

Návrh pneumatického rozvodu

1. Výpočet spotřeby vzduchu

Stavová rovnice plynů: $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = konst$

p ... tlak [kPa], V ... objem [m³], T ... teplota [K].

Při konstantní teplotě platí Boyle-Marriotův zákon $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = konst$

Při konstantním tlaku platí Gay-Lussacův zákon $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Pro určení provozních nákladů za spotřebovanou energii je důležité stanovit:

- kompresní poměr: $kp = \frac{p_{e1}}{p_{e2}} = \frac{101,3 + p}{101,3}$ [–; kPa],

vztažený na nadmořskou výšku (zde je konkrétní atmosférický tlak = 101,3 kPa)

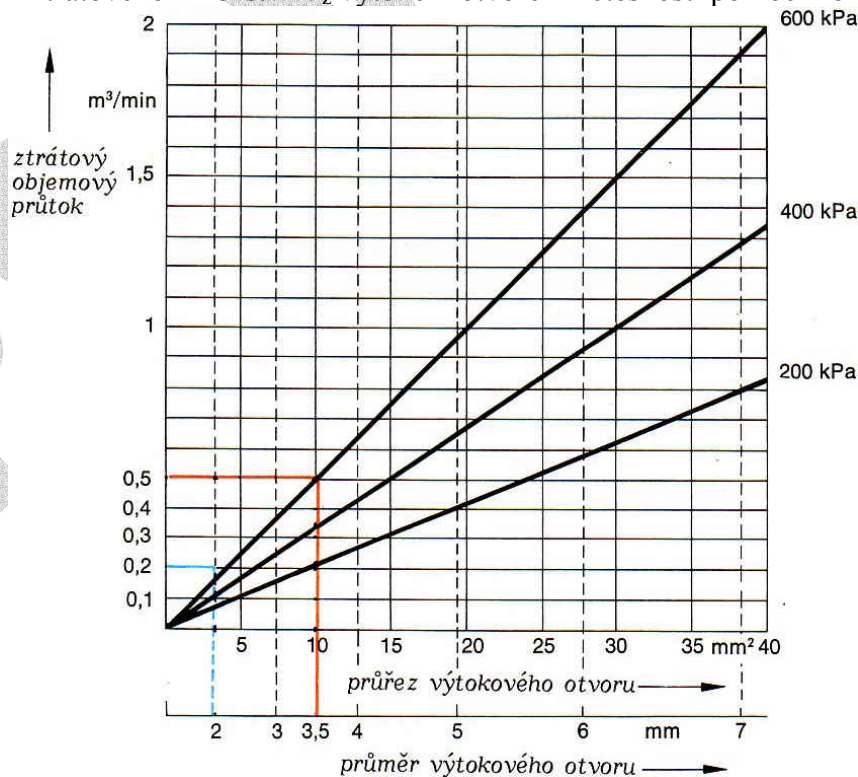
p ... pracovní tlak je požadovaný a nutný pro správnou funkci jednotlivých pneumatických zařízení, často se volí velikost 600 kPa

- spotřeba pro jednočinný pneumotor: $V = s \cdot n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot kp$ [litr/min; dm, –],

- spotřeba pro dvojitý pneumotor: $V = (2 \cdot D^2 - d^2) \cdot s \cdot \frac{\pi}{4} \cdot n \cdot kp$ [litr/min; dm, –],

V ... průtok vzduchu (spotřebované množství) [litry/min], s ... celkový zdvih [dm],
n ... počet zdvihů [dm], D ... průměr pístu [dm], d ... průměr pístnice [dm].

- určení ztrátového množství V_z výtokem otvorem netěsnosti pomocí nomogramu č. 1.



nomogram č. 1.: ztráty netěsností

- celkový průtok vzduchu (součet všech spotřeb) $V_c = \sum_i V_i$ [l/min; l/min]
- cena energie $C = tc \cdot V_c$ [Kč; Kč/l/min, l/min].

2. Výpočet síly vyvozené na pístu

Teoretická síla na pístu: $F_t = A \cdot p$ [N; m², Pa], kde $A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$ [m²; m],

A ... činná plocha pístu [m²],

D ... průměr pístu [m],

d ... průměr pístnice [m].

Efektivní velikost vyvozené síly je vždy menší:

- pro jednočinný pneumotor: $F_e = A \cdot p - F_{tr} - F_{pr}$ [N; m², Pa, N, N],
 F_{tr} ... síla tření = 3 až 20 % F_e [N],
 F_{pr} ... síla pružiny pro zpětný pohyb (údaj definovaný výrobcem) [N],
- pro dvojčinný pneumotor – pohyb vpřed: $F_e = A \cdot p - F_{tr}$ [N; m², Pa, N],
- pro dvojčinný pneumotor – pohyb vzad: $F_e = A' \cdot p - F_{tr}$ [N; m², Pa, N],

A' ... činná plocha pístu na straně pístnice $A' = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$ [m²; m].

Pro pístový motor s úderným účinkem je $E = \frac{m \cdot v^2}{2}$ [J; kg, m/s],

E ... energie [kg·m²/s² = Nm = Joule],

m ... hmotnost [kg],

v ... rychlost [m/s] – bývá 7 až 10 m/s (u normálních pístů 1 až 2 m/s).

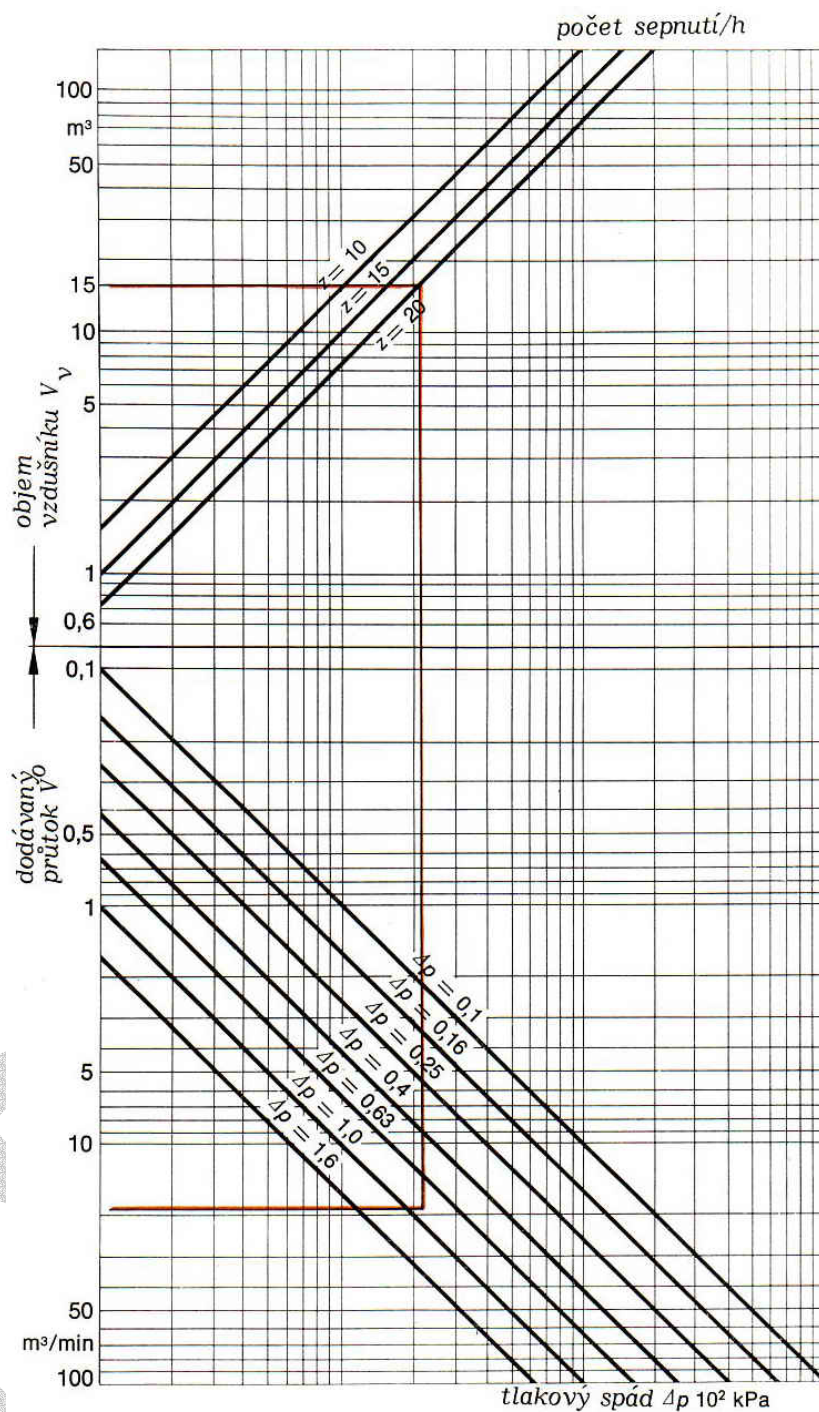
Zdvih pístu z hlediska vzpěrové pevnosti je závislý na průměru pístnice a na síle pístu. Při působení velké síly a při velkém zdvihu může dojít k deformaci příliš tenké pístnice.

3. Určení objemu vzdušníku

Vzdušník (tlaková nádoba) je vestavěný do výtlačného potrubí. Slouží ke snížení kolísání tlaku, které je vyvoláno proměnnou spotřebou stlačeného vzduchu. Současně je vzduch částečně ochlazován odvodem tepla velkou plochou pláště vzdušníku. Velikost vzdušníku závisí na:

- množství vzduchu od kompresoru,
- spotřebě vzduchu,
- rozvodné síti (tvoří přídavný objem!),
- zvoleném způsobu regulace kompresoru,
- přípustném tlakovém spádu v síti.

Objem vzdušníku se určí pomocí nomogramu č. 2.



nomogram č. 2.: určení objemu vzdušníku

Postup při použití nomogramu č. 2.:

- Ze svislé osy (spodní polovina) se pro hodnotu požadovaného průtoku vynese vodorovná čára, která protne šikmou linii povoleného tlakového spádu.
- Z průsečíku se vynese svislá čára do horní části nomogramu, kde protne šikmou linii počtu sepnutí kompresoru za hodinu.
- Z tohoto průsečíku se vynese vodorovná čára vlevo, která na svislé ose (horní polovina) určí velikost objemu vzdušníku.

4. Dimenzování potrubí

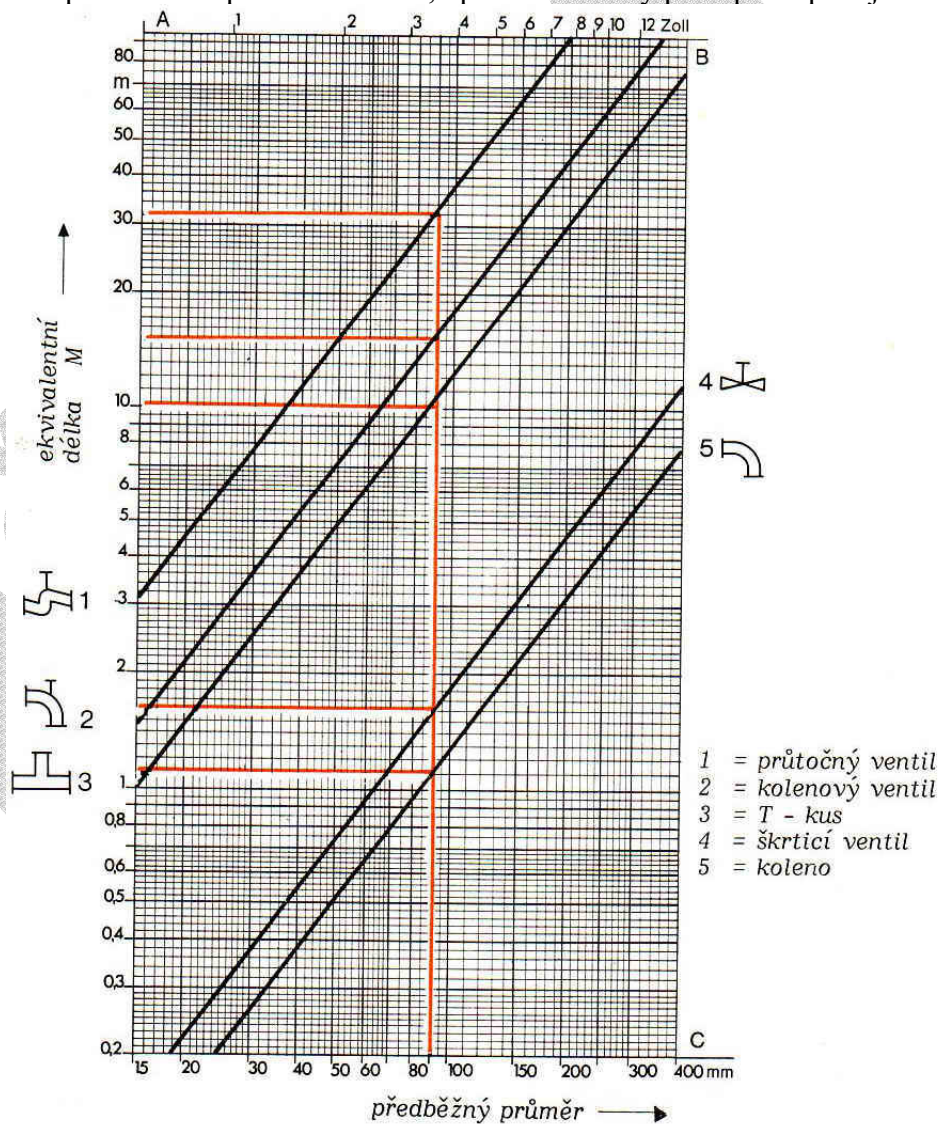
Vnitřní průměr potrubí má být určen z:

- průtoku vzduchu,
- délky potrubí,
- přípustné tlakové ztráty,
- provozního tlaku,
- počtu míst se škrcením.

Pro výpočet průměru je nutné nejprve určit ekvivalentní délku potrubí:

V 1. kroku se zhruba odhadne průměr potrubí a pro jednotlivé fitinky (průtočný, kolenový a škrťací ventil, T-kus, koleno 90°) se odečtou z nomogramu č. 3. ekvivalentní délky, které se přičtou k celkové délce potrubí. Pro takto určenou ekvivalentní délku potrubí se určí vnitřní průměr potrubí pomocí nomogramu č. 4.

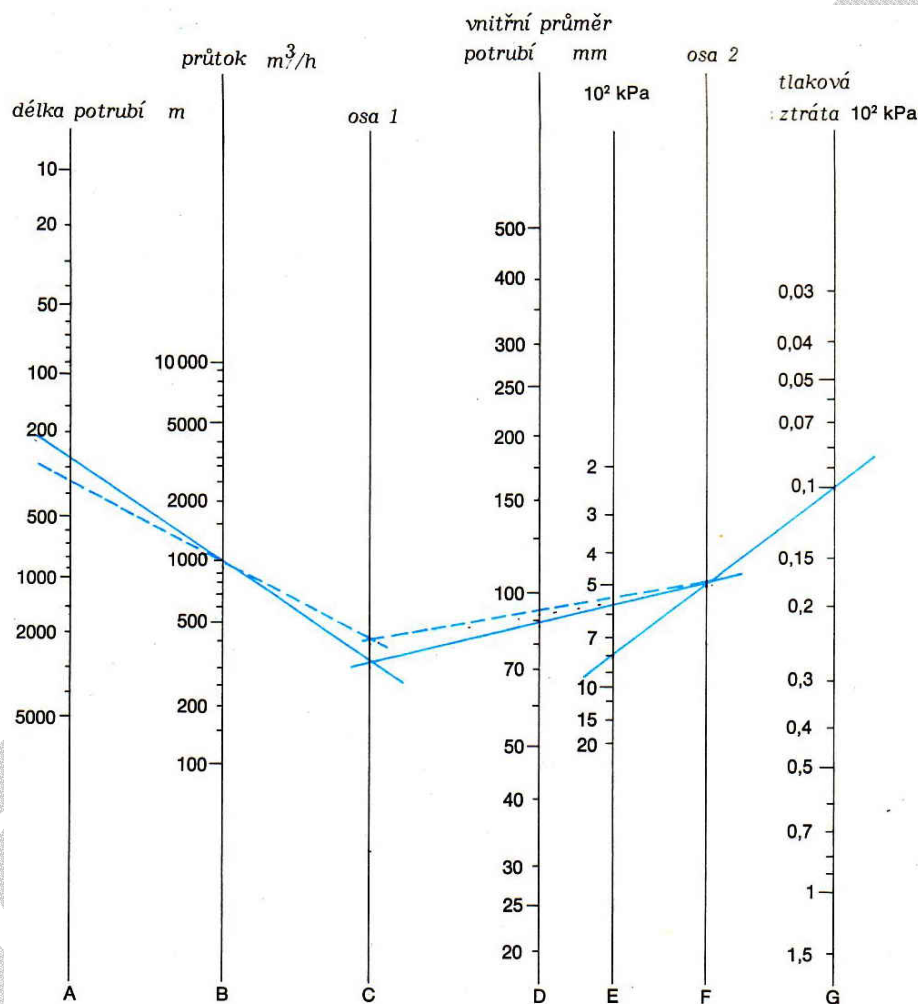
V 2. kroku se znovu určí pro jednotlivé fitinky jejich ekvivalentní délky a spočítá se výsledná celková délka potrubí. Pro tuto délku se zkontroluje určený průměr potrubí. Pokud se příliš liší od prvního odhadu, upřesní se a celý postup se opakuje.



nomogram č. 3.: ekvivalentní délky fitinek

Postup při použití nomogramu č. 3.:

- Z vodorovné osy nomogramu (spodní je cejchována v mm, horní v palcích „Zoll“, v praxi je použití palců častější) se vynese svislá čára.
- V průsečících s šikmými liniemi jednotlivých fitinek, se na svislé ose ve stejné úrovni průsečíků odečte příslušná ekvivalentní délka potrubí pro 1 kus daného typu fitinky.



nomogram č. 4.: určení vnitřního průměru potrubí

Postup při použití nomogramu č. 4.:

- Na ose A se určí bod délky potrubí. Na ose B bod hodnoty průtoku vzduchu. Body na ose A a B se spojí čarou, která se protáhne tak, aby protнула osu C.
- Na ose E se určí bod pracovního tlaku. Na ose G bod povolené tlakové ztráty. Body na ose E a G se spojí. Tím vznikne průsečík s osou F.
- Průsečík na ose C se spojí čarou s průsečíkem na ose F. V bodě kde spojnice protne osu D je hledaný vnitřní průměr potrubí.

Příklad: $Q=16\text{ m}^3/\text{min}$ ($960\text{ m}^3/\text{h}$), délka 280 m, 6 T odboček, 5 oblouků, 1 průtočný ventil, ztráta $\Delta p=10\text{ kPa}$, provozní tlak $p=800\text{ kPa} \rightarrow$ průměr potrubí ?
(plné čáry = prvotní odhad bez fitinek, čárkované čáry = potrubí + fitinky)

5. Typy kompresorů

Kriteria pro volbu kompresoru jsou:

- dodávané množství vzduchu (průtok vzduchu při požadovaném tlaku). Rozlišuje se:
 - teoretický průtok – je dán součinem zdvihového objemu a počtu zdvihů,
 - efektivní průtok – je menší a závisí na typu kompresoru a tlaku vzduchu,
- tlak vzduchu, rozlišujeme:
 - provozní tlak – tlak vzduchu na výstupu kompresoru, resp. ve vzdušníku, případně v potrubí ke spotřebičům,
 - pracovní tlak – požadovaný a nutný pro správnou funkci jednotlivých zařízení,
- pohon kompresorů:
 - elektromotorem – používá se převážně v průmyslových provozech,
 - spalovacím motorem – u mobilních kompresorů,
- regulace kompresoru:
 1. chodem na prázdko:
 - a) regulace odpouštěním do atmosféry,
 - b) regulace uzavřením sání,
 - c) regulace odtlačení sacích ventilů,
 2. regulace výkonu pomocí:
 - a) regulace otáček,
 - b) regulace škrcením sání nebo obtoku z výtlaku do sání,
 3. dvupolohová regulace (zapnutí – vypnutí motoru).

V důsledku nerovnoměrné spotřeby tlakového vzduchu je nutné výkon kompresoru přizpůsobovat této proměnné spotřebě, aby nedocházelo ke kolísání výtlačného tlaku.

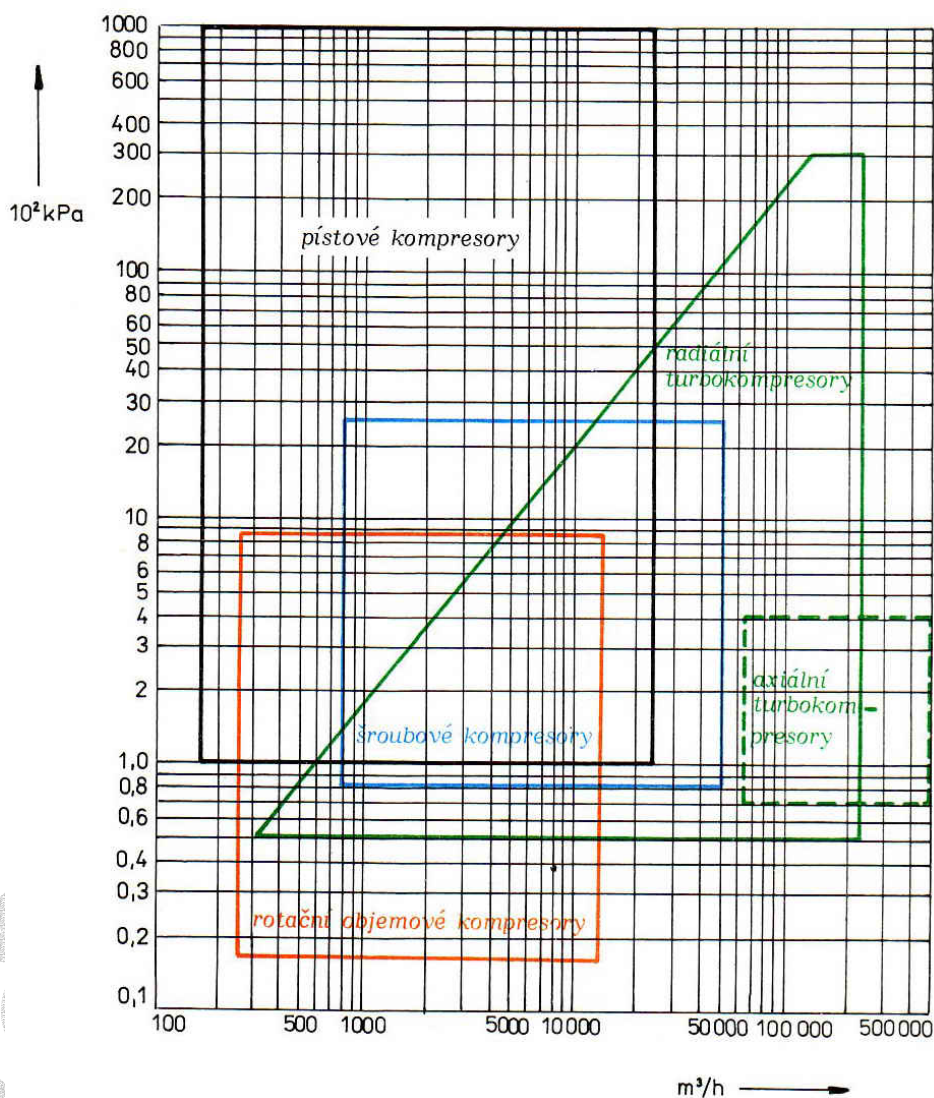
Základní typy kompresorů:

1. Objemové s přímočarým pohybem:
 - a) pístové:
 - i. jednostupňové do 400 kPa (do max 1 200 kPa),
 - ii. dvoustupňové do 1 500 kPa (do max 3 000 kPa),
 - iii. tři a více stupňové nad 1 500 kPa (do max 22 000 kPa).
 - b) membránové,
2. Objemové rotační:
 - a) křídlový (lamelový),
 - b) šroubový jednohřídelový,
 - c) šroubový dvouhřídelový,
 - d) Rootsův dvouhřídelový,
3. Turbokompresory:
 - a) radiální (vzduch proudí odstředivě kolmo k ose – směr radiusu),
 - b) axiální (vzduch proudí ve směru osy turbíny).

Chlazení kompresoru, které odvádí ztrátové teplo vznikající třením pohyblivých dílů a stlačováním vzduchu, se provádí nejčastěji třemi způsoby:

- u malých kompresorů pomocí chladících žebér na povrchu válce,
- u větších je doplněný ventilátor, který nuceným prouděním zvyšuje odvod tepla,
- u stanic nad 30 kW vodním chlazením válců bez nebo s nuceným oběhem chladicí kapaliny.

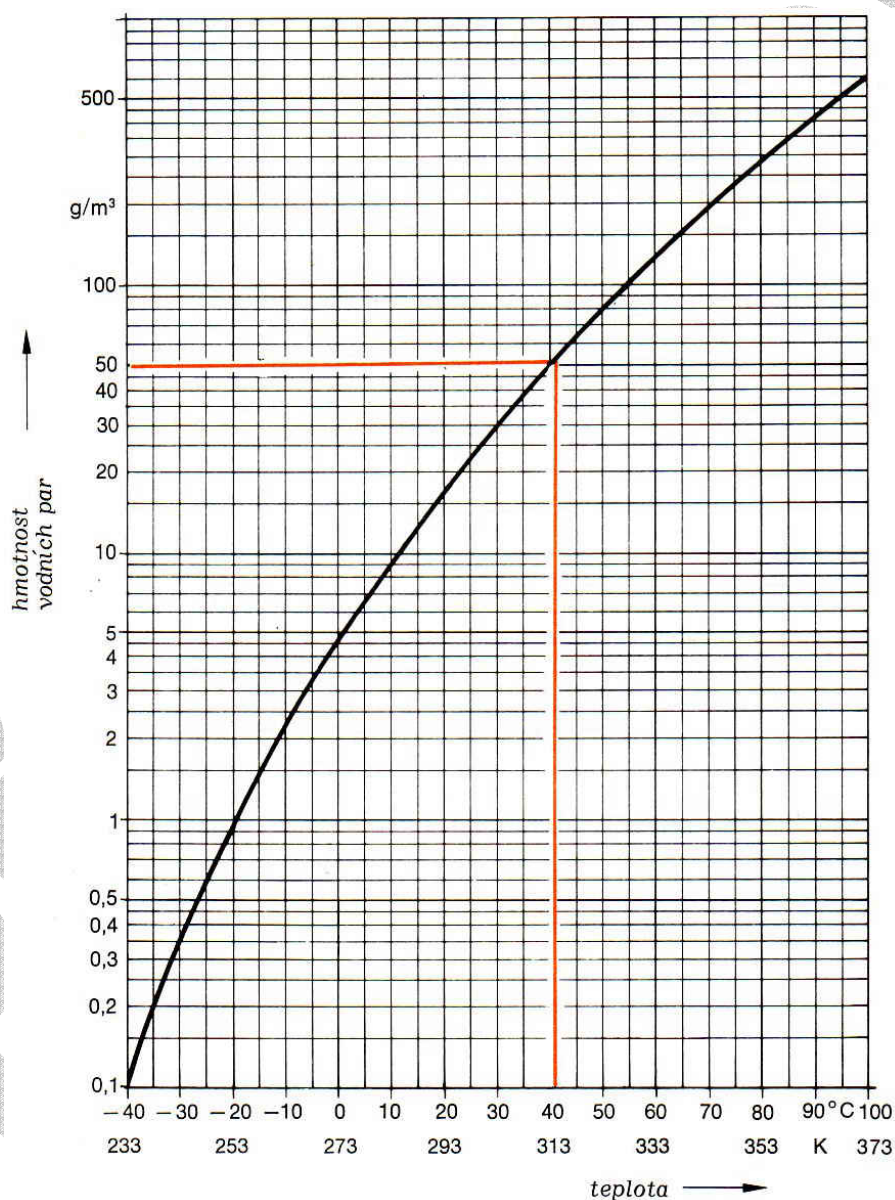
Typ kompresoru pro požadovaný rozsah tlaku a dodávané množství je možné přibližně určit pomocí nomogramu č. 5.



nomogram č. 5.: určení typu kompresoru

6. Zařízení pro úpravu vzduchu

Chlazení tlakového vzduchu – při stlačení v kompresoru se vzduch intenzivně zahřeje a je nutné ho ochladit na běžnou teplotu. Chladič bývá součástí kompresoru. Při ochlazení se sráží vlhkost a tento kondenzát je nutné zachycovat aby nezpůsobil korozi uvnitř pneumatického systému. Funkci chladiče u menších systémů obvykle vykonává vzdušník. Jak chladič, tak vzdušník, musí být vybaven ventilem pro odpouštění kondenzátu.



nomogram č. 6.: závislost množství vodních par na teplotě

Vysoušení tlakového vzduchu – je nutné pro bezporuchový provoz pneuzařízení. Používají se tři základní metody:

- absorpční (voda se chemicky váže na sušící prostředek, po nasycení se musí sušící prostředek vyměnit za nový),
- adsorpční (voda se zachycuje na povrchu sušícího prostředku, po jeho nasycení lze sušící prostředek regenerovat – vysušit),
- pomocí ochlazení (vzduch se ochladí pod teplotu rosného bodu, kdy vodní páry kondenzují, kondenzát se hromadí v odlučovači).

Určení množství vlhkosti:

$$vlhkost_{absolutní} = \frac{vlhkost_{relativní} \cdot množství_sytych_par}{100\%} \cdot V_c \quad [g; \%, g/m^3, m^3],$$

kde množství sytých par se určí z nomogramu č. 6.

Vzduchový čistič – odstraní ze vzduchu veškeré zbytky nečistot a zkondenzované vody. Pevné částice mohou zanášet jemné mechanismy a způsobovat brusné opotřebení zařízení, především pryžových těsnění kluzně uložených pohyblivých dílů. Vzduch je nejdříve čištěn cyklónovým efektem (v nádobce rotuje a pevné a tekuté nečistoty jsou odstředivou silou odlučovány) a poté prochází filtrační vložkou (velikost otvorů cca 40 μm). Filtr se postupně zanáší a je ho potřeba občas vyměnit. Kondenzát z nádoby odlučovače je potřebné po dosažení maximální povolené výšky výpustným šroubem vypustit. Pro nejjemnější čištění jsou k dispozici filtry s velikostí otvorů 0,1 μm (vyrobeny z borokřemičitého skla).

Redukční ventily – udržují na svém výstupu konstantní tlak i při kolísání tlaku rozvodné sítě. Primární tlak (na vstupu) musí být větší než sekundární (na výstupu). Výstupní tlak je určen polohou ventilu ovládaného membránou na kterou působí z jedné strany výstupní tlak a z druhé síla pružiny určující velikost výstupního tlaku.

Rozprašovač oleje – do vzduchu se přimíchává mazivo ve formě jemného olejového aerosolu, které zmenšuje tření pohyblivých dílů a chrání vnitřní povrchy před korozí. Většinou pracují na principu Venturiho trubice (fixírka) a jejich funkce je podmíněna dostatečnou rychlostí proudění vzduchu. Proto se musí dodržet výrobcem udávaný minimální průtok.

Jednotky pro úpravu vzduchu – jsou kompaktní a tvoří je čistič vzduchu, redukční ventil a rozprašovač oleje.

7. Provedení a umístění potrubí rozvodné sítě

Potrubí musí být přístupné (kontrola těsnosti a údržba), proto se neumísťuje do šachet či kanálů, ale na dostupná místa.

Při kladení potrubí je třeba dodržovat sklon potrubí 1 až 2% ve směru proudění (snášení nečistot a kondenzátu). Odbočky ke spotřebičům jsou umístěny vždy na horní straně potrubí, aby nedocházelo ke strhávání nečistot. Pro odvod kondenzátu a nečistot se umísťují speciální odbočky na spodní stranu potrubí (nejnižší místa rozvodu).

Hlavní vedení může tvořit jednoduchý rozvod s odbočkami. ale nejčastěji se provádí jako uzavřená smyčka. V uzavřené smyčce proudí vzduch ke každé odbočce z obou stran. Pro rozsáhlé rozvody se volí uzavřená smyčka s řadou příčných a podélných větví.

Hlavní potrubí může být různých materiálů. Použitý materiál určuje technologii spojování dílů. Trubky by měly být levné a odolné korozi.

Materiál trubek může být: měď, mosaz, nerez, ocel černá, ocel pozinkovaná, umělá hmota.

- měď a mosaz umožňují letování,

- ocelové trubky se mohou svařovat

(to je laciné a spoje jsou těsné – jen je problém vyčistit vnitřní stranu sváru od okují a rzi).

- umělou hmotu lze svařovat a lepit,

- pozinkované trubky se spojují šroubením – šroubení bývá zdrojem netěsností a v jeho místě je snížena odolnost potrubí proti korozi.

Pro připojení spotřebičů se používají hadice. Pro pohyblivé přívody jsou gumové (jsou dražší a obtížnější se s nimi manipuluje). Pro pevné přívody se používají hadice z umělých hmot (polyetylenové nebo polyamidové), které jsou laciné a jednoduše se s nimi zachází.

Spojky trubek jsou vyráběny v širokém sortimentu. Nejčastější jsou šroubení s těsnícím prstencem nebo s upínacím prstencem. Měděné trubky lze spojovat spojkou s nákrůžkem na trubce nebo s lemem na konci trubky. Pro rozebíratelné spoje existují potrubní spojky, rychlospojky a nástavce.

Také pro spojování hadic se vyrábí různá šroubení. Časté je šroubení s převlečnou maticí nebo tzv. CS šroubení (známé z výrobků Festo).

8. Parametry rozváděčů

Velikost rozváděčů se volí podle:

- základního objemu a rychlosti přestavení pneumotoru,
- požadované četnosti sepnutí,
- přípustné tlakové ztráty.

Tlakový rozdíl $p = p_1 - p_2$ [kPa; kPa, kPa] je měřen při normálním průtoku Q_n .

Normální průtok Q_n je cejchovní hodnota vztažená na 600 kPa vstupního tlaku při tlakovém spádu 100 kPa a teplotě 20°C (293°K).

Pro určení průtoku se používá nomogram č. 7.

Použití nomogramu č. 7.:

krok 1.: spojíme hodnoty na osách A a C. Průsečík této spojnice s osou B je bod potřebný k určení Q

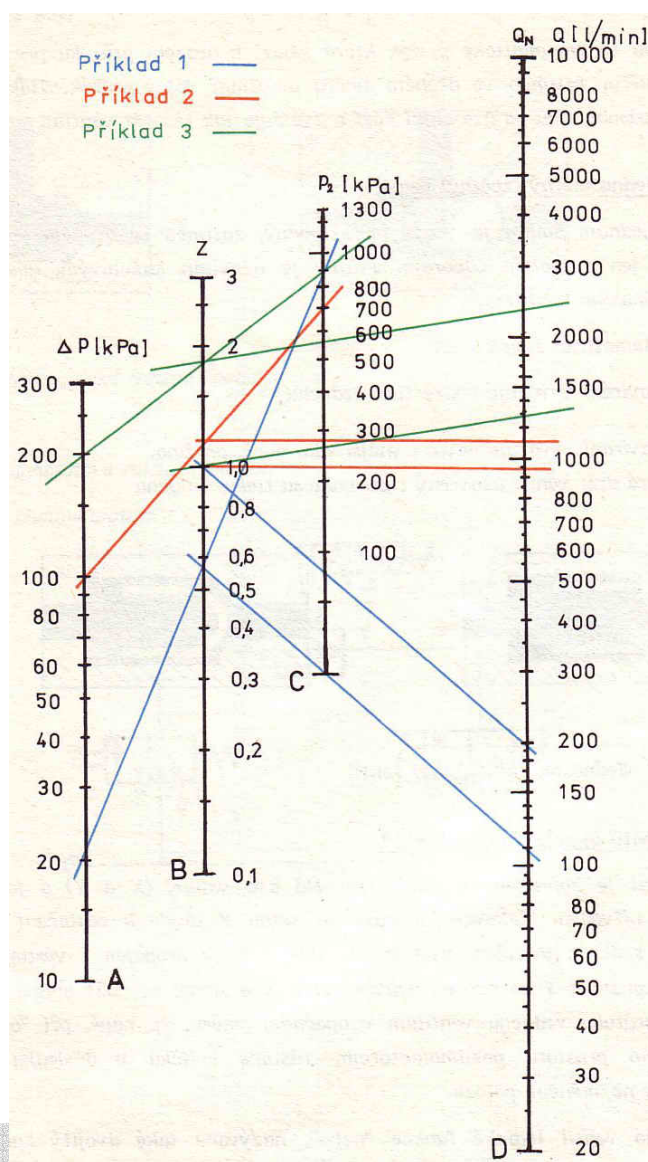
krok 2.: spojíme hodnotu $Z=1$ na ose B se zadanou hodnotou Q_n na ose D.

krok 3.: průsečíkem na ose B získaným v kroku 1. vedeme rovnoběžku se spojnici z kroku 2. Tato rovnoběžka protne osu D v bodě, který určuje hodnotu průtoku Q.

Příklad 1.: $p_1=800$ kPa, $p_2=780$ kPa, $\Delta p=20$ kPa, $Q_n=200$ l/min → průtok Q ?

Příklad 2.: $p_1=700$ kPa, $p_2=600$ kPa, $\Delta p=100$ kPa, $Q_n=920$ l/min → průtok Q ?

Příklad 3.: $p_1=1000$ kPa, $p_2=800$ kPa, $\Delta p=200$ kPa, $Q_n=1250$ l/min → průtok Q ?



nomogram č. 7.: určení průtoku rozvaděče

9. Literatura

Tento text byl vypracován na základě skript:

Beneš, Mykiska: Úvod do pneumatiky – Učebnice FESTO Didactic – Postgraduální studium, ČVUT, 1989