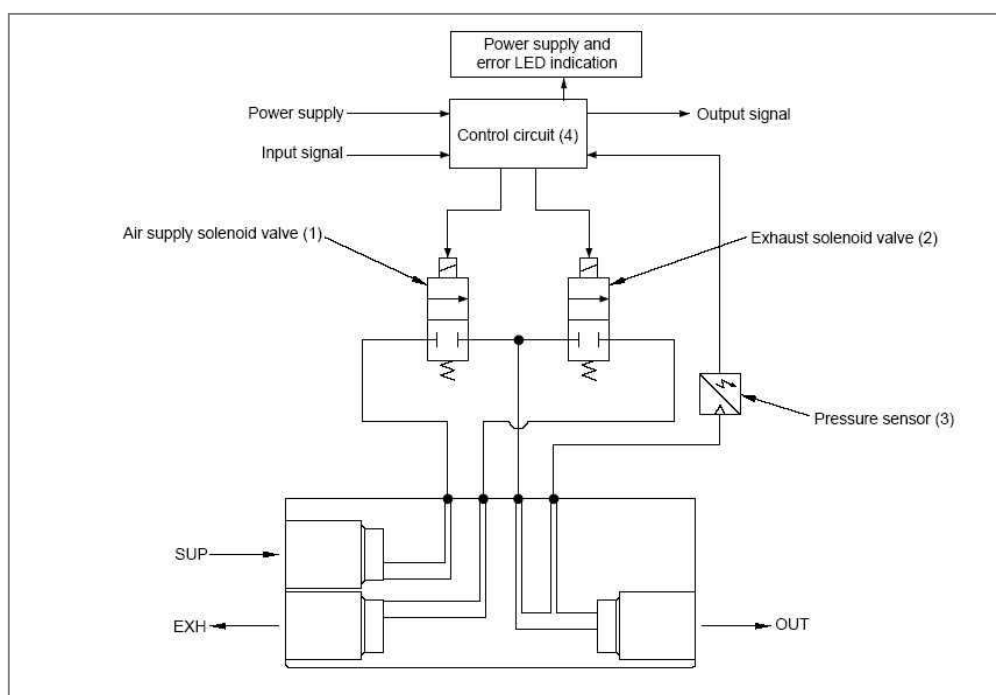
Provozní napájecí napětí je 24 V DC. Regulátor je ovládán stejnosměrným napěťovým vstupním signálem 0-10 V DC, možné je také řízení proudem o velikosti 0-20 mA DC. Informaci o výstupním tlaku dává analogový signál 1-5 V DC, ten ovšem není zapojen, protože velikost tlaku ve zkoušeném světlometu měří přesný tlakový snímač Cressto, který je popsán dále.



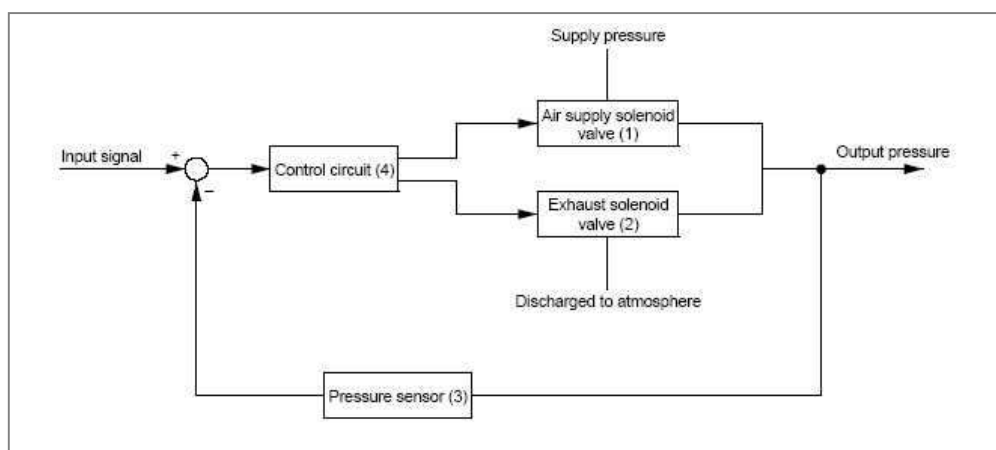
Obr. 25. Miniaturní elektropneumatický regulátor

Funkční princip

Pracovní a blokový diagram jsou znázorněny na (Obr. 26 a Obr. 27). Pokud vzrůstá vstupní signál, otevře solenoidový ventil (1), který dodává vzduch. Část dodávaného tlakového vzduchu prochází solenoidovým ventilem (1) a mění se na výstupní tlak. Tento výstupní tlak se vrací zpětnovazební smyčkou k řídicímu obvodu regulátoru (4) přes tlakový senzor (3). Řídicí obvod upravuje proporcionálně velikost tlaku tak dlouho, dokud výstupní tlak není úměrný vstupnímu signálu.



Obr. 26. Pracovní diagram regulátoru



Obr. 27. Blokový diagram regulátoru

2.3.5 Přesný tlakový snímač TMG 418 Z3D

Pro přesné snímání naměřené tlakové veličiny je použit univerzální snímač tlaku Cressto TMG 418 Z3D (Obr. 28). Prostřednictvím tohoto snímače lze měřit tlak i podtlak v kapalných a plyných médiích, která nejsou chemicky agresivní. Snímač je vybaven křemíkovou piezoelektrickou membránou umožňující přesné relativní měření tlaku – přetlaku v rozsahu 100 mbar (10 kPa). Napájecí napětí je 24 V DC, povolený rozsah je 12-36 V DC. Změna napájecího napětí v tomto rozsahu nemá vliv na přesnost měření. Elektrický signál z čidla, který je úměrný přiloženému tlaku, je zesílen, filtrován, kalibrován a převeden na požadovanou výstupní veličinu.



Obr. 28. Přesný tlakový snímač

Standardně je tlakový snímač vyráběn s proudovými výstupy 4-20 mA (dvouvodič), nebo 0-20 mA (třívodič) a s napěťovým výstupem 0-10 V. U použitého typu je výstupní napětí upravené -10/+10V DC především z důvodu velikosti vstupního signálu použitého AD převodníku.

Maximální povolený přetlak je 100 kPa, chyba nastavení činí maximálně 1 %. Třída přesnosti snímače je 0,1. Teplotní chyba nuly a rozsahu je max. 0,3 % / 10°C. Kompenzační teplotní rozsah je 0-70 °C, provozní rozsah -15 až +80°C.

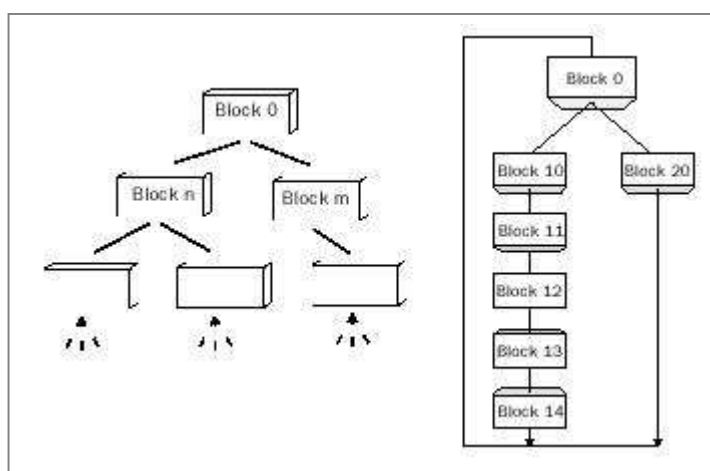
2.4 Popis softwarové části

V této části budou stručně popsány programy pro operátorský panel a pro programovatelný automat. Vývojový diagram a vlastní programy jsou uvedeny v přílohách.

2.4.1 Program pro operátorský panel MAC E200

Programování terminálu je velice snadné. Velkou měrou k tomu přispívá programovací software E-Designer. Toto prostředí umožňuje grafické programování terminálu formou hierarchicky rozdělených menu, na které jsou vázány jednotlivé funkční bloky.

Vytvořením projektu je nastavena základní konstrukce programu obsahující hlavní blok (Blok 0 - hlavní obrazovka terminálu), bloky alarmů a časových kanálů. K hlavnímu bloku se definují jednotlivé podskupiny bloků (navazující obrazovky). Princip blokového programu je zobrazen na (Obr. 29).



Obr. 29. Hierarchické menu projektu v E-Designeru

V prostředí se nastaví vzhled jednotlivých obrazovek, nadefinují zobrazitelné proměnné, konstanty, nebo statický text a provede se definice vazeb mezi bloky. Mezi těmito bloky je možné se přepínat nadefinovanými funkčními klávesami pro každý blok, nebo jsou volány parametricky z PLC.

V programu je nadefinován hlavní panel (Blok 0), který zobrazuje hlavní informace o projektu, tj. název programu (*Zkouška těsnosti*), druh projektu (zde použito zatím pouze pro projekt *VW Passat B6*), přípravek (*chyba, levý, pravý*), a druh zkoušky (*rychlá, test světlometu a referenčního vzorku*). Vyjma statického textu *zkouška těsnosti* jsou na této obrazovce všechny bloky multivýběrové, tj. zobrazení je provedeno na základě parametrického volání z PLC. K tomuto hlavnímu bloku je vytvořeno pole provozních stavů. Je tvořeno bloky 1-9. Jednotlivé bloky jsou vyvolávány podle aktuálního stavu zkušebního zařízení (probíhá plnění, měření, atd.).

Bloky 10-27 jsou bloky chybového hlášení (např. chyba přípravku, příliš vysoký tlak, velký pokles tlaku, nedojetí funkčních mechanických skupin do požadovaných poloh, atd.).

Bloky 50-55 jsou bloky nastavení parametrů zkoušky těsnosti (plnicí tlak, čas zkoušky, velikost Q_L , rychlá zkouška apod.)

Panel slouží především pro vizualizaci procesu zobrazováním průběhu zkoušky, hodnot měřených veličin, výsledků zkoušky a chybových hlášení. Dále slouží k zadávání parametrů uživatelem a k ovládání jednotlivých funkčních bloků v ručním režimu.

Bloky alarmů nebyly v dané aplikaci využity, stejně jako hodiny reálného času.

2.4.2 Program pro PLC

Program je napsán ve vývojovém prostředí GX Developer. Toto vývojové prostředí pracuje v operačním systému MS Windows. Používá grafické uživatelské rozhraní. Modulární architektura umožňuje vytvářet rozsáhlé komplexní programové projekty.

Při vytváření programu jsem se striktně držel požadavků vnitropodnikových norem. Průběh testování odpovídá (Obr. 6) Průběh testu na netěsnost. Program je napsán na základě vývojového diagramu uvedeného v příloze.

Po spuštění PLC program nejprve provede inicializační sekvence. Provede se nastavení AD/DA převodníku. Poté načte parametry zkoušky ze zálohovaných registrů D200-D300. Provede se nulování případných dříve uložených předvoleb testu z panelu. Posledním krokem této části je vynulování uživatelských bitových (M_x , B_x), a datových (nezálohované D_x) pamětí, které musí být vynulovány pro správný chod cyklu.

Na začátku každé otočky cyklu proběhne namapování (načtení hodnot ze vstupních svorek a uložení přečtené hodnoty do pomocné paměťové buňky B_{xxx}) vstupů, a na konci otočky namapování výstupů (převedení hodnot B_{xxx} na výstupy).

Struktura programu je rozdělena dle funkčních bloků na několik částí.

1. Merker M10 - kontrola výchozí polohy stroje
2. po stisku start tlačítka kontrola splnění vstupních podmínek pro zahájení automatického cyklu měření. (správné založení kusu – B2C), kontrola kompletnosti vyrobené skupiny)
3. Merker M11 - Sjetí ochranného krytu dolů

4. Merker M12 - horní deska dolů, po najetí na koncové polohy je upnut výrobek tyčemi horní desky
5. Merker M14 - najetí opěr skla
6. Merker M15 - utěsnění odvětrávacích otvorů
7. Merker M16 - zdvih utěsnění konektoru
8. Merker M17 - utěsnění konektoru
9. Merker M21 - plnění
10. Merker M22 - uklidnění
11. Merker M23 - měření
12. Merker M27 - označení razníkem (dobrý, špatný neoznačen)
13. Merker M28 - odvětrání, návrat upínacích a utěšňovacích prvků
14. Vyjetí ochranného krytu
15. Merker M30 - odebrání kusu
16. Návrat na začátek cyklu na merker M0.

Vlastní měření těsnosti probíhá v blocích začínající merkery M21, M22, M23, M24.

Po splnění podmínek pro sepnutí merkeru M21 proběhne otevření plnicího ventilu, uzavření uzavíracího únikového a odvětrávacího ventilu. Spustí se řízení plnicího ventilu.

Regulátor umožňuje rychlé naplnění světlometu. Pokud je rozdíl tlaku uvnitř světlometu větší jak 5 mbar od požadované hodnoty, je dán požadavek k otevření ventilu naplno (4000 inc = 10 V) Při dosažení rozdílu tlaku ve světlometu od požadované hodnot v rozsahu od 5 do 0,5 mbaru je ventil otevřen na ¼ rozsahu (1000 inc = 2,5V). Po dosažení tlakového rozdílu 0,5 mbaru je ventil řízen proporcionálně, tj. do registru $D2$ se uloží hodnota rozdílu plnicího tlaku a aktuálního ($D38-D6$), násobená zesilující konstantou $K10$, k níž je přičtena hodnota pomocného registru $D150$.

$$D2 = (D38 - D6) \cdot K10 + D150 \quad (32)$$

Použit by se dal i PID algoritmus, avšak pro výsledek plnění není podstatný, a byl by programátorsky náročnější. Použitá programová konstrukce plně dostačuje. Mimochodem měření difference tlaku měřená v řádu setin milibaru je v reálném technologickém prostředí

značně náročné. Proto je třeba provést digitální filtraci měřené hodnoty tlaku. Použit je aritmetický průměr osmi měřených hodnot se vzorkovací frekvencí 0,1s. Takto je měřen tlak po celou dobu cyklu.

Tlakový snímač měří průběžně hodnotu velikosti tlaku ve světlometu neustále. Pokud překročí plnicí tlak o 10 % požadovanou hodnotu, přeruší se cyklus s chybovým hlášením. Pokud tlak ve světlometu na konci plnění nedosáhne hodnoty větší jak plnicí tlak, je generována chyba nenaplněno. Pro případ kolize plnicího procesu je zahrnut bezpečnostní snímač, který zastaví proces plnění při dosažení tlaku 100 mbar. Při korektním průběhu je plnicí proces ukončen při dosažení času plnění.

Během fáze uklidnění je měřena velikost tlaku ve světlometu. Pokud klesne pod hodnotu měřicího tlaku, je proces ukončen s chybovým hlášením „pokles tlaku“. Zároveň je sledován eventuální nárůst tlaku o 1 mbar. Tento stav znamená poruchu měřicího systému (netěsnost pneumatických prvků utěšňovacího okruhu, ucpání měřicího kanálu, atd.).

Fáze uklidnění končí dosažením požadovaného času uklidnění.

Vlastní měření

Na začátku a konci měření se uloží aktuální hodnota tlaku do pomocných registrů (D50, D52). V průběhu měření se kontroluje případný pokles tlaku (například uvolněná krytka) pod zadanou procentuální hodnotu. Pokles vyvolá chybu a zastavení cyklu.

Výpočet

Výpočet velikosti (míry) netěsnosti se provede podle vzorce

$$Q_L = \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot V, \quad (33)$$

kde $\Delta p = D52 - D50$, $\Delta t = D23$ (doba měření) a $V = D60$ (objem světlometu + měřicího okruhu).

Výsledkem testu je světlomet těsný, pokud odpovídá požadované zadané míře netěsnosti Q_L (D74), nebo netěsný.

Poté se provede označení, signalizace dobrého kusu na panelu a otevření stroje. Vyjmutím kusu je dosaženo výchozí polohy.

V případě netěsného kusu musí obsluha nejprve potvrdit chybové tlačítko na panelu a poté může vyjmout vyzkoušený kus.

Program umožňuje uložit parametry pro čtyři nezávislé projekty. Volba se provádí třibitovým kódováním přípravku daného projektu. V případě potřeby není problém snadnou úpravou programu zvýšit počet možných prováděných projektů na 8, nebo přidáním indukčního snímače na 16 prováděných projektů.

ZÁVĚR

Zařízení na zkoušku těsnosti musí především splňovat požadavky vnitropodnikových norem. Dále je nutné vzít v potaz fyzikální vlastnosti procesů, jež se mohou týkat průběhu zkoušky. Z hlediska technické praxe si však můžeme dovolit zanedbat vliv některých fyzikálních zákonitostí, pokud zásadně neovlivní výsledek zkoušky. Některé děje lze považovat za konstantní a některé děje můžeme pominout, pokud neovlivní přesnost měření. Pro reálné využití v praxi je důležité aplikovat základní fyzikální předpoklady a dosáhnout přitom v požadovaném čase reálného testování netěsných světlometů bez enormních finančních nákladů. Výsledek zkoušky není přesně definován, vždycky se pohybuje v určitém rozmezí, např. žádaná hodnota Q_L je určena v rozmezí 0,00-0,60 mbar·l·s⁻¹.

Při návrhu zkoušky těsnosti je podstatné splnit technická kritéria jako jsou nároky na přesnost, způsobilost, opakovatelnost, rychlost a měřicí flexibilitu. Dalším faktorem je samozřejmě cena, a to jak pořizovací, tak náklady na provoz. Takto jsou určeny finanční náklady v sérii na vyhodnocení jednoho zkoušeného kusu jako těsného.

Cílem této práce bylo optimalizovat zařízení na zkoušku těsnosti. Původní pracoviště splňuje požadavky norem, ale optimalizací parametrů není možné dosáhnout zrychlení provádění, protože limitujícím prvkem je především lineární plnicí ventil.

Důležité bylo zvolit vhodný hardware a pro něj napsat nový program, který bude otevřený případným změnám. Aby se zrychlilo provádění zkoušky, byl zvolen rychlý miniaturní elektropneumatický regulátor. Tento regulátor je schopen v požadovaném čase dosáhnout požadovaného plnicího tlaku ve světlometu, i když je netěsný. Čas potřebný k naplnění světlometu celkového objemu 7 litrů se zkrátí o 8 sekund, čímž se zkrátí doba provádění celé zkoušky o cca 20 %.

Průběžným měřením velikosti přetlaku ve světlometu a následným měřením jeho poklesu je zajištěno spolehlivé určení velikosti netěsnosti. Následně lze klasifikovat světlomet jako těsný nebo netěsný. Kritériem přesnosti měření je test na absolutně těsném tělese (dummy) nebo na těsném referenčním světlometu. Kritériem netěsnosti je pro nás uvažován kalibrovaný únikový ventil.

Snížení pořizovacích nákladů bylo dosaženo použitím proporcionálního ventilu, který je o Kč 10 000,-- levnější než přesný plnicí ventil. Další úspora byla dosažena použitím

přesného snímače tlaku od firmy Cressto, který je o Kč 6 000,-- levnější než použité řešení od firmy Special Instruments.

Operátorský panel MAC E-200 je připojený přímo na procesorovou jednotku programovatelného automatu, čímž se ušetřila komunikační jednotka pro sériové rozhraní (cca Kč 12 000,--). Tento panel slouží k vizualizaci procesu a k zadávání požadovaných parametrů zkoušky.

Pokud bylo použito původní měřicí zařízení VP5928 a vyvstala potřeba provádění přídatných funkcí (například kontrola osazení světlometu), bylo nutné použít další PLC. Nově vytvořený program umožňuje snadné rozšíření nejen o výše uvedené možnosti, ale je otevřen pro vkomponování dalších funkcí. Tím se ušetří nemalé finanční prostředky za další přídatné PLC nebo dokonce nové pracoviště. Integrací potřebných funkcí do jednoho PLC se také dosáhlo značného zrychlení provádění celého cyklu zkoušky.

Toto zařízení je nyní použito na pracovišti Zkouška těsnosti světlometu VW Passat B6, kde vykazuje dobré výsledky. Čas plnění je spolehlivě dosažen za 7 sekund. Doba uklidnění je experimentálně zjištěna a s rezervou pro dostatečnou kompenzaci teploty stanovena na 13 sekund, nejdelší čas měření bez použití krátké zkoušky je 5 sekund. Při použití předchozího řešení se zkušebním zařízením VP5928 činil čas plnění 18 sekund, čas uklidnění 20 sekund a nejdelší doba měření 10 sekund. To znamená zrychlení provádění vlastního měření v nejdelší variantě o 23 sekund, což je zkrácení doby o téměř 50 %. Tímto lze konstatovat, že bylo dosaženo cíle této práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Normen Information System – soubor vnitropodnikových norem společnosti Hella KGaA Hueck & Co
- [2] Kruse, P., Neu, H., Dichtheitsprüfung lichttechnischer Geräte, Hella-Norm N67062, Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt 1995
- [3] Seyfried, G., Leak Test of Ventilated Headlamps, Hella-Norm N67096, Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt 2004
- [4] Seyfried, G., Functional Test of the Leak Test Station, Hella-Norm N67096-01, Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt 2004
- [5] Schmits, H., Bedienungsanleitung für Dichtigkeitsprüfgerät DP ¼, Prüfgerät Typ VP5928, 4. Generation, VMK 2-Z Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt 1997
- [6] Krause, H., Ermittlung der Prüfparameter für Dichtigkeitsprüfung mit VP5928, VMK 2-5 Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt 1994
- [7] Ritter, D., Approval Markings on Lamps Regarding Specific Tests, Hella-Norm N21175-01, Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt 2004
- [8] Binder, P., Assemblies, Instruments and Systems from measurement, control, regulating, inspection, calibration of: pressure, mass flow, volume flow, flow speed, leakage flow, Special Instruments GmbH E2000 Catalog, Nördlingen 2000
- [9] Pavelek, M., Štětina, J., Přehled teorie a výpočtových vztahů z předmětu Termomechanika, Hypertextová interaktivní sbírka stažená ze serveru VUT Brno.
- [10] Šmejkal, L., Martinásková, M. PLC a automatizace, BEN - technická literatura, Praha 1999. ISBN 80-86056-58-9
- [11] Voráček R., Andryšek, F., Brýdl, Z., Kohout, L., Šmejkal, L. Automatizace a automatizační technika II, Automatické řízení. Computer Press, Praha 2000. ISBN 80-7226-247-5
- [12] Beneš, P., Chlebný, J., Langer, J., Martinásková, M., Voráček R. Automatizace a automatizační technika III, Prostředky automatizační techniky. Computer Press, Praha 2000. ISBN 80-7226-248-3

-
- [13] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. Fyzika, část 2, Mechanika – Termodynamika. VUTIUM, Brno 2000, ISBN 80-214-1868-0
- [14] Hibš, M., Horák, V., Kopáček, J., Martinisko, C. Strojírenská příručka, Svazek 4. SCIENTIA, Praha 1994. ISBN 80-85827-58-1
- [15] Beneš, P., Mykiska, A. Úvod do pneumatiky, Učebnice FESTO Didactic. FESTO DIDACTIC, Praha, 1994. ISBN 3-8127-0810-8
- [16] Library Reference Edition, OMEGA Engineering INC, 2001
- [17] Mitsubishi Electric Industrial Automation, Melsec A-/Q- Series, Programmable Logic Controllers Programming Manual, Version C, Art. No.87431, 2002
- [18] Mitsubishi Electric Europe B.V. Factory Automation, Melsec A Series, Programmable Controller User's Manual, 1999
- [19] Mitsubishi Electric Europe B.V., Melsec AnS QnAS, Technical Catalogue, 2003
- [20] Mitsubishi Electric Industrial Automation, Melsec A-Serie, Speicherprogrammierbare Steuerungen Bedienungsanleitung AnS-QnAS Hardware, Art.-Nr.:126859, 2002
- [21] Mitsubishi Electric Europe B.V. Factory Automation, E-Designer Programmingssoftware for Terminals of MAC E-Series, Operation manual, 2001
- [22] E-Designer Programmingssoftware for Terminals of MAC E-Series, Operation manual, 2001
- [23] Stránky firmy Testing Labs, s. r. o., dostupné z <http://www.testinglab.cz>
- [24] Stránky firmy Cressto, dostupné z <http://www.cressto.cz>
- [25] ČSN 69 0010 Tlakové nádoby stabilní. Technická pravidla
- [26] Stránky firmy Mitsubishi Electric Europe, dostupné z <http://www.mitsubishi-automation.de>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkr.	Vysvětlení.
χ	izoentropický exponent
Δp	tlakový rozdíl, tlaková difference
Δt	časový interval
ΔV	rozdíl objemů
A	konstanta
B	konstanta
$B(T)$	korekční součinitel teploty
$C(T)$	korekční součinitel teploty
c_p	měrná tepelná kapacita tekutiny při konstantním tlaku
c_v	měrná tepelná kapacita tekutiny při konstantním objemu
dp	elementární jednotka tlaku
dq	elementární jednotka teploty
ds	přírůstek měrné entropie
dt	elementární jednotka času
dT	elementární jednotka termodynamické teploty
dV	elementární objem tekutiny
HMI	Human Machine Interface
i	celé číslo
k	bezrozměrný faktor, číselná konstanta
$Limit-Q_L$	hraniční hodnota úniku pro netěsný světlomet
m	hmotnost tekutiny
M	molární hmotnost
n	látkové množství

N	počet molekul
n	polytropický exponent
N_A	Avogadrova konstanta
p	absolutní velikost tlaku
p_f	plnicí tlak
p_{f-max}	maximální plnicí tlak
p_{f-min}	minimální plnicí tlak
PLC	Programmable Logic Controller
p_p	zkušební tlak
Q_L	míra netěsnosti
Q_{L-cor}	korekce pro míru netěsnosti
Q_V	objemový průtok
R	plynová konstanta
r	měrná plynová konstanta
R_m	univerzální (molová) plynová konstanta
T	termodynamická teplota
t_b	čas uklidnění
t_f	čas plnění
t_m	čas měření
V	objem
v	měrný objem
V_{LDOV}	přípustný únik netěsností
V_m	molová hmotnost
VP	Vorrichtung Prüfung
w_{12}	objemová práce

w_{t12} tlaková práce

z kompresibilní činitel

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Pojmy užívané v souvislosti s měřením tlaku.....	10
Obr. 2. Přetlaková zkouška těsnosti lokalizační	20
Obr. 3. Přetlaková zkouška těsnosti integrální.....	20
Obr. 4. Podtlaková zkouška těsnosti lokalizační s využitím zkušebního zvonu.....	21
Obr. 5. Podtlaková zkouška těsnosti integrální.....	21
Obr. 6. Průběh testu na netěsnost.....	29
Obr. 7. Toleranční meze plnicího tlaku p_f	30
Obr. 8. Průběh zkušebních intervalů.....	33
Obr. 9. Zkušební přístroj VP5928.....	34
Obr. 10. Foto konzole elektropneumatiky	35
Obr. 11. Operátorský panel LAUER PCS009.....	36
Obr. 12. Konzole elektropneumatiky.....	39
Obr. 13. Aktivní snímač a spotřebičový vstupní modul	41
Obr. 14. Pasivní snímač a zdrojový vstupní modul	42
Obr. 15. Aktivní výstup a spotřebičový výstupní modul	42
Obr. 16. Pasivní výstup a zdrojový výstupní modul	42
Obr. 17. Základová deska A1S38B-E.....	43
Obr. 18. Napájecí zdroj A1S61PN.....	43
Obr. 19. Centrální procesorová jednotka A1SHCPU	45
Obr. 20. Modul digitálních vstupů A1SX80.....	46
Obr. 21. Modul digitálních výstupů A1SY80.....	47
Obr. 22. Modul AD/DA převodníku A1S63ADA.....	47
Obr. 23. Operátorský terminál MAC E200.....	50
Obr. 24. Transparentní režim	50
Obr. 25. Miniaturní elektropneumatický regulátor	51
Obr. 26. Pracovní diagram regulátoru.....	52
Obr. 27. Blokový diagram regulátoru	52
Obr. 28. Přesný tlakový snímač	53
Obr. 29. Hierarchické menu projektu v E-Designeru	54

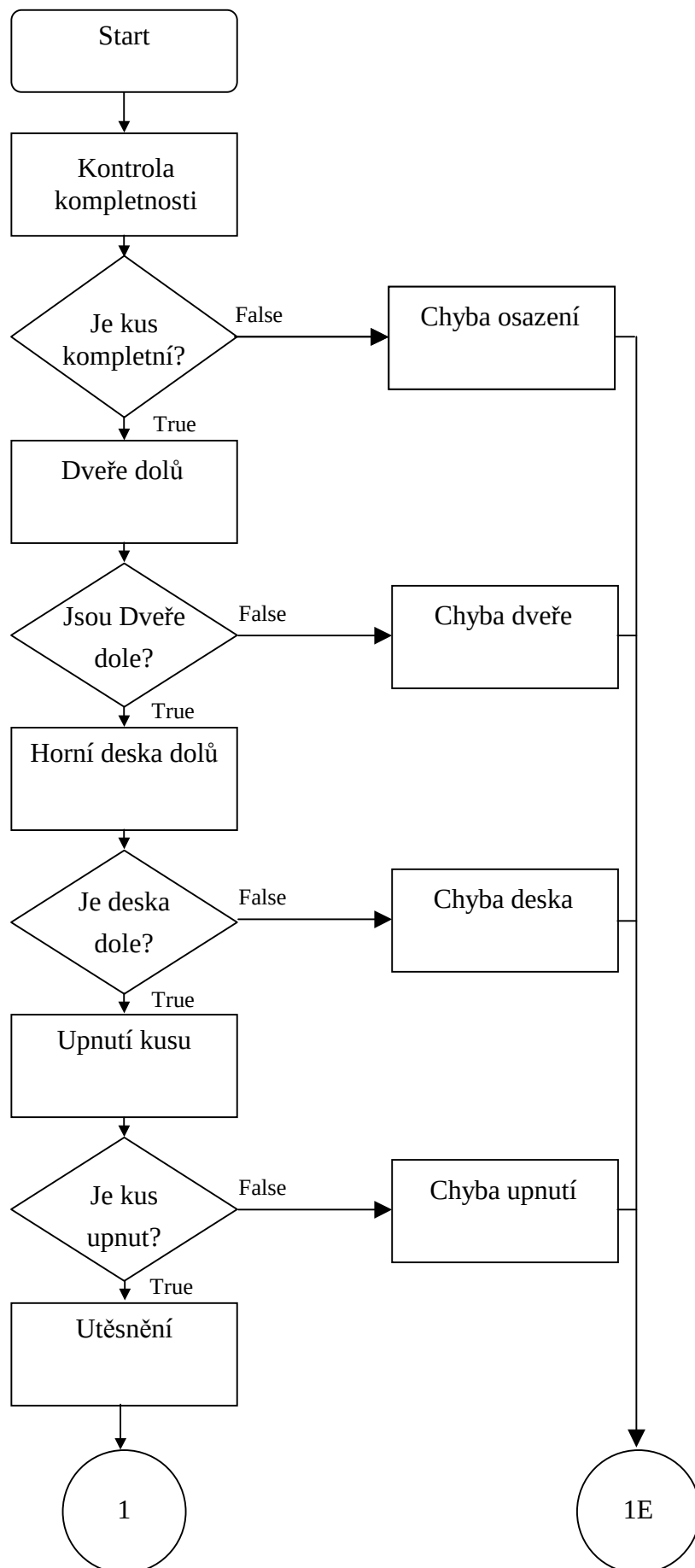
SEZNAM TABULEK

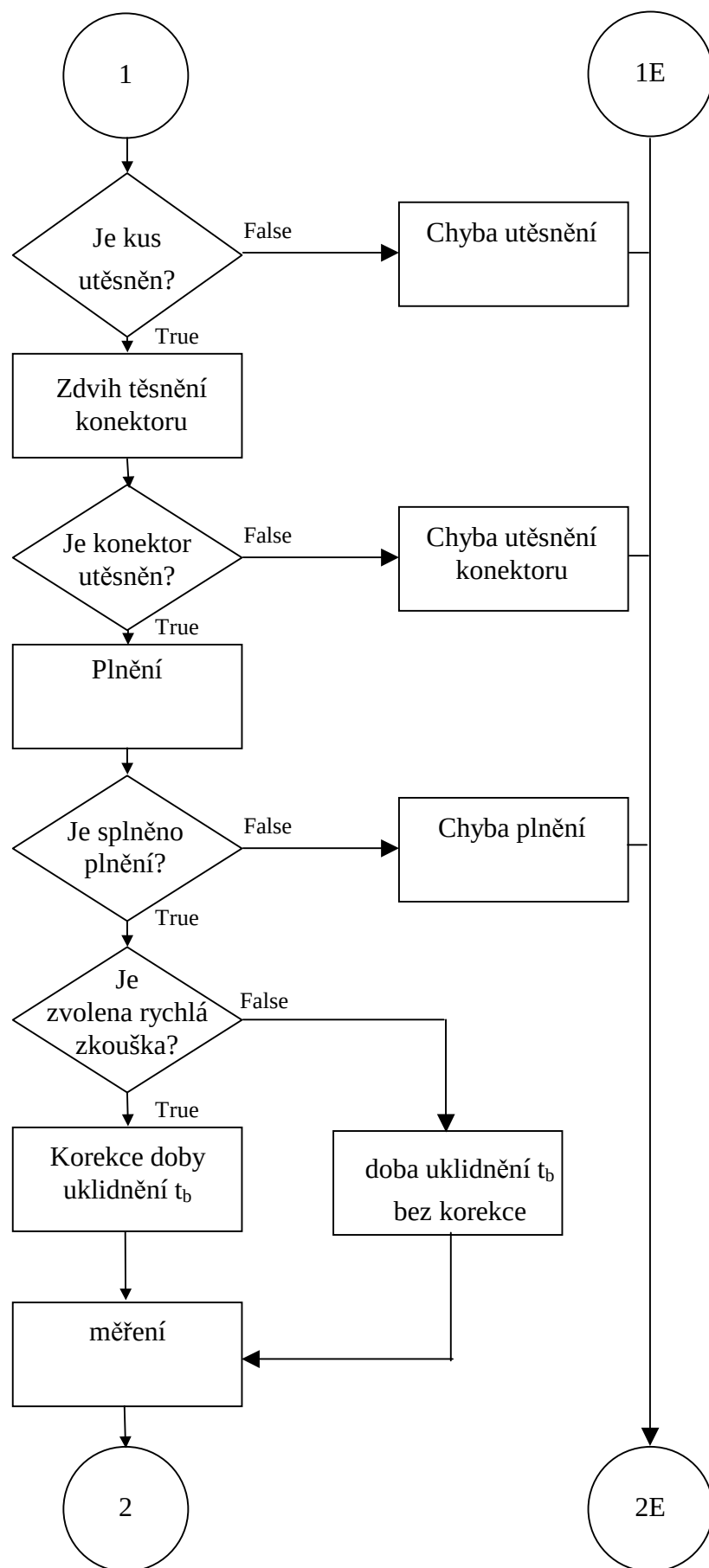
Tab. 1. Předepsané hodnoty míry úniku dle druhu světloometu při zkušebním tlaku	25
Tab. 2. Předepsané hodnoty zkušebního tlaku (přetlaku) dle objemu světloometu.....	25
Tab. 3. Požadované maximální možné rozlišení zadávaných jednotek.....	27
Tab. 4. Doporučené hodnoty pro určení času měření	30
Tab. 5. Referenční hodnoty míry úniku dle plnicího tlaku	31
Tab. 6. Výsledek testu s vypnutým a se zapnutým únikovým ventilem	32
Tab. 7. Stav vstupů v závislosti na přivedeném vstupním napětí, nebo proudu.....	46
Tab. 8. Hodnoty digitálního výstupu z převodníku v závislosti na velikosti vstupního signálu	48
Tab. 9. Rozlišení vstupního signálu a rychlost převodu dle rozlišení převodníku	48
Tab. 10. Velikost analogového výstupu podle digitální vstupní hodnoty.....	49
Tab. 11. Maximální rozlišení výstupního signálu převodníku	49

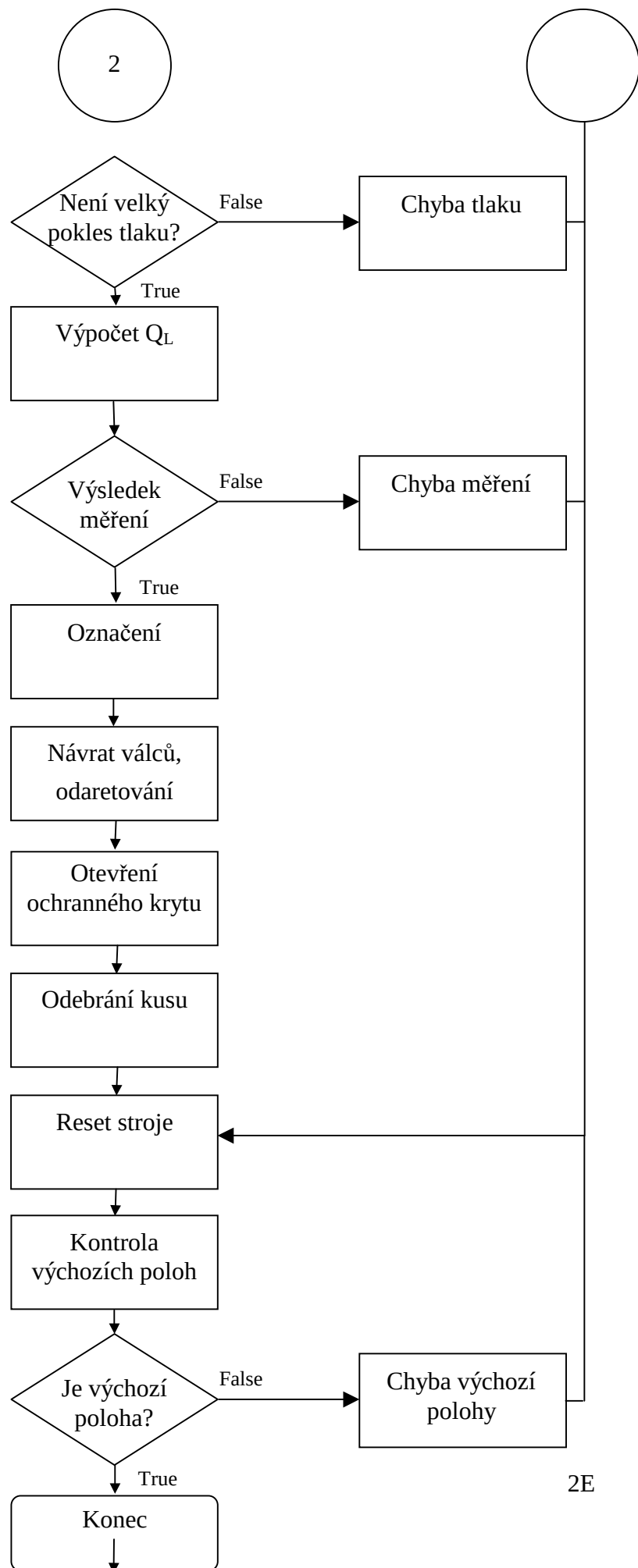
SEZNAM PŘÍLOH

- P I Vývojový diagram programu
- P II Zapojení analogového modulu
- P III Zapojení digitálních vstupů X020 - X027
- P IV Zapojení digitálních vstupů X028 - X02F
- P V Zapojení digitálních vstupů X030 - X037
- P VI Zapojení digitálních vstupů X038 - X03F
- P VII Zapojení digitálních výstupů Y040 - Y47
- P VIII Zapojení digitálních výstupů Y048 - Y4F
- P IX Zapojení digitálních výstupů Y050 - Y57
- P X Zapojení digitálních výstupů Y058 - Y5F
- P XI Zapojení komunikace terminálu E200
- P XII Foto pracoviště pro zkoušení těsnosti světlometu VW Passat B6
- P XIII Program pro PLC Mitsubishi A1SH
- P XIV Program pro terminál MAC E200

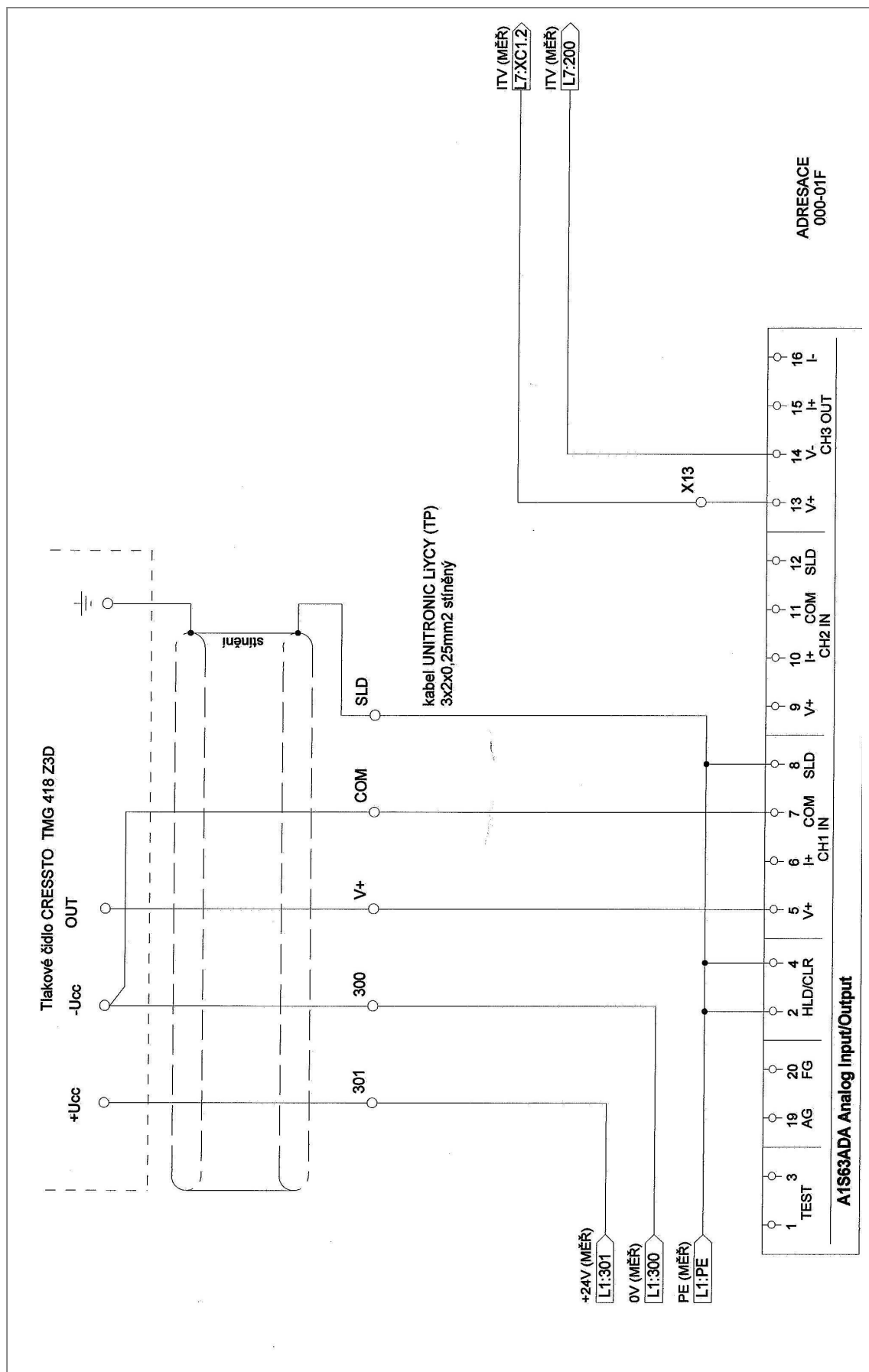
PŘÍLOHA P I: VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU



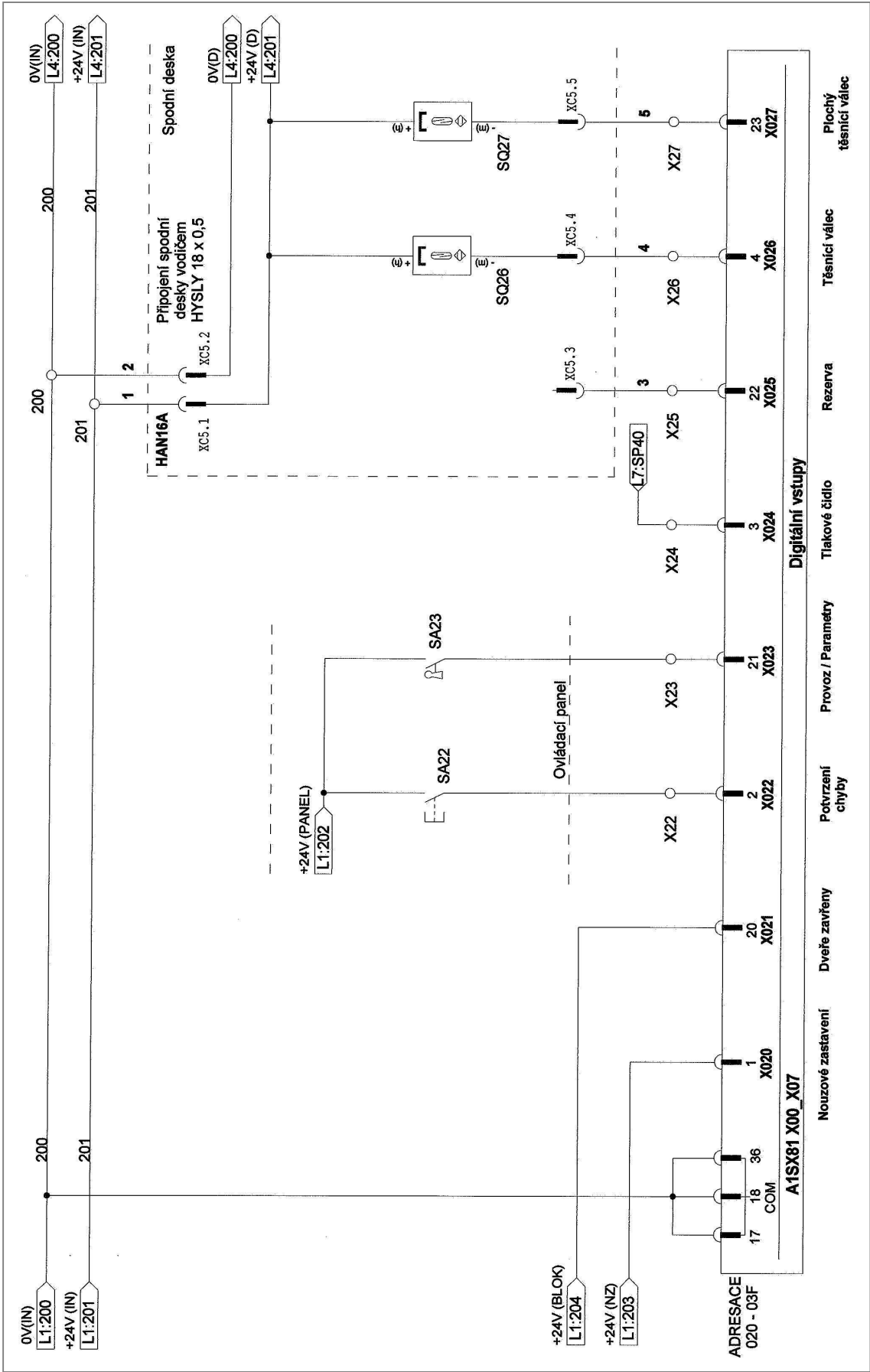




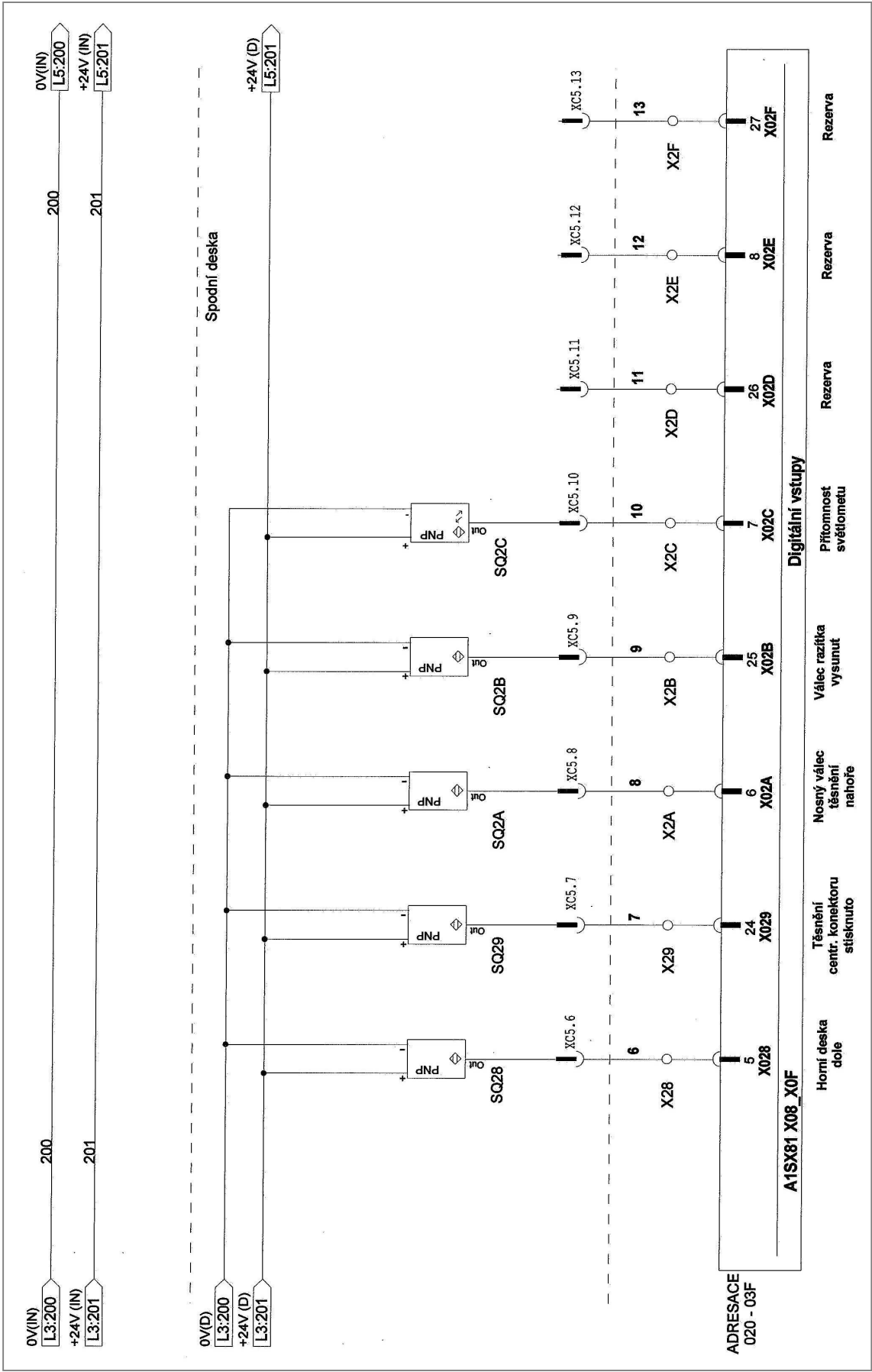
PŘÍLOHA P II: ZAPOJENÍ ANALOGOVÉHO MODULU



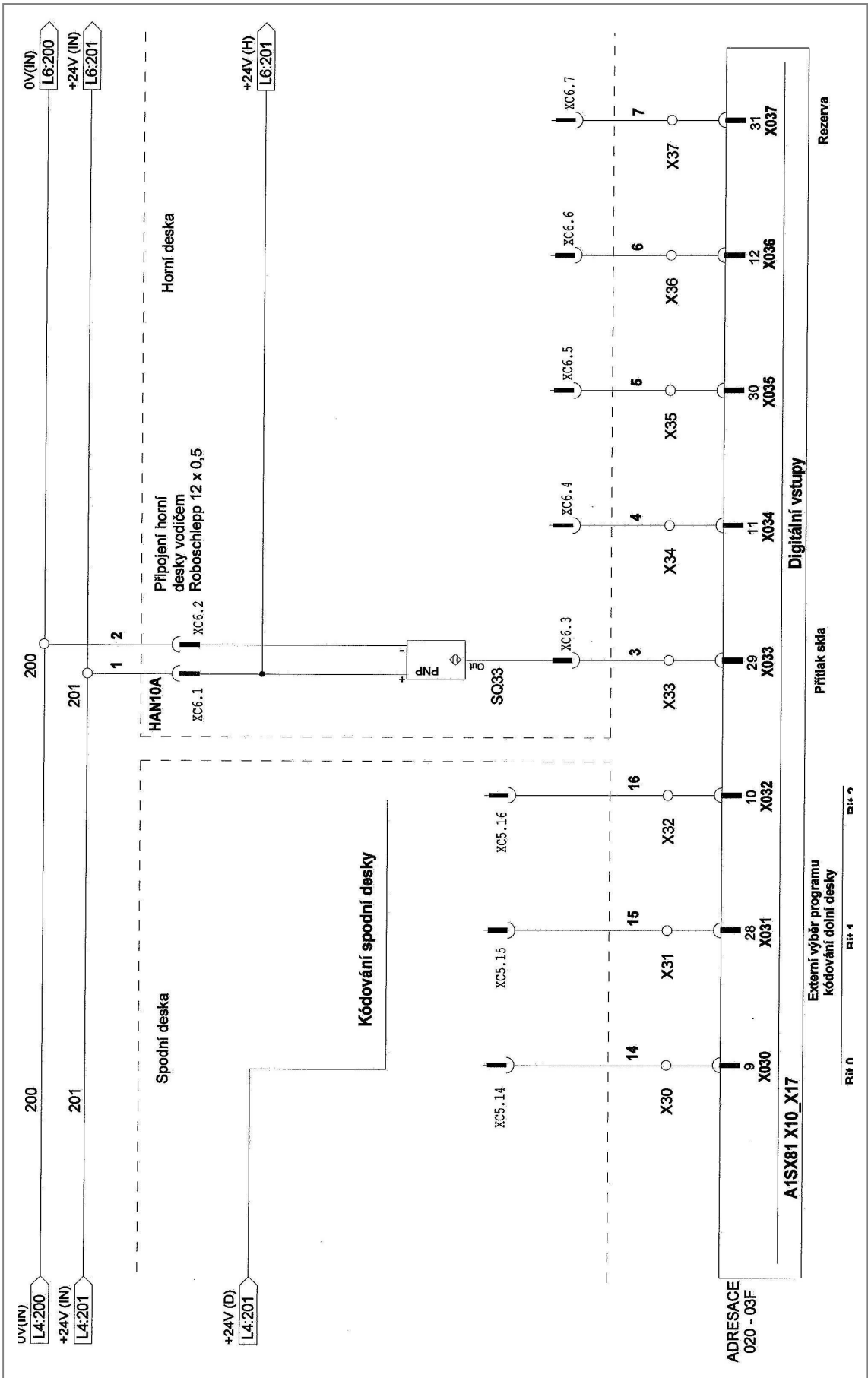
PŘÍLOHA P III: ZAPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VSTUPŮ X020 - X027



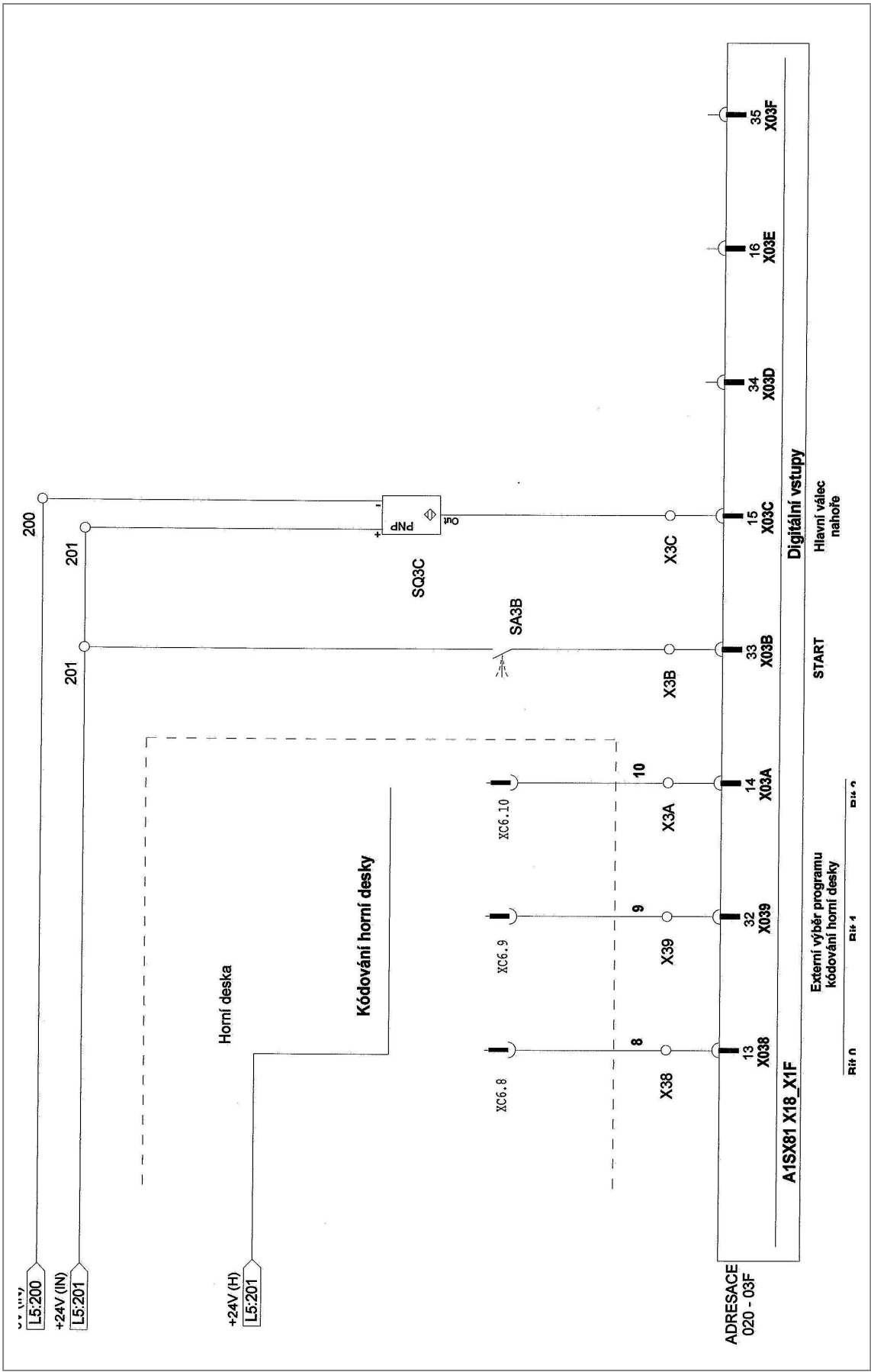
PŘÍLOHA P IV: ZAPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VSTUPŮ X028 -X02F



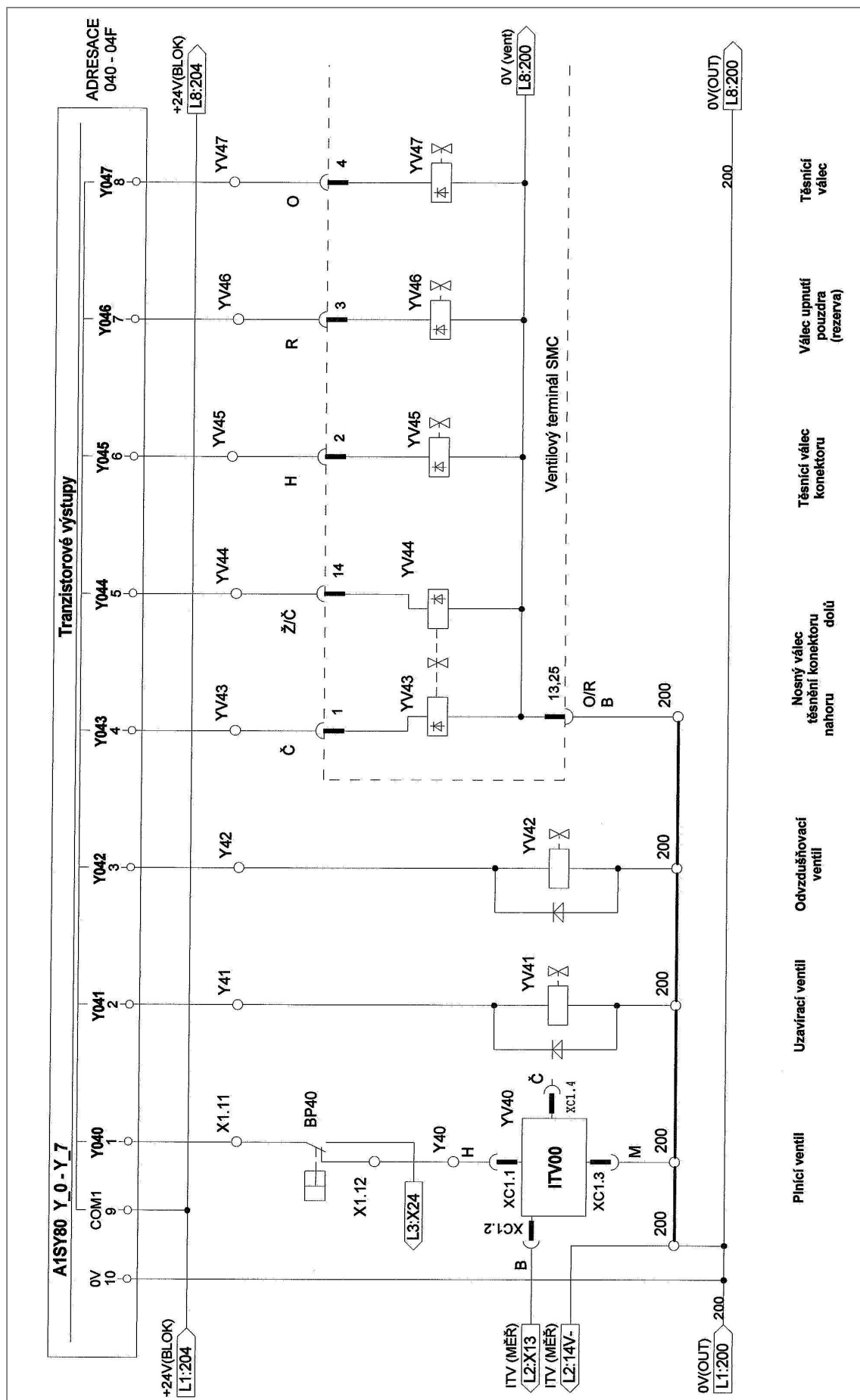
PŘÍLOHA P V: ZAPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VSTUPŮ X030 - X037



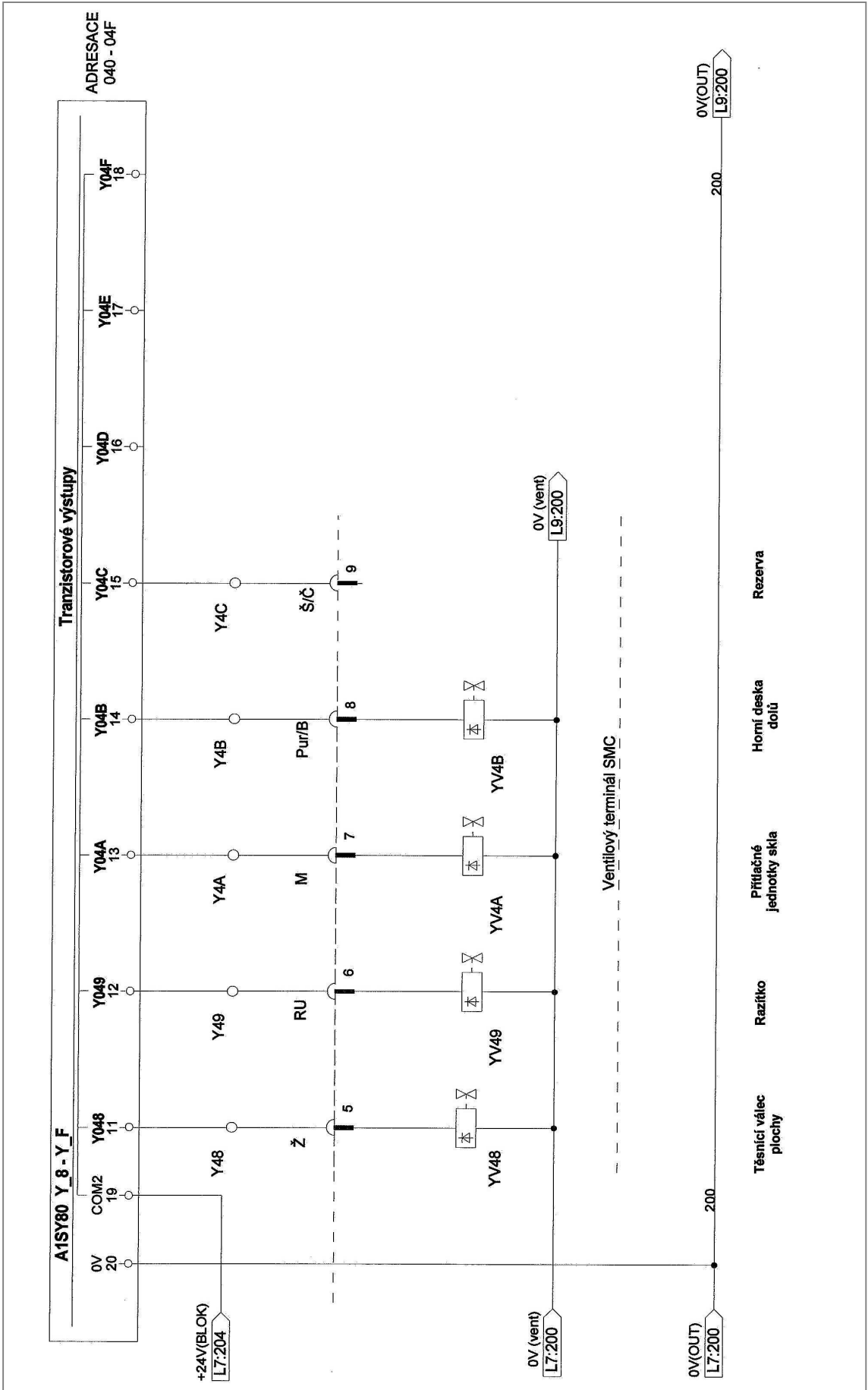
PŘÍLOHA P VI: ZAPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VSTUPŮ X038 - X3F



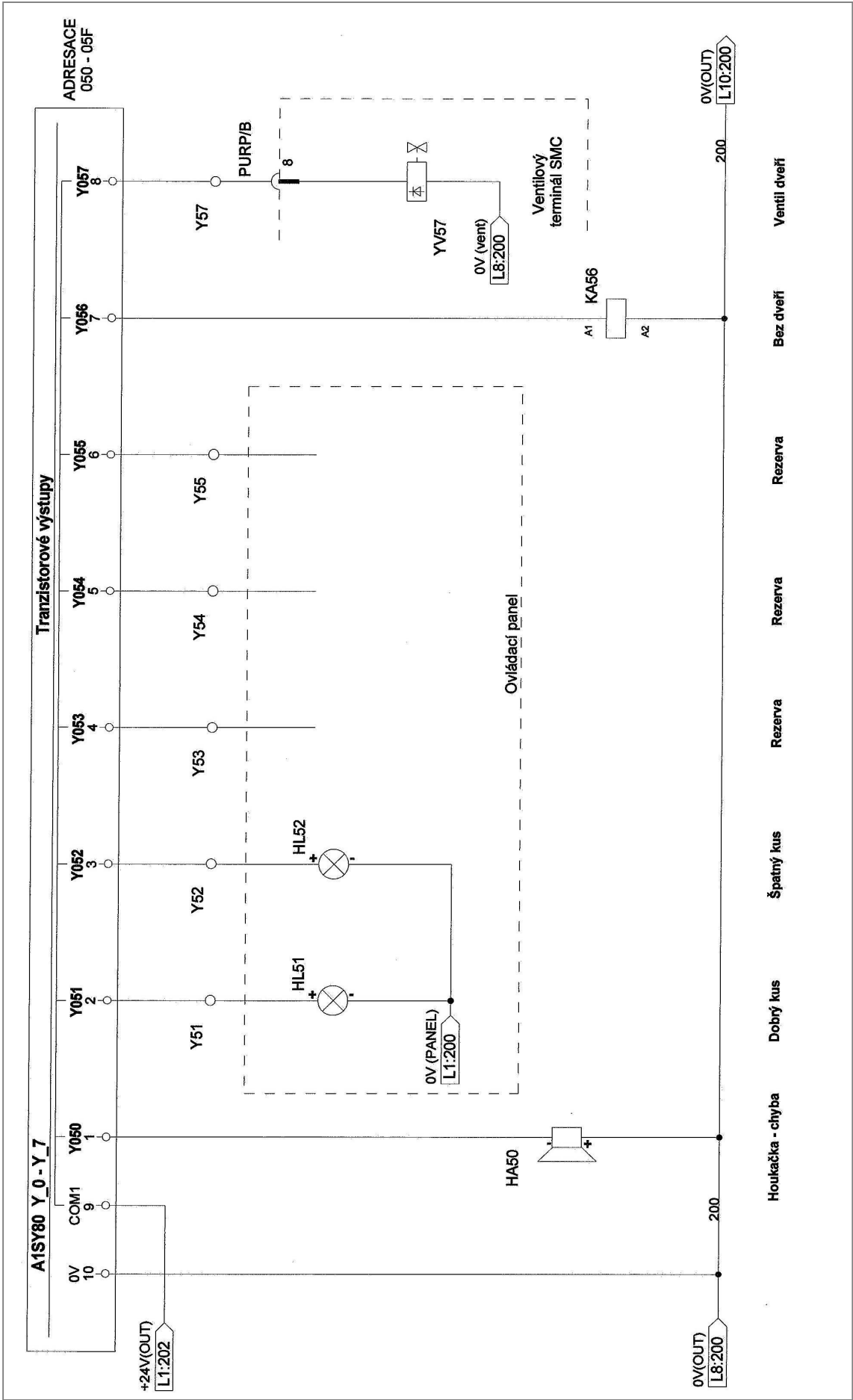
PŘÍLOHA P VII: ZAPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VÝSTUPŮ Y040 - Y047



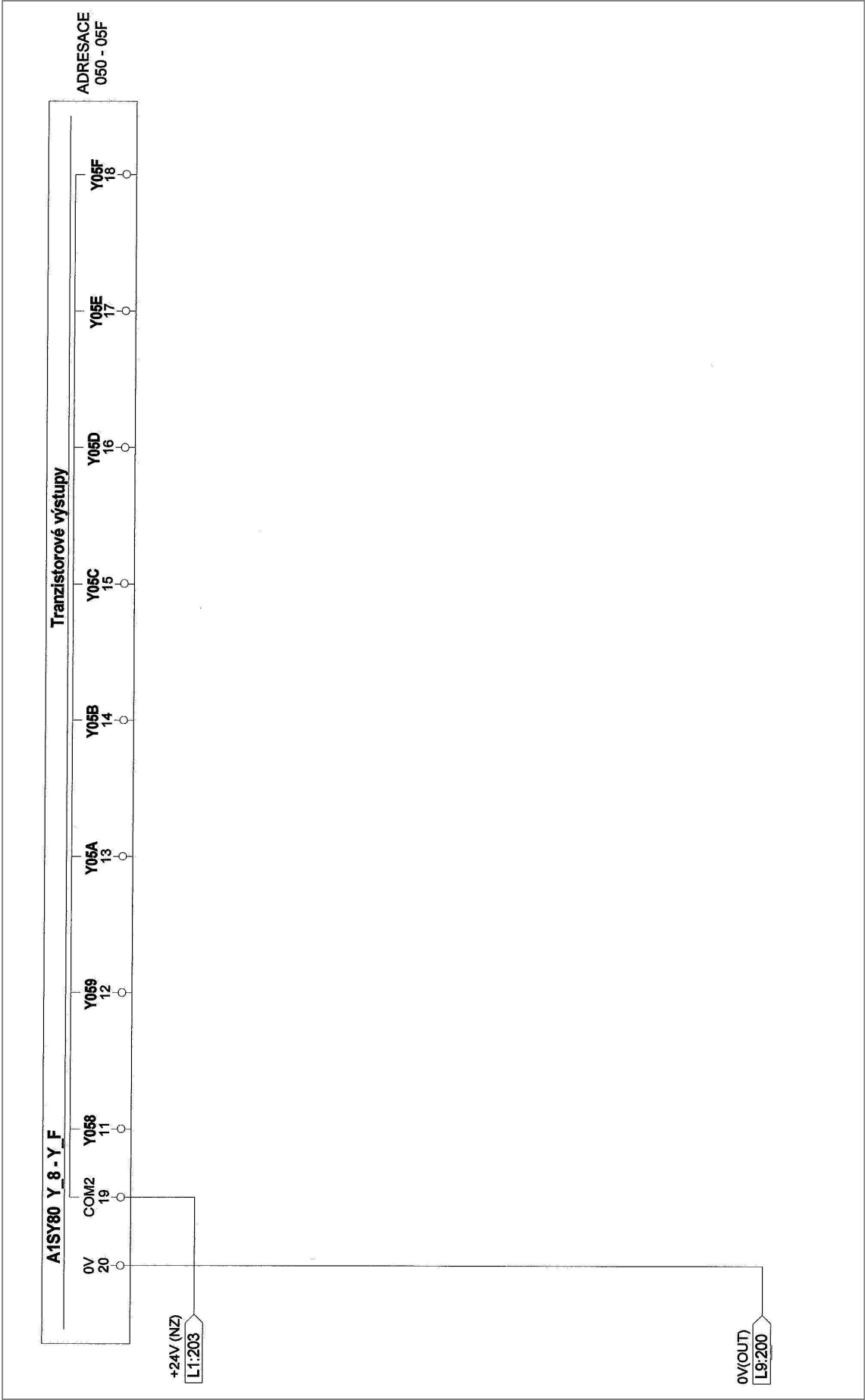
PŘÍLOHA P VIII: ZAPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VÝSTUPŮ Y048 - Y04F



PŘÍLOHA P IX: ZAPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VÝSTUPŮ Y050 - Y057



PŘÍLOHA P X: ZAPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VÝSTUPŮ Y058 - Y05F



[illegible]

**PŘÍLOHA P XII: FOTO PRACOVISTĚ PRO ZKOUŠENÍ TĚSNOSTI
SVĚTLOMETU VW PASSAT B6**

