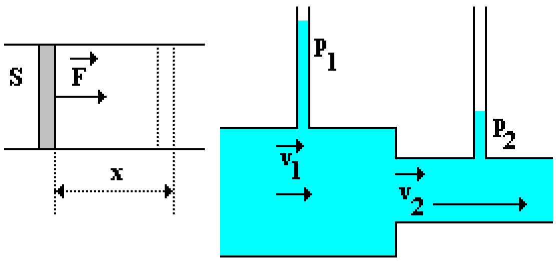
Bernoulliho rovnice

Podívejme se nyní na rovnici kontinuity z hlediska mechanické energie, neboť se změnou rychlosti kapaliny se mění i její kinetická energie. V zúžené části potrubí proudí kapalina větší rychlostí a má tedy i větší kinetickou energii. Z hlediska **zákona zachování mechanické energie** roste kinetická energie na úkor energie potenciální. Známe potenciální energii tíhovou potenciální energii (podélné osy obou průřezů jsou u vodorovného potrubí ve stejné výši, takže tato potenciální energie se nemění) a potenciální energii pružnosti (ideální kapalina je nestlačitelná, takže se nemůže měnit ani potenciální energie pružnosti). U proudící kapaliny se jedná o změnu energie, která souvisí s tlakem proudící kapaliny - **tlaková potenciální energie**.

Tuto energii známe z praxe: voda proudící z poškozeného potrubí je schopna konat práci - trhá potrubí, odplavuje zeminu, poškozuje silnici, ...

Tlaková potenciální energie kapaliny je určena prací, kterou může vykonat tlaková síla o velikosti $F = pS$, posune-li píst o obsahu *S* o vzdálenost *x* (viz obr. 192). Pro tlakovou potenciální energii tedy platí vztah $E_p = W = Fx = pSx = pV$. Pro proudění ideální kapaliny platí zákon zachování mechanické energie: $E_k + E_p = konst$ - kinetická energie proudící kapaliny se tedy zvětšuje na úkor její tlakové potenciální energie.



Obr. 192 Obr. 193

Potom je možné zákon zachování mechanické energie psát ve tvaru: $E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + pV = \frac{1}{2}\rho V v^2 + pV = konst$. Vyjádříme-li nyní energii připadající na jednotku objemu, dostáváme: $\frac{1}{2}\rho v^2 + p = konst$: Součet kinetické a tlakové potenciální energie kapaliny o jednotkovém objemu je ve všech částech vodorovné trubice stejný.

Rovnice vyjadřuje zákon zachování energie v proudící ideální kapalině. Po svém objeviteli se nazývá **Bernoulliho rovnice**: $\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2$. Pokud je $v_1 < v_2$, pak je $p_1 > p_2$. Člen $\frac{1}{2}\rho v^2$ se nazývá dynamický tlak, člen p tlak statický.

Zúžením průřezu potrubí lze dosáhnout takové zvýšení velikosti rychlosti proudící kapaliny, že její tlak klesne v zúženém místě pod hodnotu atmosférického tlaku. Tím vznikne podtlak a bude docházet k nasávání vzduchu do manometrické trubice.

Na tomto principu fungují vodní vývěvy, rozprašovače na květiny, mechanické rozprašovače u parfémů, v karburátorech spalovacích motorů, ...

Poznatek o snížení tlaku kapaliny v zúženém místě potrubí byl nazván **hydrodynamické paradoxon**, i když ani zde nejde o žádný paradox; z fyzikálního hlediska je vše naprosto v pořádku. Analogicky byl zaveden pojem **aerodynamické paradoxon**, který vzniká u proudícího plynu.

U vzduchu lze aerodynamické paradoxon demonstrovat foukáním mezi dva listy papíru, které se ještě více přiblíží k sobě, ačkoliv bychom mohli očekávat, že se od sebe oddálí. Proudící vzduch mezi listy papíru snižuje tlak vzduchu v prostoru mezi nimi. Vnější atmosférická síla pak listy papíru přimáčkne k sobě.

Vyjádření Bernoulliho rovnice pro plyny je složitější, protože u plynů se velmi podstatně se změnou tlaku mění i jejich hustota.

Velikost rychlosti kapaliny vytékající z nádoby je možné určit na základě zákona zachování energie. V blízkosti otvoru v hloubce *h* pod volným povrchem kapaliny se mění tlaková potenciální energie v kinetickou energii (obě o jednotkovém objemu): $\frac{1}{2}\rho v^2 = h\rho g$, odkud $v = \sqrt{2gh}$.
