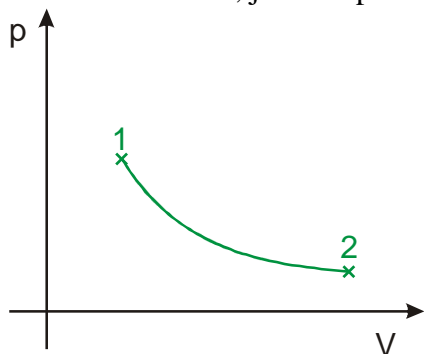


## 2.3.6 Práce plynu

### Předpoklady: 2305

Děje v plynech nejčastěji zobrazujeme pomocí **pV diagramů** – grafů závislosti tlaku na objemu. Na  $x$ -ovou osu vynášíme objem a na  $y$ -ovou osu tlak.

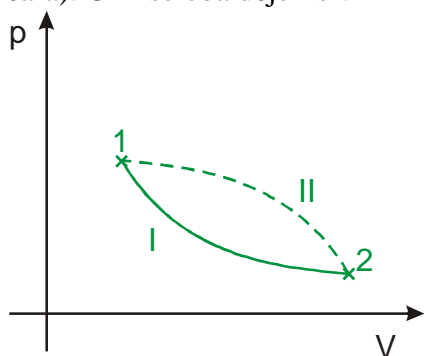
**Př. 1:** Na obrázku je nakreslen pV diagram děje s plynem. Plyn při něm přešel z bodu 1 do bodu 2. Rozhodni, jak se v průběhu děje změnil objem a tlak plynu.



Objem plynu se zvětšil (bod 2 je více vpravo), tlak plynu se zmenšil (bod 2 je níže).

Jak uvidíme později při dějích v plynech nezáleží pouze na počátečním a koncovém bodu nakreslené křivky. Dva různé děje mohou mít stejný počáteční a koncový bod a lišit se tvarem křivky mezi nimi.

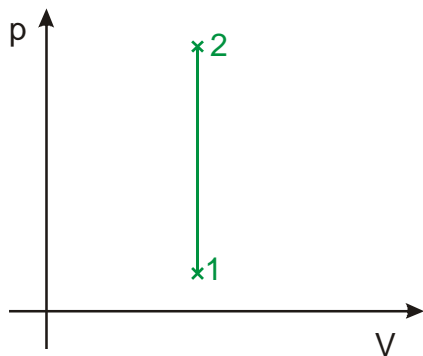
**Př. 2:** Na následujícím obrázku jsou nakresleny dva děje (I – plná čára, II – přerušovaná čára). Čím se oba děje liší?



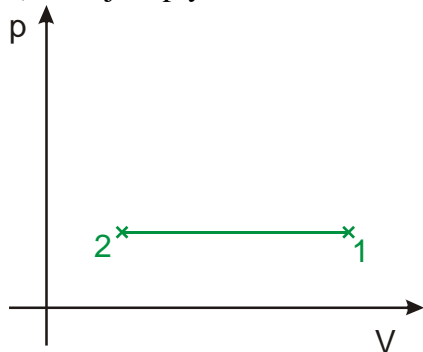
Při ději I klesá tlak rychleji na začátku děje, při ději II klesá tlak rychleji na konci.

**Př. 3:** Nakresli pV diagram děje, při kterém:  
a) se objem plynu nezmění, ale vzroste jeho tlak.  
b) se objem plynu zmenší a tlak se nezmění.  
c) objem plynu vzroste třikrát a tlak se zmenší na polovinu.

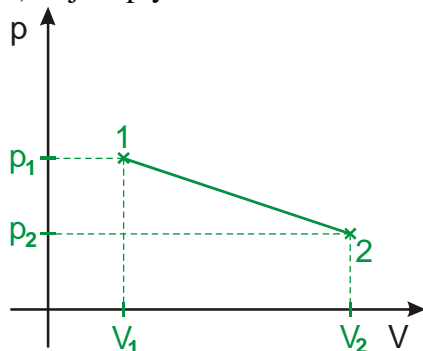
a) se objem plynu nezmění, ale vzroste jeho tlak



b) se objem plynu zmenší a tlak se nezmění



c) objem plynu vzroste třikrát a tlak se zmenší na polovinu



Z obrázku je vidět, že platí:  $V_2 = 3V_1$ ,  $p_2 = 0,5p_1$ . Nakreslené body 1 a 2 nemusí být propojeny přímkou čarou.

**Pedagogická poznámka:** Při kontrole předchozího příkladu si kromě promítnutí řešení z učebnice, říkáme, jaké vlastnosti mají všechna správná řešení (například v bode a) je řešením každá svislá čára).

Kdy a jakou práci vykonává plyn?

Klasický vzorec pro práci:  $W = Fs \Rightarrow$  síla musí působit na nějaké dráze.

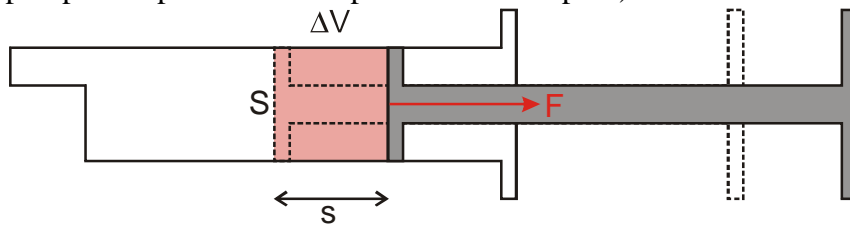
$\Rightarrow$  **Problémy:**

- U plynu místo síly používáme tlak  $\Rightarrow$  ve vzorcí musíme sílu nahradit tlakem.
- Jak budeme u plynu určovat dráhu?

Rozebereme si jednoduchý příklad:

Stlačíme plyn v uzavřené stříkačce. Když píst pustíme, plyn ho vrátí zpátky  $\Rightarrow$  plyn koná práci:  $W_p = Fs$  (**práci, kterou koná plyn značíme  $W_p$** , v učebnicích se častěji používá nic neříkající  $W'$ ).

Předpokládáme, že síla působící na píst je stále stejná (u případu se stříkačkou tento předpoklad při tak velkém posunu určitě neplatí).



Zkusíme přepsat pomocí stavových veličin:  $p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = pS$

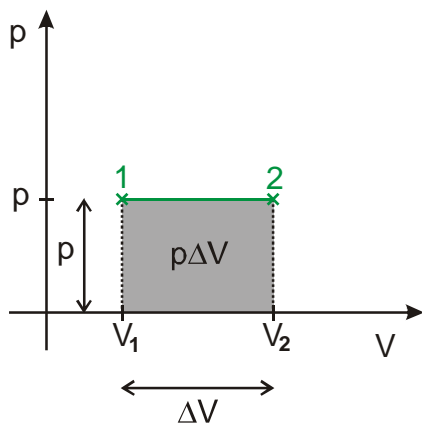
$W_p = Fs = pSs$  Z obrázku je vidět, že platí  $Ss = \Delta V$

$W_p = Fs = pSs = p\Delta V$  (hotovo - práci plynu jsme vyjádřili pomocí stavových veličin)

Pokud se objem plynu při konstantním tlaku  $p$  zvětší od  $\Delta V$ , plyn vykoná práci  $W_p = p\Delta V$ .

**Pozor:** Vzorec  $W_p = p\Delta V$  platí pouze v případě, že  $p$  se v průběhu konání práce nemění (stejný problém jako u síly ve vzorci  $W = Fs$ ).

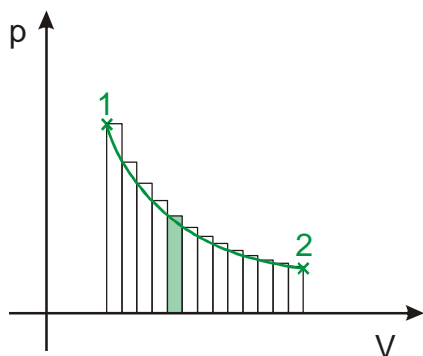
**Př. 4:** Nakresli pV diagram děje při kterém se objem zvětšuje a tlak se nemění. Vyznač v diagramu práci, kterou plyn vykoná.



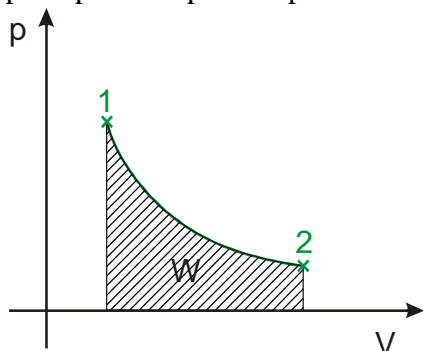
Vzorec  $W = p \cdot \Delta V$  připomíná vzorec pro obsah obdélníku  $S = ab \Rightarrow$  vykonanou práci můžeme zobrazit jako obsah obdélníku o stranách  $p$  a  $\Delta V \Rightarrow$  vyznačíme obdélník ohraničený osou  $V$  a čarou grafu.

Děje, při kterých se objem plynu nemění jsou vzácné  $\Rightarrow$  jak budeme postupovat, když se tlak bude měnit?

Na pV diagramu je nakreslen děj s plynem, při kterém se měnil tlak. Při malé změně objemu můžeme přibližně předpokládat stálou hodnotu tlaku a s její pomocí určit přibližnou velikost části práce. Takto můžeme pokračovat při dalších změnách objemu. Celkovou práci získáme sečtením částečných prací.

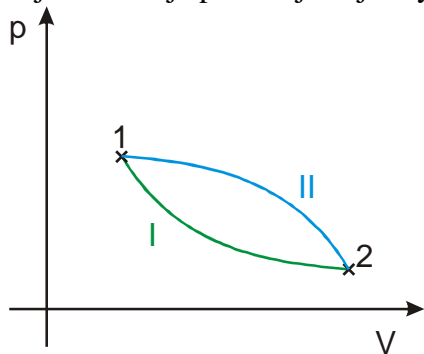


Čím jemnější nudličky nakrájíme, tím přesněji určíme práci  $\Rightarrow$  pokud se při ději mění tlak, určíme práci jako obsah plochy pod křivkou děje v pV diagramu (podobně už jsme postupovali u práce v proměnné velikosti síly).

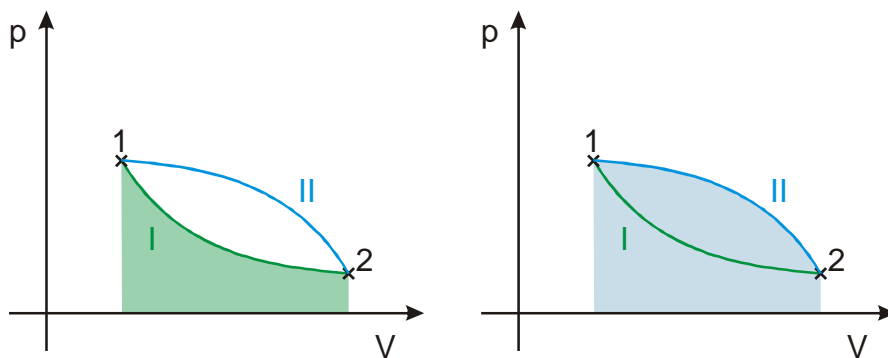


**Práce  $W_p$ , vykonaná plynem při zvětšení objemu, je v pV diagramu znázorněna obsahem plochy, která leží pod křivkou dotyčného děje.**

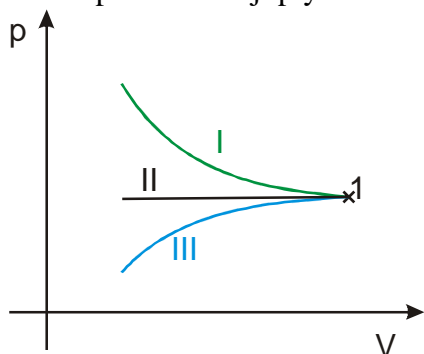
**Př. 5:** Při konstrukci tepelného motoru (zařízení, kde plyn koná práci například spalovací motor) je možné pro přechod z bodu 1 do bodu 2 použít jeden ze dvou znázorněných dějů. Oba děje probíhají stejně rychle. Který z dějů je výhodnější? Proč?



Při konstrukci motoru, chceme dosáhnout maximálního výkonu (největší možné vykonané práce)  $\Rightarrow$  výhodnější je děj, při kterém vykoná plyn větší práci  $\Rightarrow$  děj s větší plochou pod svou křivkou  $\Rightarrow$  výhodnější je děj II.

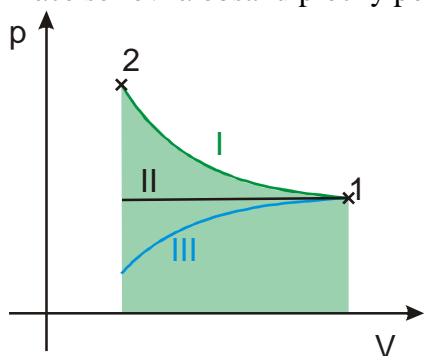


**Př. 6:** V následujícím pV diagramu jsou nakresleny tři děje. Rozhodni, který z nich nejlépe odpovídá stlačování pístu stříkačky s ucpaným otvorem. Nakresli do grafu práci, kterou při tomto ději plyn ve stříkačce vykoná. Jaké má tato práce znaménko?



Při stlačování plynu ve stříkačce se musí zvětšovat jeho tlak, protože se zmenšuje objem plynu (a tedy zvyšuje hustota molekul a počet nárazů do stěn) a teplota plynu se asi nemění (spíše se zvětšuje, protože pumpička se při podobném ději zahřívá)  $\Rightarrow$  stlačování stříkačky odpovídá děj I.

Práce se rovná obsahu plochy pod křivkou I.



Objem plynu se při ději zmenšuje  $\Rightarrow \Delta V < 0 \Rightarrow W_p < 0$ .

Plyn koná zápornou práci ( $\Rightarrow$  někdo musí konat kladnou práci místo něj).

**Př. 7:** Kdo při ději z předchozího příkladu koná kladnou práci? Jak se mění energie plynu ve stříkačce?

Kladnou práci při stlačování stříkačky koná ruka, která píst stlačuje (ta se unaví). Energie plynu ve stříkačce se zvětšuje (zvyšuje se jeho tlak), což se projeví i tím, že když přestaneme na píst tlačit, plyn ho částečně vrátí zpět (a při tom vykoná kladnou práci).

**Př. 8:** Při konstantním tlaku 150000 Pa se objem plynu zvětší z 2 l na 5 l. Jakou práci rozpínající plyn vykonal?

Tlak plynu byl konstantní  $\Rightarrow$  můžeme použít vzorec  $W_p = p\Delta V$

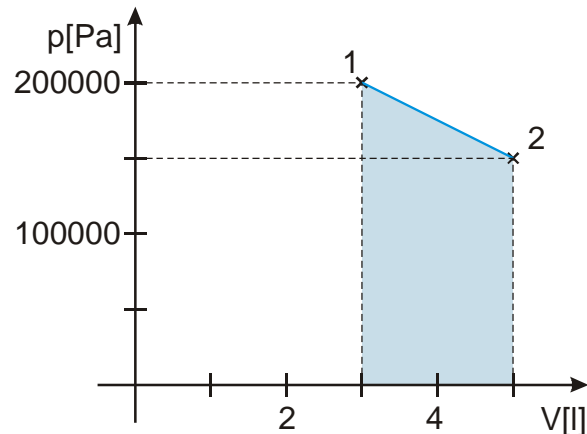
$$\Delta V = V_2 - V_1 = 5 - 2 \text{ l} = 3 \text{ l} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_p = p\Delta V = 150000 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ J} = 450 \text{ J}$$

Plyn vykonal práci 450 J.

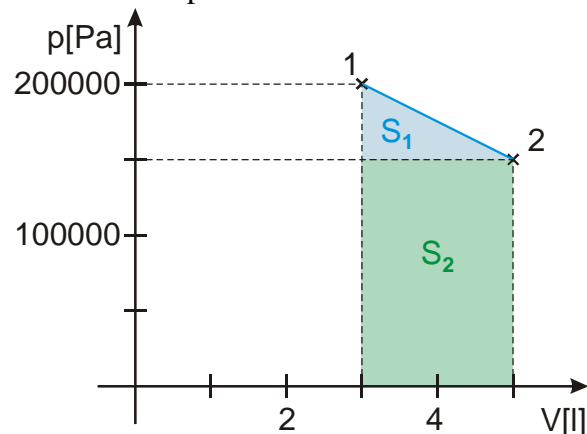
**Př. 9:** Při rozpínání plynu se jeho objem zvětšil z 3 l na 5 l a tlak klesnul z 200 000 Pa na 150000 Pa. Nakresli pV diagram tohoto děje, pokud při celém ději platí, že tlak je lineární funkcí objemu. Do nakresleného diagramu vyznač práci, kterou plyn během rozpínání vykonal a vypočti ji.

Do pV diagramu nakreslíme počáteční a koncový bod děje. Pokud je tlak lineární funkcí objemu, musí být grafem závislosti tlaku na objemu část přímky  $\Rightarrow$  spojíme oba body úsečkou:



Práci určíme jako plochu pod křivkou.

Rozdělíme si plochu na dvě části:



$$S_1 = \frac{ab}{2} = \frac{50000 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{2} = 50 \text{ J}$$

$$S_2 = ab = 150000 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 300 \text{ J}$$

Plyn při rozpínání vykonal práci 350 J.

**Shrnutí:** Při rozpínání koná plyn kladnou práci, jejíž velikost odpovídá obsahu plochy pod křivkou pV diagramu.