

## 12. Vakuum

Vakuum se využívá pro manipulaci s takovými díly, které lze velmi těžko nebo vůbec uchopit mechanickými upínači. Také je možno využít vlastností vakua pro uchopení předmětů, u kterých by při jiném způsobu uchopení mohlo dojít k poškození jejich povrchu. Využívá se především při manipulaci s díly, které mají pevnou a neprodyšnou strukturu, hladký povrch plochy pro styk s přísavkou, rozměry a hmotnost odpovídající možnostem využití vakua. Pokud jsou tyto předpoklady splněny, pak existuje celá řada možností využití vakua v průmyslu vč. automobilového průmyslu, výrobě lékařských přístrojů, balicích strojů, elektronickém a potravinářském průmyslu a dalších oborech. Vakuum je někdy označováno jako podtlak.

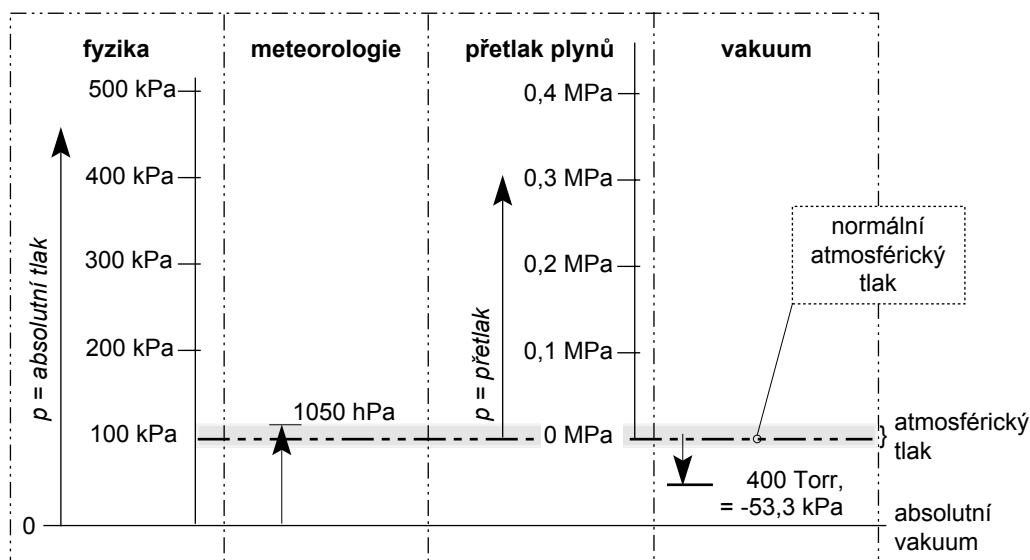
V této kapitole jsou vysvětleny fyzikální základy vakua, popsány zdroje pro jeho dosažení, přístroje pro jeho sledování a měření, různé tvary a provedení přísavek, jejich použití a stanovení jejich rozměrů a také základní pneumatické obvody.

Nebudeme se zabývat obory, které využívají vysokého vakua, blížícího se téměř k absolutní nule. Velmi vysoké vakuum (až  $10^{-13}$  Torr) se využívá především ve výzkumu (např. v urychlovači částic v institutu CERN v Ženevě) a také k úpravě povrchů a v elektronickém průmyslu, např. při výrobě čipů. Vakuum, kterému se budeme věnovat, dosahuje maximálně 90 % teoreticky dosažitelné hodnoty podtlaku. S poměrně malou energií je možné přísavkami uchopit a zvednout různé předměty. Často bývá tento rozsah používaného vakua označován jako „průmyslové vakuum“.

## Fyzikální základy

Povrch zeměkoule je obklopen vrstvou směsi plynů, které říkáme atmosféra nebo vzduch. Hodnota tlaku vzduchu (atmosférického tlaku) není stálá. Klesá s nadmořskou výškou a také ji ovlivňují povětrnostní vlivy (tlaková výše/tlaková níže). Atmosférický tlak tvoří hmotnost vzduchu kolem nás. U hladiny moře má za normálních podmínek hodnotu 101 325 Pa (1013,25 mbar). Každých 100 m výš od hladiny moře klesne tlak vzduchu přibližně o 1 %. To platí až do nadmořské výšky 2 000 m. Na vrcholu hory Mount Everest (8 848 m) má atmosférický tlak hodnotu přibližně 33 000 Pa (330 mbar). Ve výšce 1 000 km je atmosférický tlak roven téměř nule.

Jako absolutní tlak ( $p_{\text{abs}}$ ) označujeme stav, kdy se jedná o údaj vztažený k hranici absolutního vakua. Jako podtlak označujeme takový tlak, jehož referenční bod má menší hodnotu než tlak atmosférický. Pro rozlišení od přetlaku se k hodnotám podtlaku (vakua) přidává znaménko minus (např.  $-53,3 \text{ kPa}$ ). Na obr. 12.1 jsou uvedeny různé obory a v jejich praxi používané jednotky pro měření tlaku. Všechny uvedené jednotky se vztahují k referenčnímu bodu atmosférického tlaku vzduchu  $p = 101\,325 \text{ Pa}$  ( $0,101325 \text{ MPa}$ ).

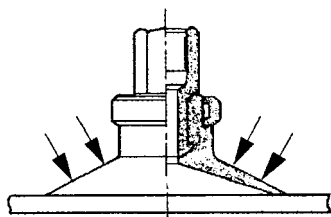


**Obr. 12.1** Jednotky používané pro měření tlaku v různých oborech

## Definice vakua

Podle normy DIN 28400 je vakuum definováno následovně: „Vakuum je stav plynu, který má menší hustotu než atmosféra na zemském povrchu. Jako vakuum tedy můžeme označit stav plynu, jehož tlak je nižší než je tlak atmosférický“.

Uzavřená nádoba s tlakem sníženým na určitou hodnotu pod atmosférický tlak (s vakuem) má stejnou polohovou energii jako nádoba s tlakem zvýšeným na stejnou hodnotu nad atmosférický tlak (přetlakem). Přísavky se na podložku (manipulovaný předmět) nepřisají, nýbrž jsou na něj přitlačeny atmosférickým tlakem.



**Obr. 12.2** Spojení přísavky s podložkou

## Jednotky používané pro vyjádření velikosti vakua

	název jednotky	značka	převod jednotek
SI jednotky tlaku	Pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
	kilopascal	kPa	1 kPa = 1 000 Pa ≈ 10 mbar*
staré jednotky tlaku	bar	bar	1 bar ≈ 10 <sup>5</sup> Pa = 0,1 MPa*
	milibar	mbar	1 mbar = 10 <sup>-3</sup> bar ≈ 100 Pa*
	Torr (mm rtuťového sloupce)	Torr (mm Hg)	1 Torr = 133,3224 Pa (1 bar = 750 Torr)
	kilopond na čtverečný centimetr	kp/cm <sup>2</sup>	1 kp/cm <sup>2</sup> = 98 066 Pa = 0,981 bar
	metr vodního sloupce	m H <sub>2</sub> O (m v.s.)	1 m H <sub>2</sub> O = 98 066 Pa = 0,981 bar

\* 1 MPa = 9,81 bar ≈ 10 bar

**Tabulka 12.3** Jednotky používané pro vyjádření velikosti podtlaku – vakua

Velikost podtlaku – vakua, používaného při manipulaci s díly, se většinou vyjadřuje v jednotkách kilopascal, milibar nebo procenta vakua. Na obr. 12.4 je srovnání nejdůležitějších používaných jednotek, vztažených buď k normálnímu atmosférickému tlaku vzduchu (101,3 kPa) nebo k absolutnímu vakuu.

normální atmosférický tlak	vakuum	kPa	mbar	Torr (mmHg)	Torr (mmHg)
	0%	0	0	0	760
	10%	- 10,1	- 101	- 76	684
	20%	- 20,3	- 203	- 152	608
	30%	- 30,4	- 304	- 228	532
	40%	- 40,5	- 405	- 304	456
	50%	- 50,7	- 507	- 380	380
	60%	- 60,8	- 608	- 456	304
	70%	- 70,9	- 709	- 532	228
	80%	- 81,1	- 811	- 608	152
	90%	- 91,2	- 912	- 684	76
absolutní vakuum	100%	- 101,3	- 1013	- 760	0

**Tabulka 12.4** Porovnání různých používaných jednotek

## Tvorba, úprava a využití vakua

Ke snížení tlaku atmosférického vzduchu, t.j. dosažení vakua, se používají buď mechanické nebo proudové vývěvy (ejektory).

### Mechanické vývěvy

Mechanické vývěvy jsou ve většině případů poháněny elektromotory a pracují na stejném funkčním principu jako kompresory. Prostor, ve kterém chceme získat podtlak, je připojen na stranu sání vývěvy. Určitý objem vzduchu je z tohoto prostoru odsáván a na straně výfuku vývěvy vypouštěn do atmosféry. Tlak vzduchu se v daném prostoru sníží pod hodnotu atmosférického tlaku a označujeme jej jako vakuum. V tabulce 12.5 jsou uvedeny přednosti a nedostatky používaných mechanických vývěv.

zdroj podtlaku - vakua	přednosti	nedostatky
odsávací ventilátor - dmychadlo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- malý počet pohyblivých dílů</li> <li>- velký objem odsávaného vzduchu</li> <li>- malá spotřeba energie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nízké vakuum (max. - 50 kPa)</li> <li>- dlouhý rozběh a doběh</li> <li>- velká hlučnost</li> </ul>
pístová vývěva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nízká pořizovací cena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- malý objem odsávaného vzduchu</li> <li>- velký výkon tepla</li> </ul>
membránová vývěva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nízká pořizovací cena</li> <li>- kompaktní tvar a rozměry</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vysoká hladina hluku</li> </ul>
rotační vývěva s rotorem s výsuvnými lopatkami	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vysoké vakuum</li> <li>- velký objem odsávaného vzduchu</li> <li>- nízká hladina hluku</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- citlivé na nečistoty ve vzduchu</li> <li>- vysoká pořizovací cena</li> <li>- velké nároky na údržbu</li> <li>- velký výkon tepla</li> </ul>
Rootsovo dmychadlo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- velký objem odsávaného vzduchu</li> <li>- malé nároky na údržbu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vysoká pořizovací cena</li> <li>- velký výkon tepla</li> <li>- vysoká hladina hluku</li> </ul>

**Tabulka 12.5** Mechanické vývěvy

## Proudové vývěvy - ejektory

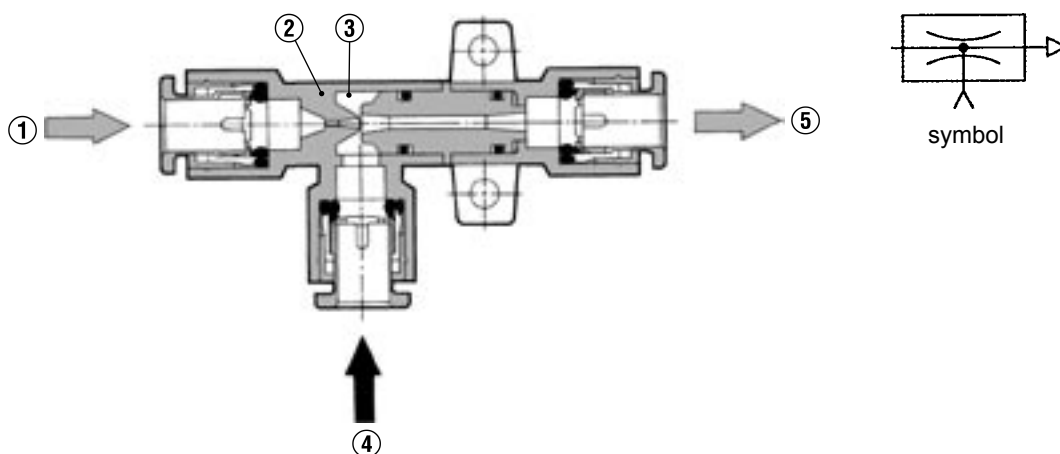
Alternativním řešením k mechanickým vývěvám jsou proudové vývěvy – ejektory. Pracují na principu Venturiho trubice. Jako zdroj primární energie slouží stlačený vzduch, přivedený do trysky ejektoru. Podle počtu Venturiho trubic dělíme ejektory na jednostupňové a vícestupňové. Při tlaku vzduchu 0,5 MPa v trysce ejektoru lze dosáhnout vakua až – 88 kPa.

Přednosti ejektorů proti mechanickým vývěvám jsou:

- pracují bez opotřebení, nepotřebují údržbu
- jednoduchá montáž a pracovní poloha
- při provozu se nezahřívají
- úspora energie (spotřeba energie jen při aktivaci)
- kompaktní rozměry a malá hmotnost
- lze použít i do výbušného prostředí (nutnost uzemnění jednotlivých prvků)
- přísavku lze spojit přímo s ejektorem – rychlé dosažení potřebného vakua
- hodnotu podtlaku – vakua lze regulovat tlakem vzduchu, přiváděného do trysky ejektoru

### Jednostupňový ejektor

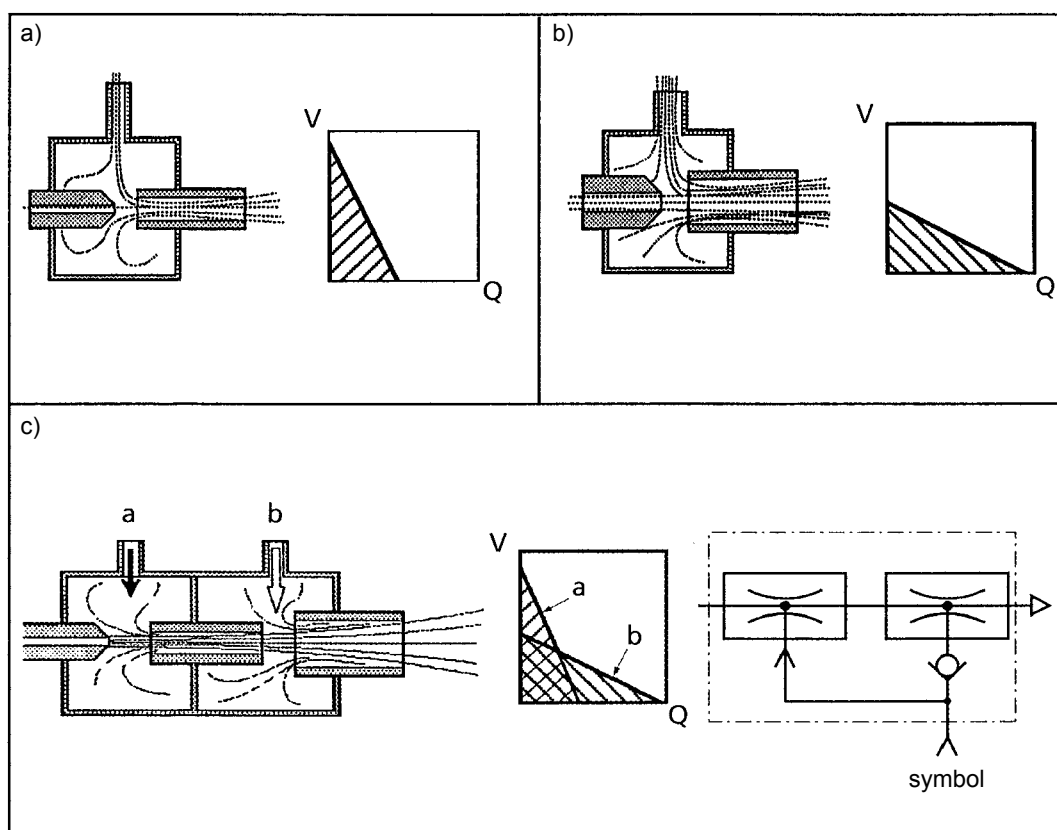
Stlačený vzduch je přiveden do vstupního hrdla ejektoru (1). V zúženém průřezu trysky (2) se zvýší rychlost proudu vzduchu, který na výstupu z trysky strhává částice vzduchu v prostoru (3) a unáší je s sebou. V prostoru (3) se sníží tlak a hrdlem (4) je do komory (3) přisáván vzduch. Proud vzduchu z trysky (1) spolu s přisátým vzduchem z hrdla (4) odchází hrdlem ejektoru (5) přímo nebo vestavěným tlumičem hluku (obr. 12.8b) do atmosféry.



Obr. 12.6 Jednostupňový ejektor

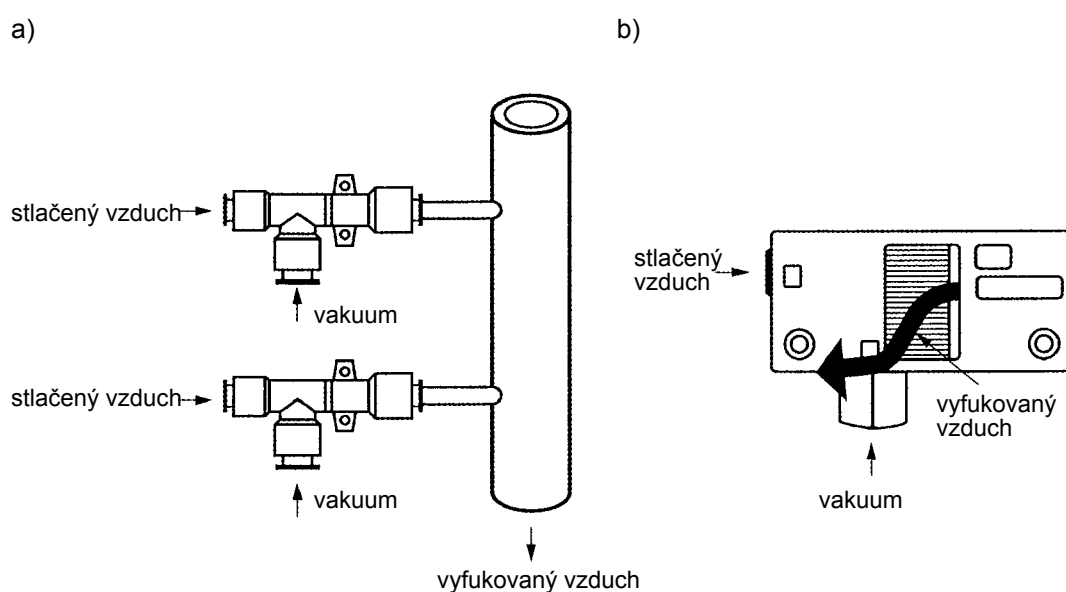
### Vícestupňový ejektor

Vícestupňové ejektory mají dvě nebo tři Venturiho trubice, řazené za sebou. Každá z těchto Venturiho trubic má svůj specifický účel. Ejektor v uspořádání podle obr. 12.7a vyvine velký podtlak – vakuum (V), ale nasaje malý objem vzduchu (Q). Ejektor v uspořádání podle obr. 12.7b nasaje velký objem vzduchu (Q), ale vyvine malý podtlak – vakuum (V). U dvoustupňového ejektoru v obr. 12.7c jsou využity vlastnosti obou předcházejících ejektorů a objem nasávaného vzduchu se zvýšil o 40 %. U třístupňových ejektorů se objem nasávaného vzduchu zvýší až o 250 %. Přísavka rychle a spolehlivě přilne k podložce a dosáhne se velké síly.



Obr. 12.7 Jednostupňový ejektor

Vzduch vyfukovaný z jednostupňových nebo vícestupňových ejektorů je možné svést do společného potrubí (hadice) nebo z tlumiče hluku v tělese ejektoru vyfukovat do atmosféry. Důležité je, aby se na výfuku vzduchu z ejektoru, v důsledku odporu potrubí (hadice), nevytvářel protitlak, který snižuje hodnotu dosažitelného vakua a objem nasávaného vzduchu. Proto je třeba zajistit, aby potrubí nebo hadice pro odvod vzduchu vyfukovaného ejektory měly dostatečně velký průřez, a aby tlumiče hluku byly schopny propustit potřebný objem vzduchu.

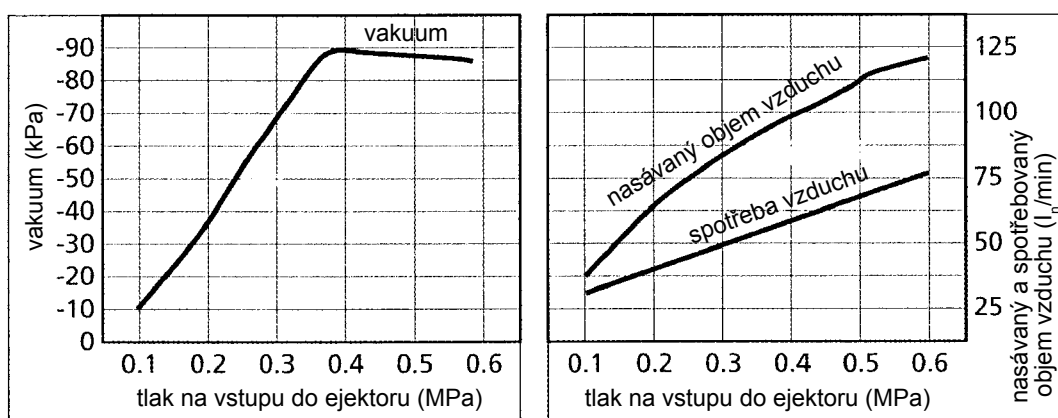


**Obr. 12.8** a) společný odvod vyfukovaného vzduchu  
b) ejektor s vestavěným tlumičem hluku

### Základní parametry ejektorů

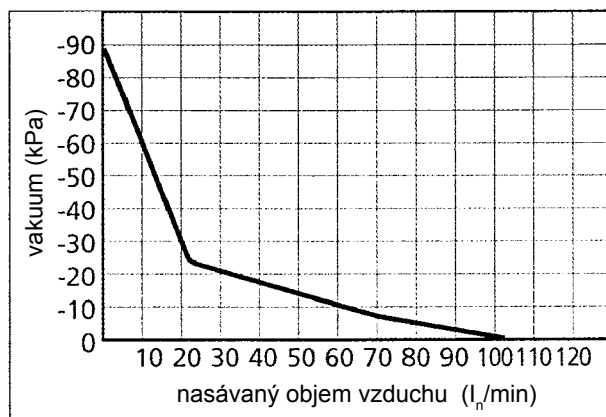
V technické dokumentaci jsou základní parametry ejektorů, tj. vztahy mezi dosažitelným vakuem, tlakem vzduchu v trysce a objemem nasávaného vzduchu, vyjádřeny diagramy. Ejektor, jehož parametry jsou uvedeny v diagramech na obr. 12.9, pracuje s tlakem vzduchu v trysce od 0,2 až do 0,6 MPa a optimální provozní tlak odpovídá 0,4 MPa.

Tlakem vzduchu v trysce ejektoru můžeme ovládat hodnotu dosažitelného vakua. Bude-li tlak vzduchu vyšší jak 0,6 MPa, dojde k odtržení vzduchového proudu, ejektor přestane nasávat vzduch a tím přestane vytvářet vakuum.



**Obr. 12.9** Typické charakteristiky parametrů vícestupňového ejektoru s průměrem trysky  $d = 1,2 \text{ mm}$

Na obr. 12.10 je znázorněná závislost dosaženého vakua na nasávaném objemu vzduchu vícestupňového ejektoru. Zvětší-li se objem nasávaného vzduchu (např. netěsností přísavky nebo při manipulaci s předměty z porézních materiálů), klesne současně hodnota dosaženého vakua.



**Obr. 12.10** Typická charakteristika vícestupňového ejektoru při stálém tlaku vzduchu  $p = 0,4 \text{ MPa}$



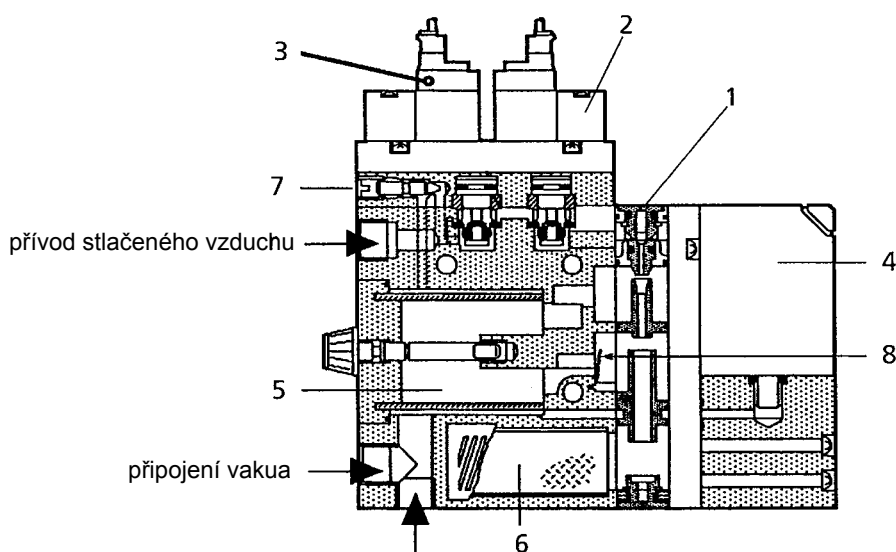
### Zdroj vakua sdružený do funkčního bloku

Ejektory mají poměrně vysokou spotřebu energie - stlačeného vzduchu. Je-li zvolen správný výkon ejektoru a stlačený vzduch je do jeho trysky pouštěn jen při jeho potřebě, není průměrná spotřeba energie ejektoru vyšší než spotřeba trvale poháněné mechanické vývěvy.

K dispozici jsou zdroje vakua, složené z jednotlivých modulů do funkčních bloků. Na obr. 12.11 je podélný řez takovým funkčním blokem, který tvoří dvoustupňový ejektor (1), elektromagneticky ovládaný ventil přívodu vzduchu do trysky ejektoru (2) a ventil uvolnění předmětu (3), vakuový snímač (4) jako zdroj signálu po dosažení potřebného vakua, filtr nasávaného vzduchu (5) a tlumič hluku (6) expandujícího proudu vzduchu, vyfukovaného z ejektoru.

Součástí bloku je také škrticí ventil (7) pro nastavení množství protékajícího vzduchu pro uvolnění předmětu. Zpětný ventil mezi stupni ejektoru (8) je tvořen pružnou klapkou. Ejektor nasává oběma stupni velký objem vzduchu. Jakmile je v komoře sacího filtru vyšší vakuum než v komoře druhého stupně ejektoru, klapka se uzavře.

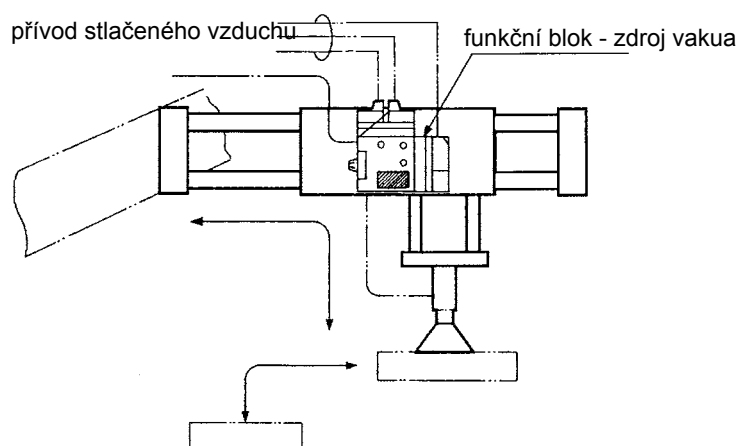
V činnosti zůstane pouze první stupeň s menší Venturiho trubicí, kterým se dosáhne maximální hladiny vakua.



**Obr. 12.11** Funkční blok zdroje vakua s vestavěným spínačem vakua

## 12. Vakuum

Kompaktní tvar a rozměry a malá hmotnost umožňují montovat tyto funkční bloky jako zdroj vakua co nejbližší k místu jejich použití, tj. k přísavce. Tím jsou umožněny krátké reakční doby pro přisátí i uvolnění předmětu.



**Obr. 12.12** Funkční blok zdroje vakua s vestavěným spínačem vakua

## Přísavky

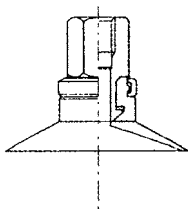
Přísavky používané pro uchopení předmětů při manipulaci mají různé tvary, rozměry a jsou zhotoveny z různých materiálů.

### Základní tvary přísavek

Podle manipulovaného předmětu zvolíme jeden ze čtyř základních tvarů přísavky.

#### Plochá přísavka

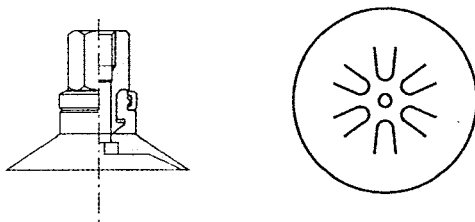
Plochá přísavka je vhodná pro uchopení předmětů z pevného materiálu s hladkou a rovnou plochou.



Obr. 12.13 Plochá přísavka

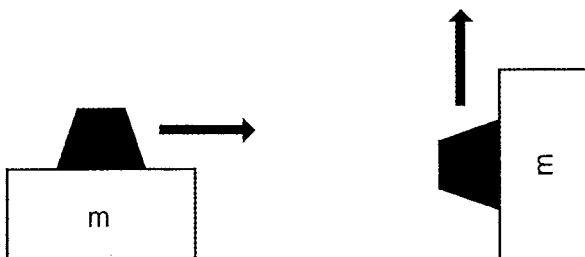
#### Plochá přísavka s opěrnými žebry

Doporučuje se pro uchopení předmětů z poddajných materiálů (papír, různé fólie), které by se mohly vakuem v ploché přísavce deformovat.



Obr. 12.14 Plochá přísavka s opěrnými žebry

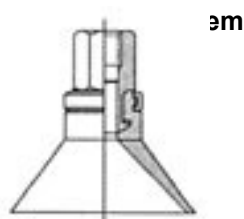
Použití ploché přísavky s opěrnými žebry se doporučuje také v případech, kdy síla působí kolmo na osu přísavky (rovnoběžně s plochou přísavky). Opěrná žebra uvnitř přísavky jsou tuhá a zvětšují plochu, potřebnou k přenosu síly třením mezi přísavkou a předmětem.



Obr. 12.15 Působení síly kolmo na osu přísavky

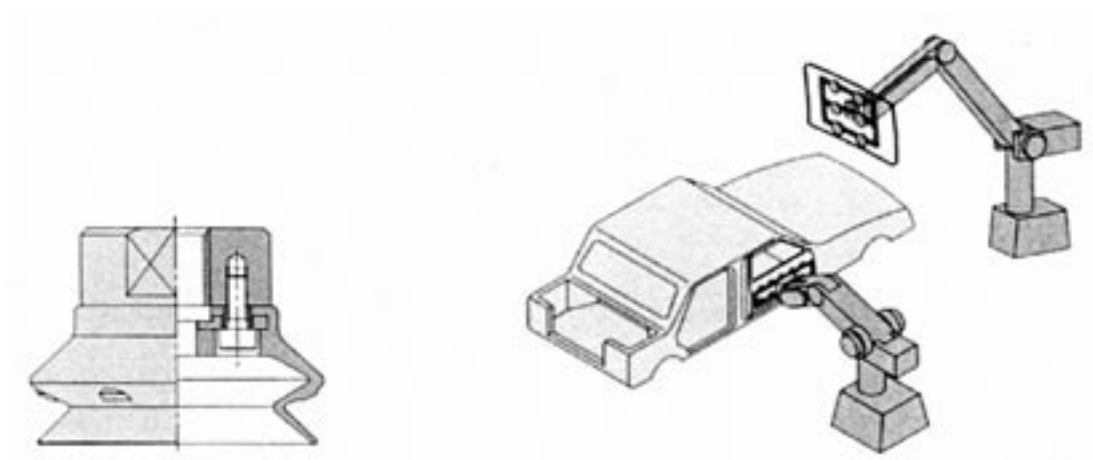
### Hluboká přísavka

Hluboká přísavka je vhodná pro uchopení předmětů se zaoblenými plochami (kulovými).



**Obr. 12.16** Hluboká přísavka

Přísavky s měchem se přizpůsobí různým nerovnostem nebo menším výškovým rozdílům povrchu manipulovaného předmětu. Po dosažení potřebného vakua předmět mírně nadzvednou. Tento axiální zdvih do určité míry nahrazuje uchycení přísavky pomocí odpruženého držáku. Nehodí se pro ukládání předmětů do přesně určené polohy, protože mají malou boční tuhost.



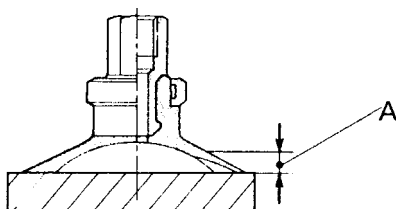
**Obr. 12.17** Přísavka s měchem

## Upevnění přísavek

### Pevný držák

Přísavka upevněná v pevném držáku uchopí manipulovaný předmět v přesně definované poloze a zase jej v přesně definované poloze uvolní. Jednoduchá konstrukce držáku představuje nejlevnější upevnění přísavky.

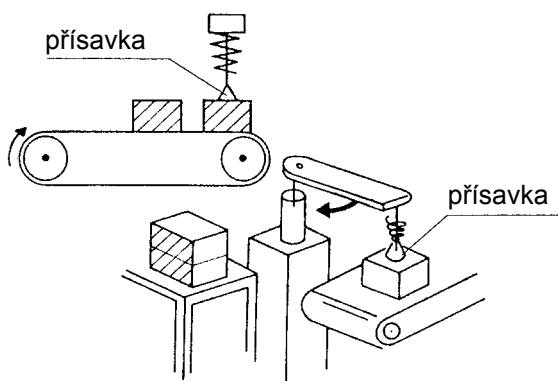
Přísavka se má před aktivací vakua lehce dotýkat povrchu manipulovaného předmětu. Větší zdvih osy manipulátoru nebo výškové rozdíly plochy manipulovaného předmětu deformují těsnicí hrany přísavek, což se projeví jejich nadměrným opotřebením a podstatně zkracuje jejich předpokládanou životnost.



**Obr. 12.18** Přísavka s pevným držákem: vyhněte se nadměrné deformaci těsnicí hrany A

### Odpružený držák

Upevnění přísavky v odpruženém držáku umožňuje kompenzovat výškové rozdíly plochy manipulovaného předmětu. Manipulátor nemusí mít přesně definovanou koncovou polohu. Přitlačení přísavky na povrch stejnou silou snižuje její opotřebení a zvyšuje její životnost. Odpružené držáky s polohou zajištěnou proti pootočení zaručují přesnou polohu manipulovaného předmětu při jeho uchopení a uvolnění.



**Obr. 12.19** Příklad použití přísavky s odpruženým držákem

### Materiál přísavek

Často se pro přísavky používá perbunan (NBR - nitrilbutadienový kaučuk). Je cenově výhodný a vyhovuje většině požadavků. Přísavky z polyuretanu (PU) mají stejné vlastnosti jako přísavky z NBR a mají větší odolnost proti opotřebení. Poloprůhledný, mléčně zabarvený materiál je silikonový kaučuk (SI). Často se používá v potravinářském průmyslu a při manipulaci s díly s velmi náročným povrchem, např. s kompaktními disky. Viton (FPM) představuje materiál odolný teplotám a olejům. Pro použití ve výrobě elektronických součástek jsou k dispozici přísavky z elektricky vodivých materiálů. Ty umožňují manipulaci s citlivými elektronickými součástkami, aniž by na ně přenášely náboj statické elektřiny.

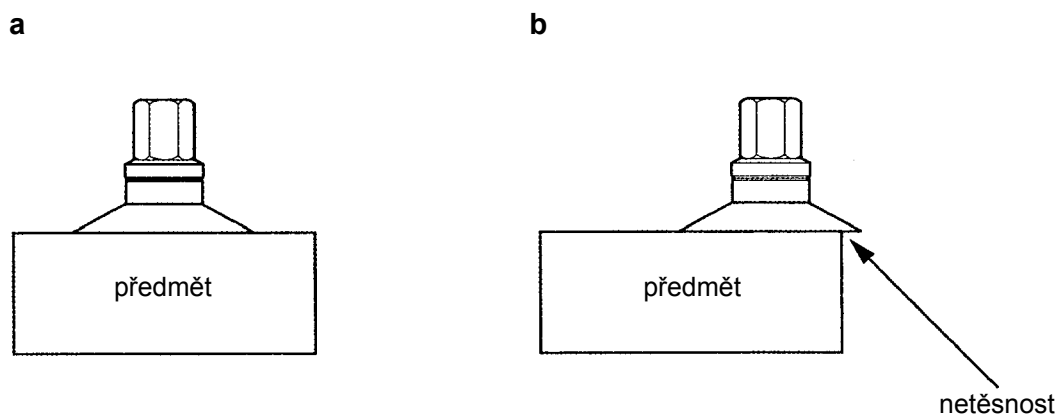
○: malý nebo žádný vliv    ○: lze použít    X: nelze použít

Vlastnost Materiál	Tvrdost Shore HS (±5°)	Rozsah provoz- ních teplot (°C)	Odolnost vůči olejům (benzín)	Odolnost vůči olejům (benzol)	Odolnost vůči zásadám	Odolnost vůči kyselinám	Odolnost vůči klimatu	Odolnost vůči ozonu	Otěr- vzdornost	Odolnost vůči vodě	Odolnost vůči radikálům (benzen/toluen)
NBR	50°	0 až 120	○	X	○	○	○	X	○	○	X
silikon	40°	-30 až 200	X	X	○	X	○	○	X	○	X
uretan	60°	0 až 60	○	X	X	X	○	○	○	X	X
viton	60°	0 až 250	○	○	X	○	○	○	○	○	○
vodivý NBR	50°	0 až 100	○	X	○	X	○	X	○	○	X
vodivý silikon	50°	-10 až 200	X	X	○	X	○	○	X	○	X

**Tabulka 12.20** Nejběžnější materiály přísavek a jejich vlastnosti

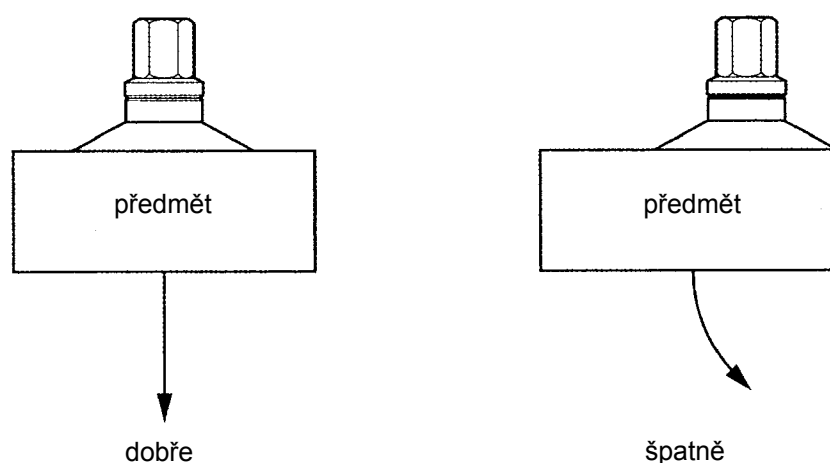
### Poloha přísavky na manipulovaném předmětu

Celá funkční plocha přísavky musí být zakryta manipulovaným předmětem. Seběmenší netěsností proudí po přivedení vakua do přísavky vzduch. Nelze dosáhnout potřebného vakua a tedy i síly potřebné k upnutí předmětu.



**Obr. 12.21** Poloha přísavky - (a) správná; (b) nesprávná

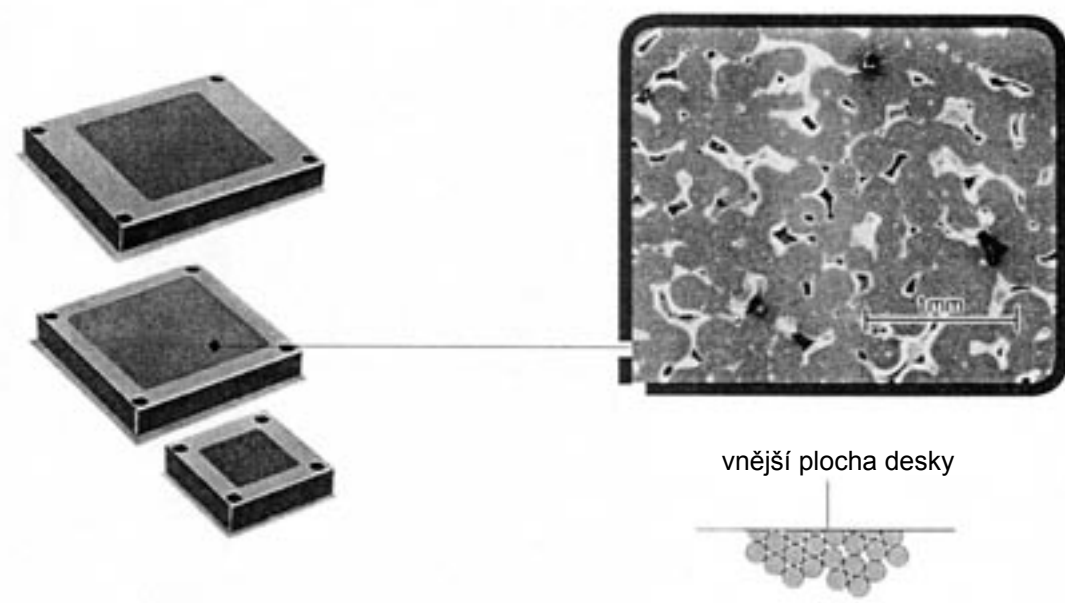
Síla přísavky (osa přísavky) by měla působit, pokud je to možné, v těžišti manipulovaného předmětu. Pokud tomu tak není, vznikají momenty, které se při manipulačních pohybech mohou vlivem setrvačnosti předmětu zvětšit tak, že z nich vyplývající síla bude větší než síla přísavky a dojde k přerušení spojení manipulovaného předmětu a přísavky.



**Obr. 12.22** Vzájemná poloha osy přísavky a těžiště předmětu

### Upínací deska

Tenké předměty malé tloušťky, z tvarově poddajných materiálů, lze při jejich zpracování obtížně upnout tak, aby nedošlo k jejich částečné deformaci. Bezpečně je lze upnout na upínací desku, vyrobenou ze spékaného kovu (bronzu), která je porézní (cca 1 300 malých otvorů na  $\text{cm}^2$ ). Upínané předměty by měly mít hladkou rovnou plochu, aby byly co nejmenší ztráty způsobené netěsnostmi.



**Obr. 12.23** Upínací desky se dodávají v několika velikostech

Vakuum se přivádí do spodní části desky. Hodnota vakua určuje velikost vyvozené síly a může dosáhnout až hodnoty  $F = 4,5 \text{ N/cm}^2$  při vakuu  $p = -90 \text{ kPa}$ . Funkční plocha upínací desky je velmi přesně obrobena. Tolerance rovnoběžnosti je menší než  $0,03 \text{ mm}$ , tolerance rovinnosti menší než  $0,015 \text{ mm}$ .



**Obr. 12.24** Upínací deska pro přesné a spolehlivé upnutí tenkých předmětů



## Vakuové filtry

Vakuové filtry se řadí do obvodu mezi přísavku a ejektor. Zbavují nasávaný vzduch mechanických nečistot, které by mohly snížit, případně úplně zamezit průtok vzduchu tryskou, a tak snížit výkon ejektoru nebo jej dokonce vyřadit z činnosti. Stejně jako u filtrů pro přetlak je třeba u vakuových filtrů volit filtry s co nejmenší tlakovou ztrátou.



Obr. 12.25 Vakuové filtry pro různý objem průtoku nasávaného vzduchu

## Vakuové snímače

Výstupní signál vakuového snímače je generován dosažením nastavené hodnoty vakua. Nedojde-li k sepnutí kontaktů vakuového snímače, pak je to způsobeno:

- nízkou úrovní vakua (netěsné přísavky, ucpaná tryska ejektoru, malý tlak vzduchu v trysce ejektoru apod.)
- nedosažením vakua (chybí manipulovaný předmět)

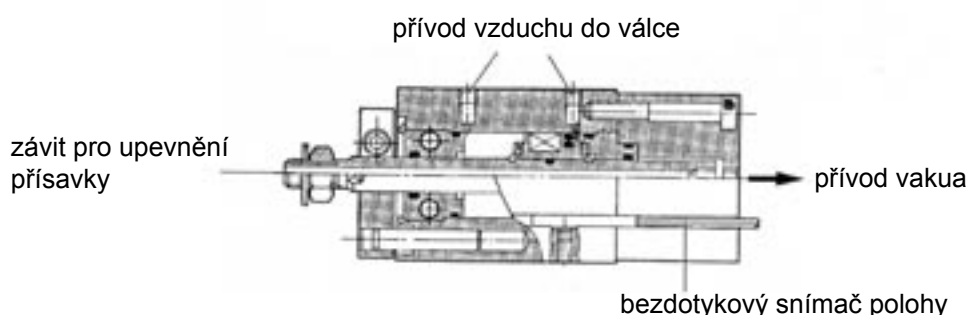
Funkce většiny vakuových snímačů je zajištěna elektronickými obvody. Tyto snímače mají malou, často nastavitelnou hysterezi, velkou přesnost sepnutí v nastaveném bodu a dlouhou životnost. Nastavitelná hystereze sepnutí je výhodná zejména při manipulaci s porézními materiály různé hustoty. Existují v provedení bez ukazatele hodnoty vakua nebo s ukazatelem. Jako ukazatel se většinou používá displej s LED diodami (může být i vícebarevný).



Obr. 12.26 Různá provedení vakuových snímačů

### Pneumatický válec s průchozí dutou pístnicí

Tyto pneumatické válce mají vrtanou průchozí pístnici. Na zadní víko válce je přišroubován nástavec s otvorem se závitem pro připojení na zdroj vakua. Mezi styčné plochy válce a nástavce je vloženo těsnění. Na vnější závit pístnice se našroubuje pevný držák se zvolenou přísavkou. Po vysunutí pístnice se přísavka dotkne povrchu manipulovaného předmětu a aktivuje se zdroj vakua. Musí se počítat s delším časem pro dosažení potřebného vakua, protože se musí kromě objemu přísavky také odsát objem pístnice a nástavce. Po dosažení potřebné hodnoty vakua se pístnice válce zasune a manipulovaný předmět se zvedne do výšky, dané zdvihem pneumatického válce. K přísavce nevede hadice, která by se současně s ní pohybovala. Pístnice pneumatického válce je zajištěna proti pootočení, takže je zaručena přesná poloha manipulovaného předmětu při jeho uchopení a uvolnění. Snímače polohy upevněné v drážkách tělesa pneumatického válce jsou zdrojem signálu pro elektronickou řídicí jednotku. Pneumatický válec v tomto provedení tvoří prakticky osu manipulátoru.



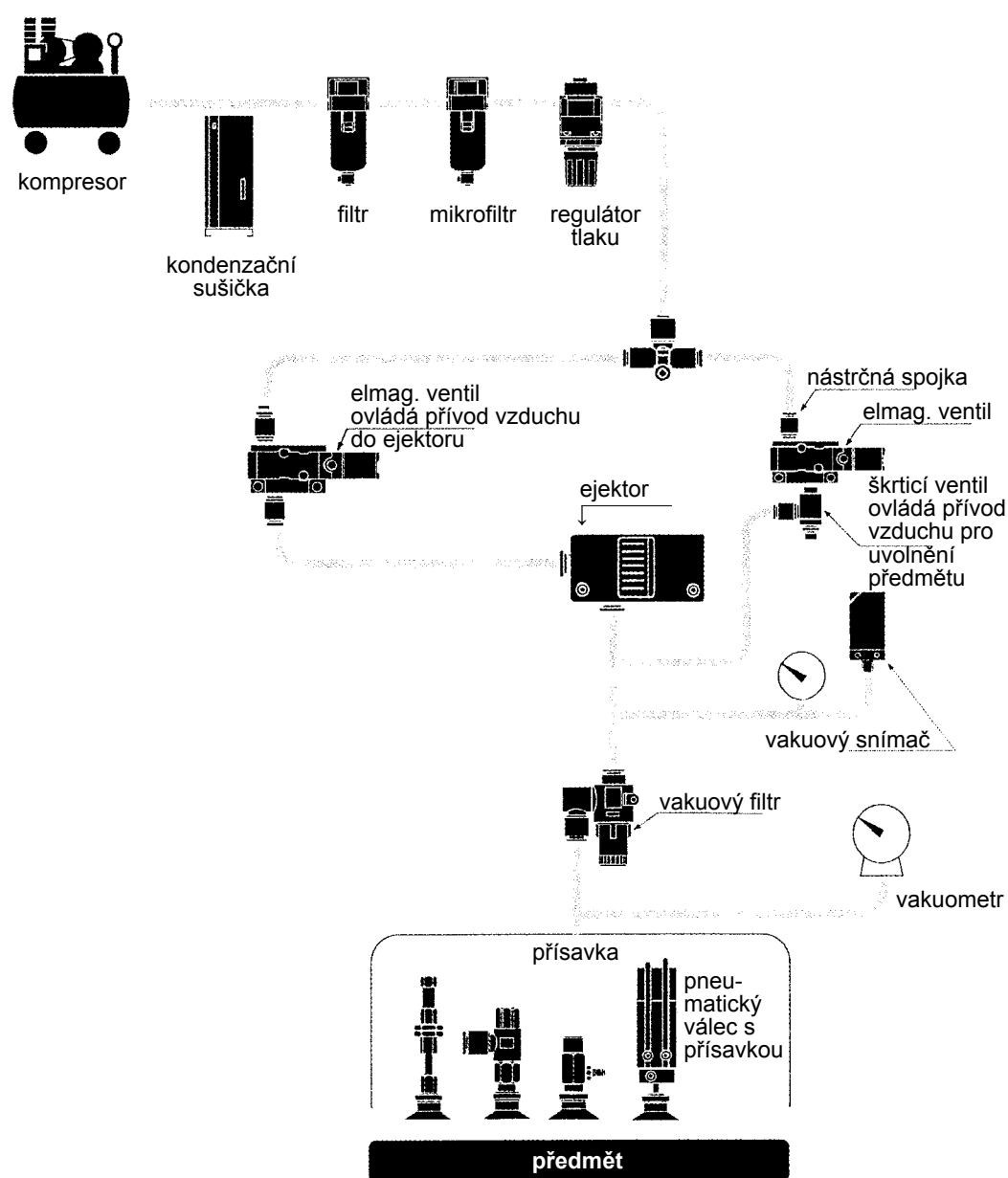
**Obr. 12.27** Podélný řez pneumatickým válcem s vrtanou průchozí pístnicí

## Skladba a řízení zdrojů vakua

Při projektování obvodů zdrojů a řízení vakua je v praxi možné zvolit jedno ze tří základních řešení:

- projekt a realizace zdroje a řízení vakua ze samostatných prvků**

- |         |   |
|---------|---|
| klady:  | volnost při plošném a prostorovém uspořádání samostatných prvků |
| zápory: | časová náročnost montáže, prostorově náročné řešení             |

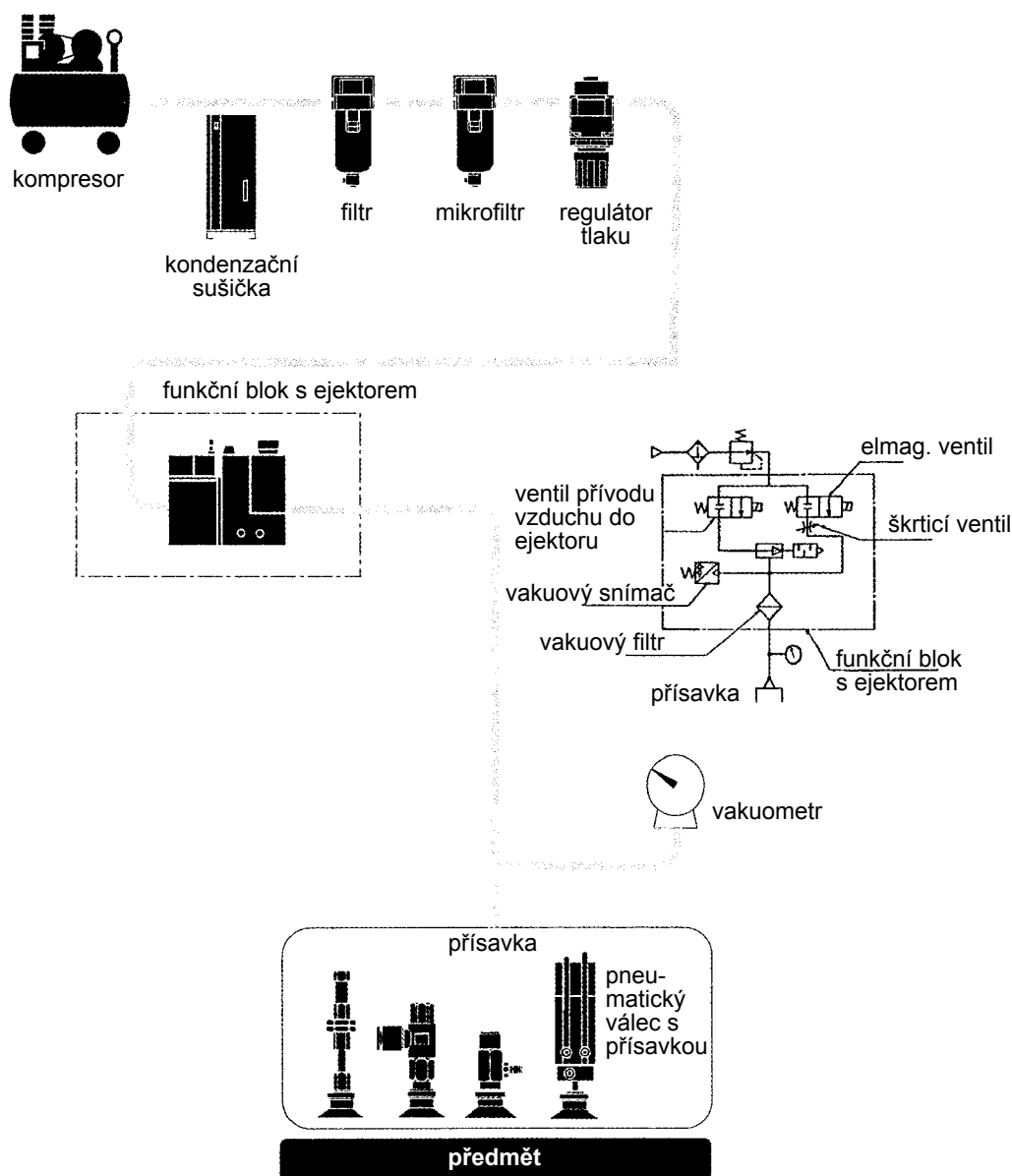


**Obr. 12.28** Obvod se zdrojem a řízením vakua, sestavený ze samostatných prvků

- projekt a realizace zdroje a řízení vakua z funkčního bloku s ejektorem**

**klady:** zkrácení času pro montáž, úspora plochy a prostoru, protože všechny prvky (ejektor, ventily, vakuový filtr, vakuový snímač) jsou řešeny jako moduly, vhodné pro montáž do funkčního bloku.

**zápory:** je-li objem odsávaného vzduchu větší jak 40 l<sub>n</sub>/min, doporučuje se místo funkčního bloku použití samostatných prvků.

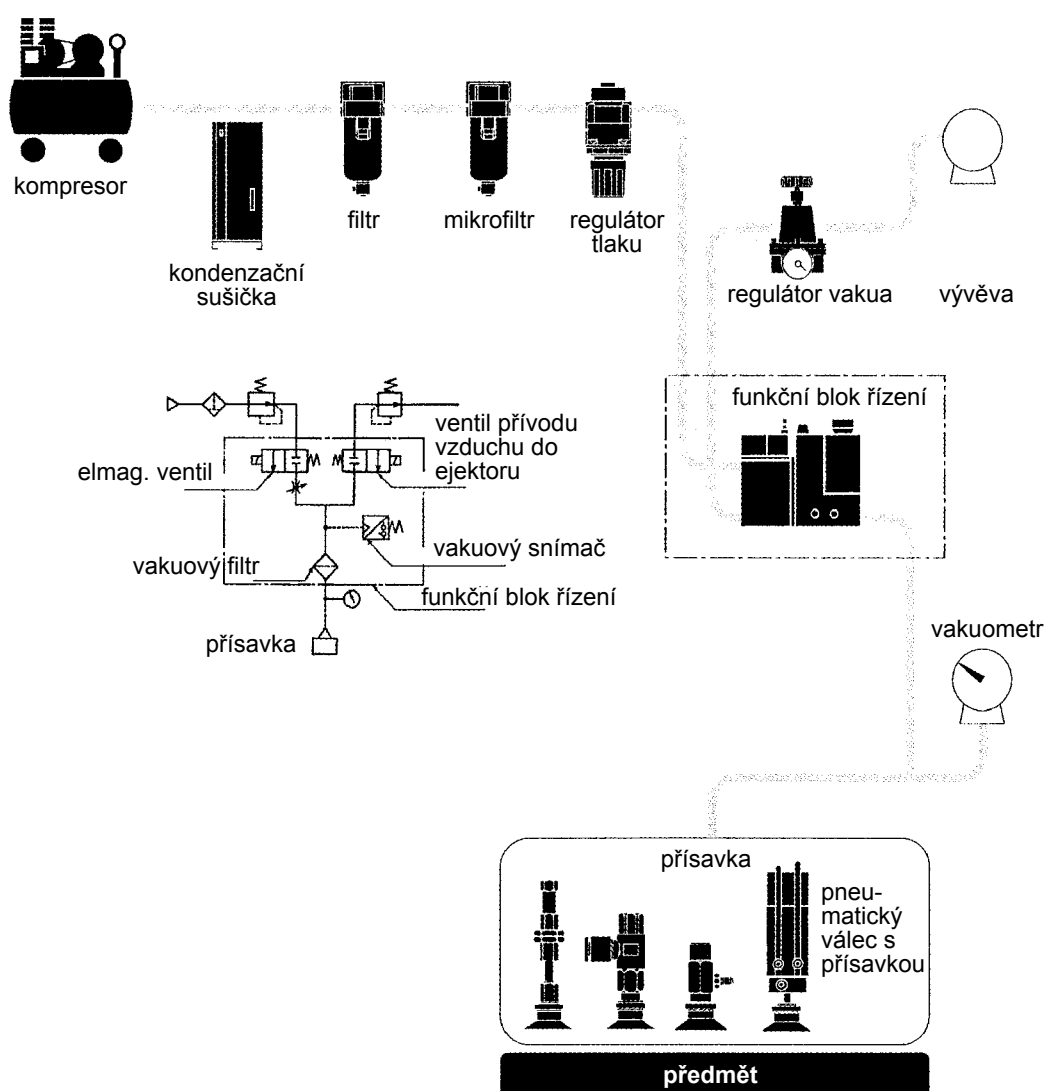


**Obr. 12.29** Obvod zdroje a řízení vakua, sestavený z funkčního bloku s ejektorem

- **projekt a realizace obvodu s mechanickou vývěvou a řízením vakua funkčním blokem řízení**

**klady:** zkrácení času pro montáž, úspora plochy a prostoru, protože všechny prvky (ventily, vakuový filtr, vakuový snímač) jsou řešeny jako moduly, vhodné pro montáž do funkčního bloku.

**zápory:** je-li objem odsávaného vzduchu jedné skupiny větší jak 40 l<sub>n</sub>/min, doporučuje se místo funkčního bloku použití samostatných prvků.



**Obr. 12.30** Obvod s mechanickou vývěvou a řízením vakua funkčním blokem

### Návrh obvodu s využitím vakua

Použití stlačeného vzduchu a vakua v průmyslu se zásadně liší ve dvou bodech:

- **v opačné směru proudění**
- **v omezeném rozsahu použitelného rozdílu tlaků**

Souvislosti mezi tlakem, prouděním (objemem) a silou, tak jak je známe z aplikací stlačeného vzduchu, platí také i pro vakuum. Zvláštní pozornost je třeba věnovat:

- **odporům proudění (např. délkám hadic apod.)**
- **odsávaným objemům (např. objemům hadic apod.)**

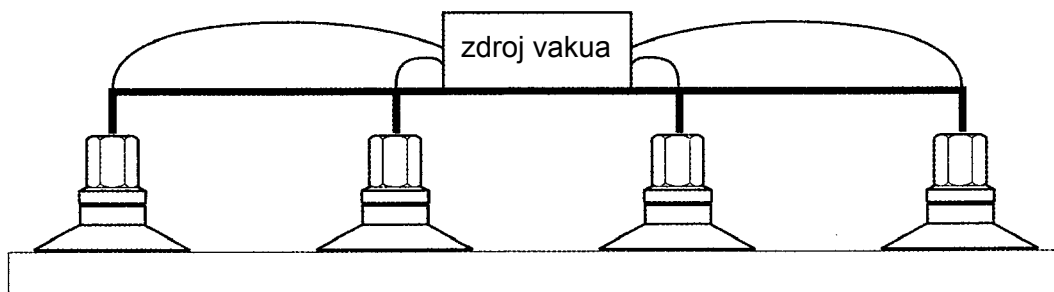
Při aplikaci vakua pracujeme s omezeným rozsahem tlaků (0 až cca - 100 kPa). To vyžaduje pro minimalizaci odporů při proudění používat větší průřezy - průměry vedení (hadic, trubek). Na druhé straně je třeba pracovat jen s nejnútnejšími pracovními objemy, protože mají vliv na čas a na spotřebu energie pro dosažení potřebné hladiny vakua.

### Společný zdroj nebo samostatné zdroje vakua

Musí-li se pro manipulaci s předmětem použít několika přísavek, pak je třeba provést zásadní rozhodnutí a zvolit jedno ze dvou možných řešení zdroje vakua:

#### Společný zdroj vakua

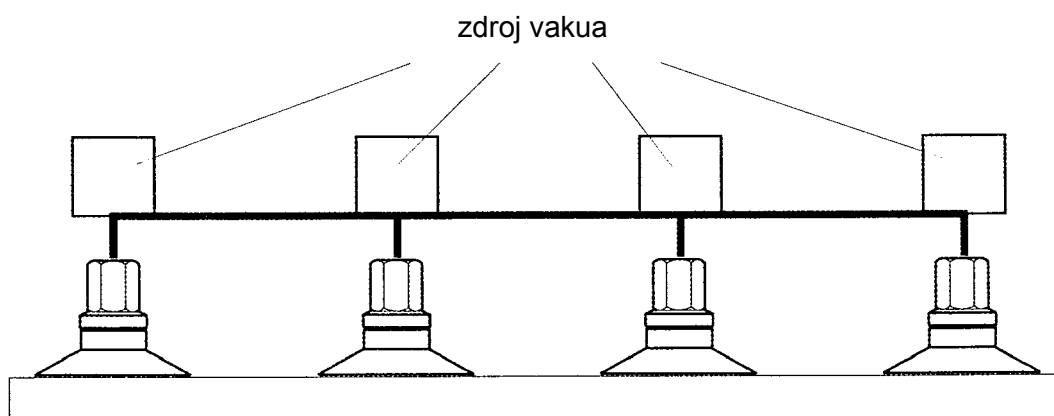
Nejlepšího využití energie se dosáhne připojením všech použitých přísavek na jeden společný zdroj vakua. Čas pro dosažení potřebné hladiny vakua je delší, proto není toto řešení vhodné pro zařízení s rychle se opakujícími pracovními cykly. Pokud jedna z přísavek částečně netěsní, nedosáhne se potřebné hladiny vakua a tím i síly, a buď předmět nezvedneme nebo se může při manipulaci uvolnit a poškodit. Tuto nevýhodu lze odstranit použitím samostatných zdrojů vakua, hlídáním hladiny vakua každé z přísavek nebo použitím přísavek s vestavěným zpětným ventilem.



Obr. 12.31 Společný zdroj vakua

**Samostatné zdroje vakua**

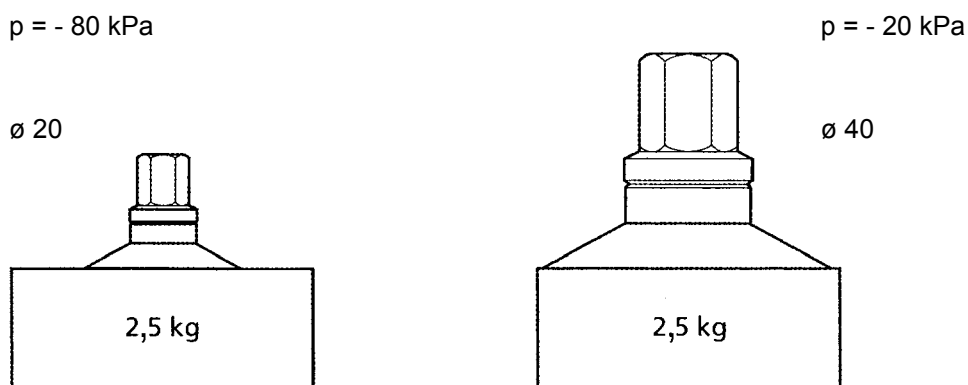
Každá z použitých přísavek má samostatný zdroj vakua - ejektor. Všechny použité ejektory jsou napájeny ze společného přívodu stlačeného vzduchu. Výhodou tohoto řešení je krátký čas nutný pro dosažení potřebné hladiny vakua a minimální ztráty vakua v rozvodu. Při dostatečné rezervě je zaručená síla pro upnutí předmětu i při částečné netěsnosti jedné z přísavek.



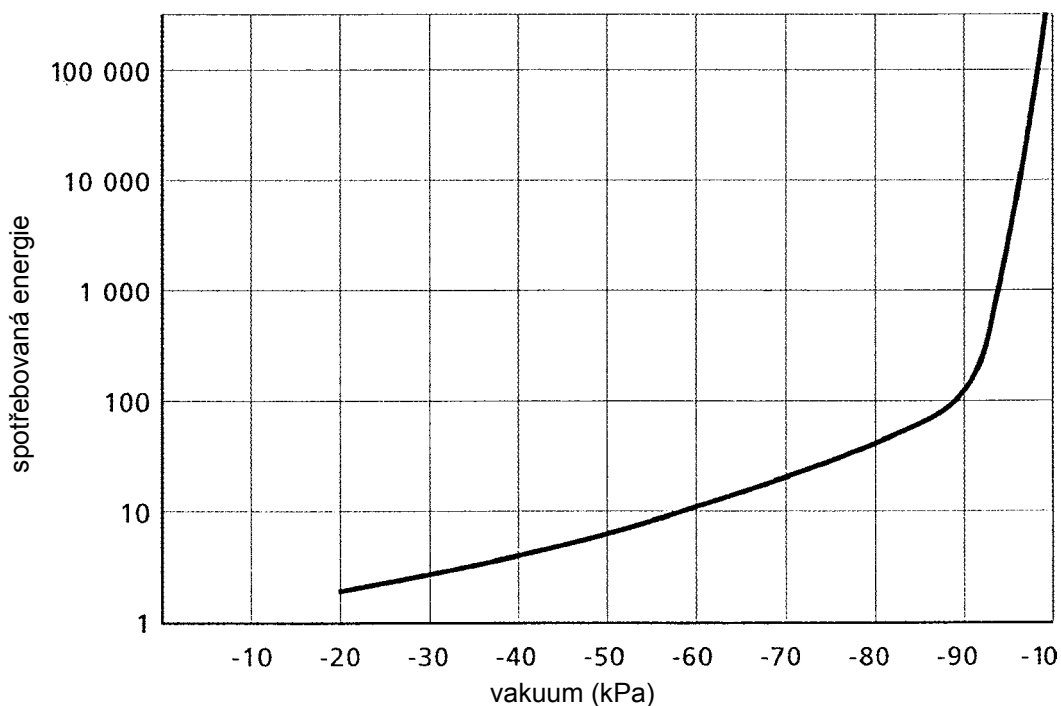
**Obr. 12.32** Samostatné zdroje vakua

### Spotřeba energie

Spotřeba energie zdroje vakua roste exponencionálně k velikosti vakua. Zvýšíme-li hodnotu vakua z - 60 kPa na hodnotu - 90 kPa, zvýšíme 1,5 krát sílu přísavky. Současně ale stoupne 10 krát spotřeba energie, zvýší se opotřebení přísavky a tím se zkrátí její životnost. Proto je výhodnější používat v praxi větší rozměry přísavek a nižší hodnoty vakua, než malé rozměry přísavek a vyšší hodnoty vakua.



**Obr. 12.33** Porovnání hodnot vakua při použití přísavky malého a velkého průměru při stejné hmotnosti předmětu



**Obr. 12.34** Vztah mezi spotřebou energie a velikostí vakua

Zapamatujte si:

**Čím vyšší hodnota vakua, tím vyšší spotřeba energie pro jeho dosažení.**



### Určení průměru přísavky

Nosná síla přísavky je daná účinnou plochou přísavky a vakuem v prostoru přísavky.

Nosná síla = tlak (podtlak) × funkční plocha přísavky

Teoretická nosná síla přísavky kruhového průřezu s vertikální osou je vyjádřena vztahem:

$$F_H = D^2 \times \pi/4 \times p \times 0,001$$

$F_H$  - teoretická nosná síla (N)  
 $D$  - průměr přísavky (mm)  
 $p$  - vakuum (kPa)

ø přísavky (mm)		2	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50
plocha přísavky (cm <sup>2</sup> )		0,031	0,126	0,283	0,503	0,785	1,33	2,01	3,14	4,91	8,04	12,6	19,6
vakuum (kPa)	- 85	0,264	1,07	2,41	4,28	6,67	11,3	17,1	26,7	41,7	68,3	107	167
	- 80	0,248	1,01	2,26	4,02	6,28	10,6	16,1	25,1	39,3	64,3	101	157
	- 75	0,233	0,945	2,12	3,77	5,89	9,98	15,1	23,6	36,8	60,3	94,5	147
	- 70	0,217	0,882	1,98	3,52	5,5	9,31	14,1	22	34,4	56,3	88,2	137
	- 65	0,202	0,819	1,84	3,27	5,1	8,65	13,1	20,4	31,9	52,3	81,9	127
	- 60	0,186	0,756	1,7	3,02	4,71	7,98	12,1	18,8	29,5	48,2	75,6	118
	- 55	0,171	0,693	1,56	2,77	4,32	7,32	11,1	17,3	27	44,2	69,3	108
	- 50	0,155	0,63	1,42	2,52	3,93	6,65	10,1	15,7	24,6	40,2	63	98
	- 45	0,14	0,567	1,27	2,26	3,53	5,99	9,05	14,1	22,1	36,2	56,7	88,2
	- 40	0,124	0,504	1,13	2,01	3,14	5,32	8,04	12,6	19,6	32,2	50,4	78,4

**Tabulka 12.35** Teoretická nosná síla přísavek (N)

K určení skutečné nosné síly přísavek je třeba údaje z tabulky vynásobit součinitelem bezpečnosti (viz obr. 12.36).

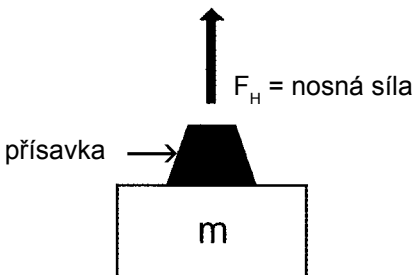
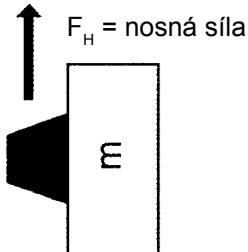
## 12. Vakuum

Zavedením počtu použitých přísavek **n** a součinitele bezpečnosti **s** do předcházející rovnice můžeme po její úpravě vypočítat průměr použité přísavky **D**:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times m \times g \times s \times 1000}{\pi \times p \times n}}$$

D	- průměr přísavky	(mm)
p	- vakuum	(kPa)
m	- hmotnost	(kg)
g	- gravitační zrychlení	(g = 9,81 m/s <sup>2</sup> )
n	- počet přísavek	(ks)
s	- součinitel bezpečnosti	(viz obr. 12.24)

Určení součinitele bezpečnosti **s**:

<p><b>a) vodorovný (horizontální) styk</b></p> <p>≥2 při svislém pohybu při zvedání</p> <p>≥4 při přídavném vodorovném pohybu</p> 	<p><b>b) svislý (vertikální) styk</b></p> <p>≥4 při svislém pohybu při zvedání</p> <p>≥8 při přídavném vodorovném pohybu</p> 
---	--

**Obr. 12.36** Určení součinitele bezpečnosti **s**

### Vlivy působící na hodnotu součinitele bezpečnosti

Vyskytne-li se při manipulaci s předměty některý z následujících vlivů, je třeba použít proti doporučení z obr. 12.24 ještě vyšší součinitel bezpečnosti **s**, než je doporučeno.

- **Působení větru**

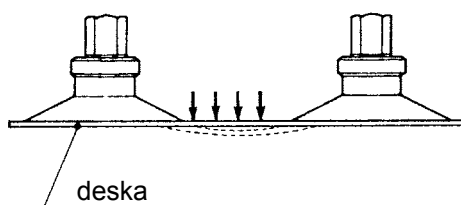
Při manipulaci s díly, které mají velkou plochu (desky překližky, plechy, tabule skla apod.), může tlak vzduchu na plochu předmětu při rychlejším pohybu nebo vítr (průvan) odtrhnout díl od přísavek. Kromě poškození dílu hrozí i nebezpečí úrazu pracovníků.

- **Rázy**

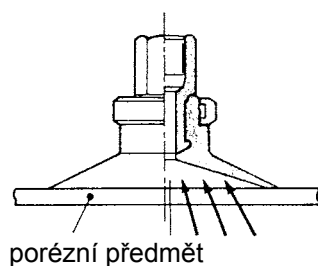
Při zvedání větších desek (kovových, lepenkových, překližkových apod.) je třeba počítat s možnými rázy, které vznikají přerušením přilnavosti mezi deskami (mastné tabule plechu apod.).

- **Předměty z porézních materiálů**

Pro manipulaci s porézními materiály (papír, polystyren apod.) je třeba použít malý průměr přísavek, aby byla pokud možno co nejmenší netěsnost. K vyrovnání ztrát je třeba použít výkonnější vývěvu nebo ejektor, větší počet přísavek a odpovídající průměry hadic a potrubí. V řadě případů není možné ztráty přisáváním spočítat. Nejlepším řešením je provedení praktické zkoušky, která umožní vybrat vhodné prvky pro daný požadavek.



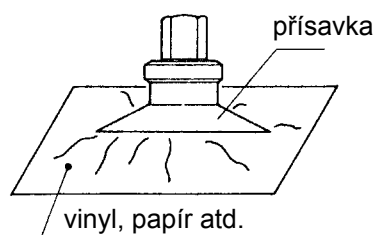
Obr. 12.37 Zvedání velkých desek



Obr. 12.38 Zvedání předmětu z porézního materiálu

- **Předměty z měkkých, tvarově poddajných materiálů**

Pro manipulaci s předměty vyrobenými z měkkých, tvarově poddajných materiálů (tenký papír, vinyl apod.) se doporučuje použít větší počet přísavek menšího průměru a nižší úroveň vakua. Vhodné jsou ploché přísavky s opěrnými žebry.



**Obr. 12.39** Předměty z měkkých, tvarově poddajných materiálů

### Příklad

Ocelová deska o hmotnosti  $m = 20 \text{ kg}$  má být zvednuta a vodorovně přemístěna. Ejektorem trvale dosažitelné vakuum má hodnotu  $p = -66 \text{ kPa}$ . Počet přísavek  $n = 4$ . Jaký bude průměr přísavky  $D$ ?

Nejprve musíme určit součinitel bezpečnosti. Pro zadaný příklad zvolíme  $s = 4$ . Všechny ostatní údaje jsou k dispozici a proto je dosadíme do dříve uvedeného vzorce.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times m \times g \times s \times 1000}{\pi \times p \times n}} = \sqrt{\frac{4 \times 20 \times 9,81 \times 4 \times 1000}{\pi \times 66 \times 4}} = 61,5 \text{ mm}$$

Z katalogu vybereme nejbližší vyšší průměr přísavky  $D = 63 \text{ mm}$ .

## Výpočet času pro dosažení požadované hladiny vakua

Vyžaduje-li se rychlá pracovní frekvence zařízení s vakuovým obvodem, pak je třeba znát čas potřebný pro dosažení požadované hladiny vakua v obvodu mezi přísavkou a zdrojem vakua. Potřebný čas  $T$  závisí na objemu vývěvy nebo ejektorem nasávaného vzduchu  $Q_{\max}$ , pro požadovanou hladinu vakua  $p_v$  a objemu  $V$  příslušných vedení včetně přísavek.

### Postup výpočtu

#### ① Výpočet průměrného odsávaného objemu $Q_1$ zdroje vakua

$$Q_1 = (1/3 \text{ až } 1/2) \times Q_{\max}$$

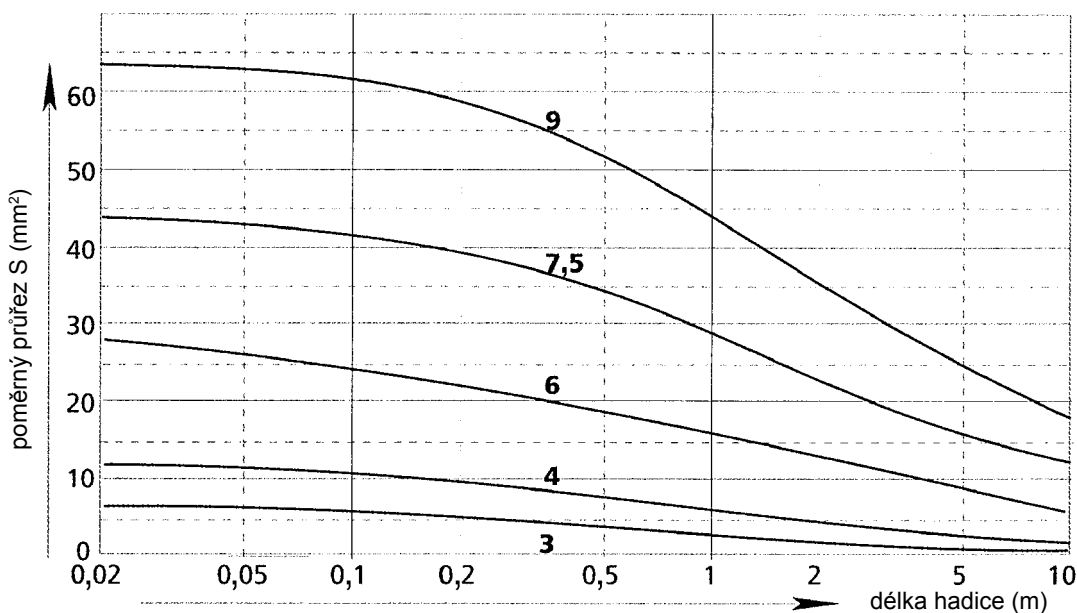
$Q_{\max}$  - maximální sací výkon vývěvy, nebo ejektoru ( $l_n/\text{min}$ )

1/3 - opravný koeficient pro přísavky s průměrem od 40 mm, nebo pro zvedání předmětů z porézních materiálů

1/2 - opravný koeficient pro přísavky s průměrem do 40 mm

#### ② Určení poměrného průřezu $S$ vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua

Poměrné průřezy  $S$  rovných plastových hadic lze odečíst z níže uvedeného diagramu. Tučně vytištěné číslice nad křivkami udávají vnitřní průměr příslušné hadice.



Obr. 12.40 Poměrný průřez  $S$  používaných plastových hadic

### ③ Stanovení maximálního průtočného objemu $Q_2$ vedení

$$Q_2 = S \times 54,53$$

$Q_2$	- průtočný objem	(l <sub>n</sub> /min)
$S$	- poměrný průřez plastových hadic (trubek)	(mm <sup>2</sup> )
54,53	- koeficient k převodu $Q_2$ na l <sub>n</sub> /min	

### ④ Porovnání průtočného objemu $Q_1$ s průtočným objemem $Q_2$

Pro zjištění času pro dosažení vakua v 6. bodu postupu použijeme menší z obou průtočných objemů. Menší hodnota odpovídá skutečnému průtočnému objemu, respektive sacímu výkonu a určuje čas pro dosažení potřebné hladiny vakua.

### ⑤ Určení objemu $V$ vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua

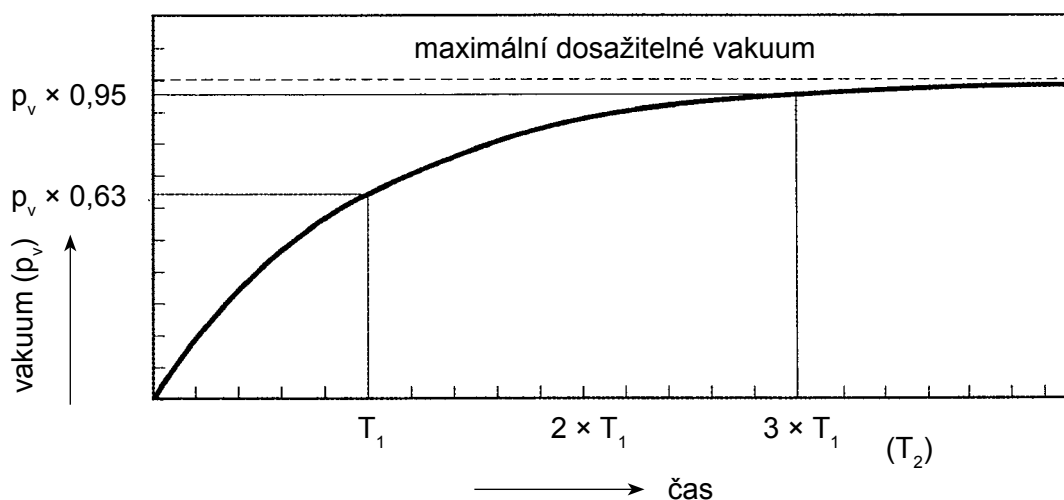
$$V = d^2 \times \pi/4 \times L \times 0,001$$

$V$	- objem vedení (hadice, potrubí)	(dm <sup>3</sup> = litry)
$d$	- vnitřní průměr vedení	(mm)
$L$	- délka vedení	(m)

### ⑥ Určení časů $T_1$ a $T_2$ pro dosažení vakua

Čas pro dosažení potřebného vakua je možno určit pouze pro materiály bez pórů. Pro manipulaci s porézními materiály je možné jej stanovit pouze pokusem.

V níže uvedeném diagramu vidíme, že v poměrně krátkém časovém úseku ( $T_1$ ) dosáhne vakuum 63 % dosažitelného maxima. Pro 95 % dosažitelného maxima je třeba přibližně 3 krát delšího času ( $T_2$ ).



Obr. 12.41 Poměr času k hladině dosaženého vakua

$$T_1 = V \times \frac{60}{Q}$$

$$T_2 = 3 \times T_1$$

$T_1$  - čas potřebný pro dosažení 63 % maximálního dosažitelného vakua  $p_v$  (s)

$T_2$  - čas potřebný pro dosažení 95 % maximálního dosažitelného vakua  $p_v$  (s)

$V$  - objemu vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua (dm<sup>3</sup>)

$Q$  - menší z průtokových objemů ( $Q_1$  nebo  $Q_2$ ) (l<sub>n</sub>/min)

Pokud by byl čas pro dosažení potřebné hladiny vakua příliš dlouhý, pak můžeme buď zvýšit sací výkon nebo zmenšit objem vedení nebo zkrátit vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua. Jinou z možností je zvětšení průměru přísavky tak, aby při dosažení 63 % vakua (čas  $T_1$ ) vyvinula přísavka požadovanou sílu.

Je-li čas pro dosažení potřebné hladiny vakua výrazně kratší než je nutné, doporučuje se použít zdroj vakua s menším sacím výkonem. To má velký význam při použití ejektorů, protože se sacím výkonem stoupá exponenciálně spotřeba stlačeného vzduchu. V takovém případě doporučujeme zvolit menší ejektor a s jeho vstupními daty výpočet zopakovat.

### Příklad:

Zvolený ejektor dosáhne při tlaku vzduchu 0,4 MPa sací výkon  $Q = 24 \text{ l}_n/\text{min}$  a vakuum  $p_v = -87 \text{ kPa}$ . Průměr použité přísavky  $D = 25 \text{ mm}$ . Délka hadice mezi přísavkou a ejektorem  $L = 1 \text{ m}$ , vnitřní průměr hadice  $d_h = 4 \text{ mm}$ . Manipulovaný materiál je neporézní. Kolik sekund bude třeba k dosažení 95 % z maximálně dosažitelného vakua?

#### 1. Výpočet průměrného odsávaného objemu $Q_1$ zdroje vakua

$$Q_1 = 1/2 \times Q_{\max} = 1/2 \times 24 = 12 \text{ l}_n/\text{min}$$

#### 2. Určení poměrného průřezu $S$ vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua

Hadici o délce  $L = 1 \text{ m}$  s vnitřním průměrem  $d_h = 4 \text{ mm}$  odpovídá podle obr. 12.14 poměrný průřez cca  $S = 7 \text{ mm}^2$ .

#### 3. Stanovení maximálního průtočného objemu $Q_2$ vedení

$$Q_2 = S \times 54,53 = 7 \times 54,53 \approx 382 \text{ l}_n/\text{min}$$

#### 4. Porovnání průtočného objemu $Q_1$ s průtočným objemem $Q_2$

$$Q_1 = 12 \text{ l}_n/\text{min} < Q_2 = 382 \text{ l}_n/\text{min} \rightarrow Q = 12 \text{ l}_n/\text{min}$$

#### 5. Určení objemu $V$ vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua

$$V = d^2 \times \pi/4 \times L \times 0,001 = 4^2 \times \pi/4 \times 1 \times 0,001 = 0,0125 \text{ l}$$

#### 6. Určení časů $T_1$ a $T_2$ pro dosažení vakua

$$T_1 = V \times 60/Q = 0,0125 \times 60/12 = 0,0625 \text{ s}$$

Přibližně za 0,07 sekundy se dosáhne 63 % z maximálně dosažitelného vakua, tj.  
 $p_{v1} = -87 \text{ kPa} \times 0,63 = -54,8 \text{ kPa}$ .

$$T_2 = 3 \times T_1 = 3 \times 0,0625 = 0,1875 \text{ s}$$

Přibližně za 0,19 sekund se dosáhne 95 % z maximálně dosažitelného vakua, tj.  
 $p_{v2} = -87 \text{ kPa} \times 0,95 = -82,7 \text{ kPa}$