

2.3.11 Kruhový děj s plynem

Předpoklady: 2310

Chceme využít skutečnost, že plyn koná při rozpínání práci, na konstrukci motoru.

Nejjednodušší možnost: Pustíme nafouknutý balónek. Balónek se vyfukuje, vytlačuje vzduch a vytlačený vzduch postrkuje balónek dopředu (koná práci).

Problém: Balónek se vyfoukne a tím jeho činnost skončí \Rightarrow dost velká nevýhoda, kupovat si pro každou jízdu nový motor nevypadá příliš ekonomicky.

O co nám půjde:

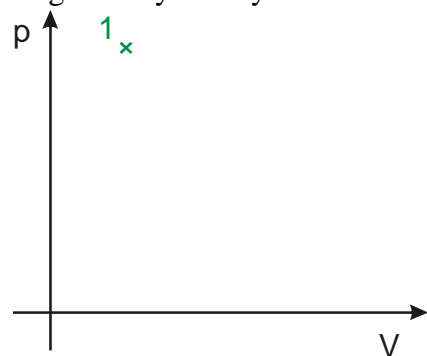
- Motor musí **pracovat cyklicky** (pořád dokola). Vždy po provedení jednoho cyklu se musí vrátit do počátečního stavu. (nemůže tedy fungovat jako jednou nafouknutý balónek, který po vypuštění přestane pracovat. Kdybychom chtěli jako motor použít vyfukující se balónek, musí činnost našeho motoru obsahovat i nafukování balónku)
- Ke sledování funkce motoru využijeme pV diagram (je v něm vidět práce).
- Nebudeme řešit technické detaily, jde pouze o kvalitativní náhled situace (nebudeme počítat, pouze kreslit).
- Zajímá nás energetická účinnost motoru \Rightarrow budeme sledovat, jak přijímá a odevzdává teplo, jak se mění jeho vnitřní energie, jakou koná práci.

Připomenutí: 1. termodynamický zákon:

- $\Delta U = W + Q$ (změna vnitřní energie se rovná práci vykonané okolím a dodanému teplu)
- $Q = \Delta U + W_p$ (dodané teplo se spotřebuje na změnu vnitřní energie a práci vykonanou plynem, $W_p = -W$)

Př. 1: Najdi v pV diagramu bod, ze kterého by bylo výhodné začít činnost motoru, který by měl vykonat maximální práci.

Vykonaná práce $W_p = p\Delta V \Rightarrow$ potřebujeme, aby plyn při co nejvyšším tlaku, co nejvíce zvětšil objem \Rightarrow na začátku cyklu by plyn měl mít malý objem a velký tlak \Rightarrow v pV diagramu by měl být vlevo nahoře.



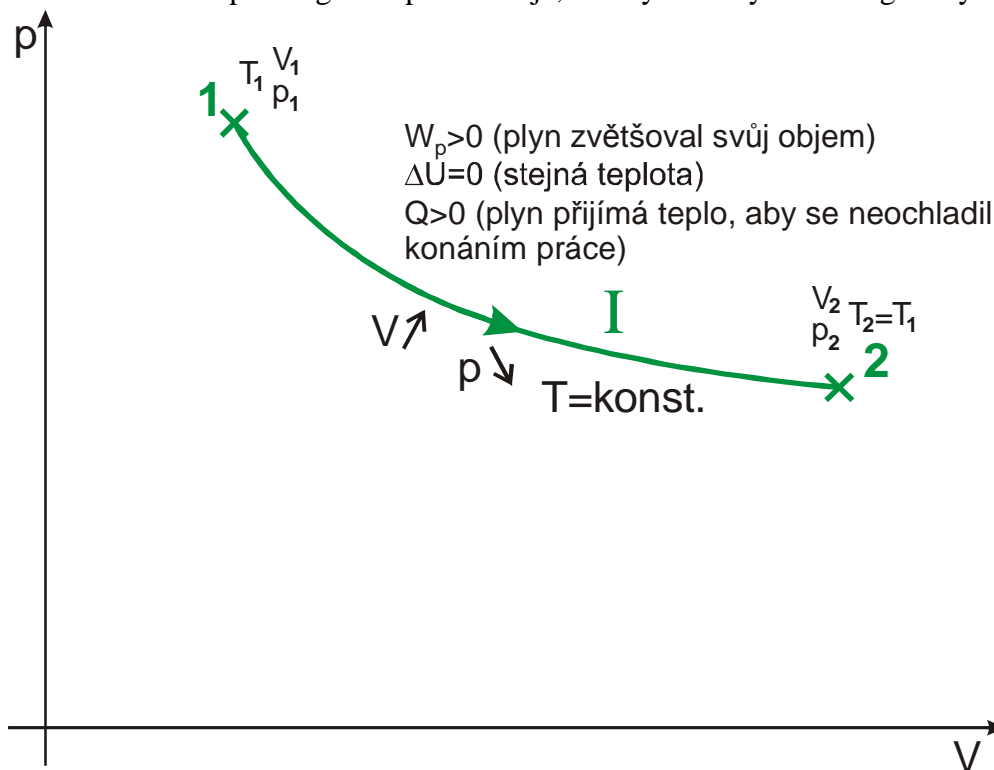
Př. 2: Navrhni děj, který bychom mohli nechat v proběhnout v plynu, aby plyn vykonal práci.

Musíme zvětšit objem plynu a nesnížit příliš tlak \Rightarrow nejvýhodnější by byla izobarická expanze, horší by byla izotermická expanze (tlak při ní klesá) a nejméně výhodná by byla adiabatická expanze (tlak klesá rychleji).

Protože motor bude s velkou pravděpodobností pracovat velmi rychle (tisíce otáček za minutu), nejrealističtější by byl adiabatický děj. Pro jednodušší úvahu budeme uvažovat děj izotermický.

Pedagogická poznámka: Následující pV diagram kreslíme postupně společně – já na tabuli, studenti do sešitů. Projektor nepoužívám.

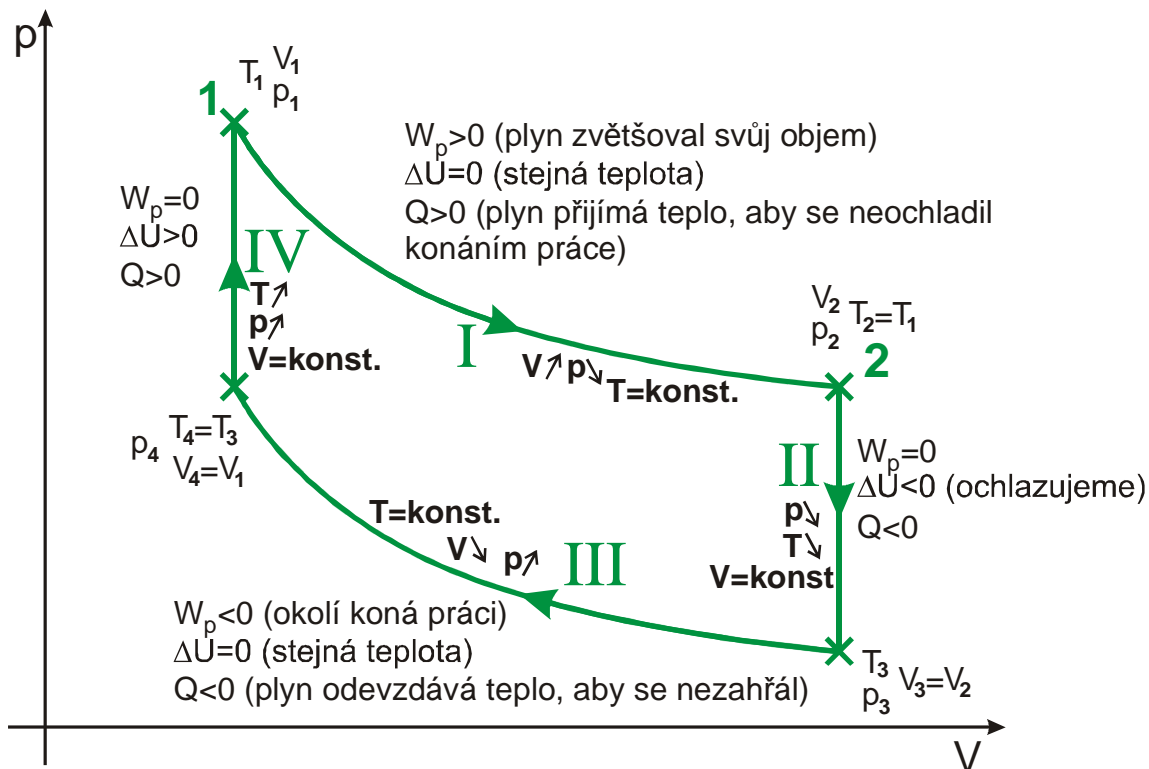
Nakreslíme si do pV diagramu průběh děje, změny stavových a energetických veličin.



Motor už vykonal práci, kterou potřebujeme \Rightarrow musíme se dostat zpátky do počátečního bodu (aby motor pracoval cyklicky).

Problém: Nemůžeme se normálně vrátit z bodu 2 do bodu 1 po stejné křivce. Při obráceném pohybu bychom museli místo plynu konat práci my (plyn stlačujeme). Práce, kterou bychom museli vykonat by byla stejně velká jako práce, kterou vykonal v první části cyklu plyn \Rightarrow co jsme z motoru dostali, museli bychom při návratu do bodu 1 vrátit \Rightarrow za celý cyklus by motor nevykonal žádnou užitečnou práci.

Řešení: Plyn ještě před stlačením ochladíme \Rightarrow sníží se jeho tlak \Rightarrow při stlačování ochlazeného plynu vykonáme menší práci než vykonal plyn při vyšší teplotě při rozpínání. Do počáteční polohy se pak dostaneme tak, že plyn opět ohřejeme.



Počáteční stav se shoduje s konečným \Rightarrow cyklus se může neustále v kruhu opakovat – **kruhový děj**.

Přehled jednotlivých fází:

I - izotermická expanze

$V \nearrow$; $p \searrow$; $T = \text{konst.}$
 $W_p > 0$ (plyn koná práci)
 $\Delta U = 0$ (teplota se nemění)
 $Q > 0$ (plyn si udržuje teplotu příjmem tepla od ohřívače)

II - izochorické ochlazení rozepnutého plynu

$V = \text{konst.}$; $p \searrow$; $T \searrow$
 $W_p = 0$ (objem se nemění)
 $\Delta U < 0$ (plyn se ochlazuje)
 $Q < 0$ (plyn odevzdává teplo, aby se ochladil)

III - izotermické stlačení ochlazeného plynu

$V \searrow$; $p \nearrow$; $T = \text{konst.}$
 $W_p < 0$ (okolí musí stlačit plyn)
 $\Delta U = 0$ (teplota se nemění)
 $Q < 0$ (stlačovaný plyn odevzdává teplo okolí, aby se nezahřál)

IV - izochorické ohřátí stlačeného plynu

$V = \text{konst.}$; $p \nearrow$; $T \nearrow$
 $W_p = 0$ (objem se nemění)
 $\Delta U > 0$ (plyn se ohřívá)
 $Q > 0$ (plyn přijímá teplo, aby se ohřál)

Celkově za jeden cyklus:

- Práce vykonaná motorem (výkon): $W = W_p(I) - W_p(III)$.
- Energie dodaná motoru (příkon): Q_1 teplo přijaté ve fázích I a IV.
- Energie nevyužitá motorem (ztráty): Q_2 teplo odevzdané ve fázích II a III

\Rightarrow platí: $Q_1 = Q_2 + W$

Shrnutí činnosti motoru: Motor odebírá teplo z ohřívače (zdroj tepla o vysoké teplotě), přenáší jej na chladič (příjemce tepla o nízké teplotě) a jeho část tepla mění na práci.

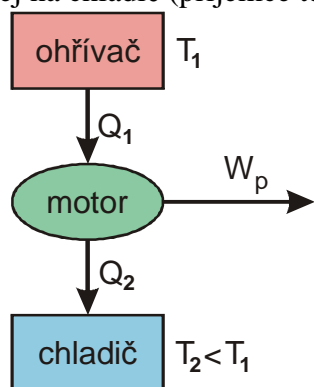
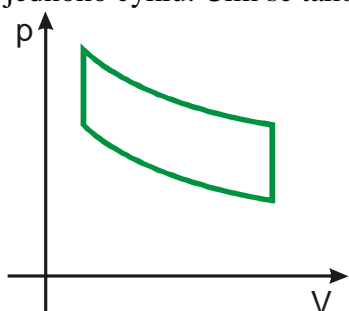


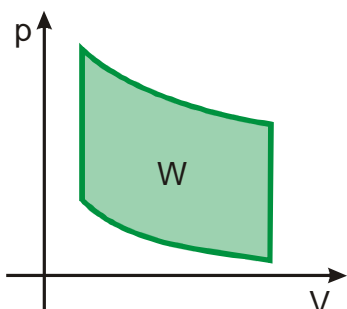
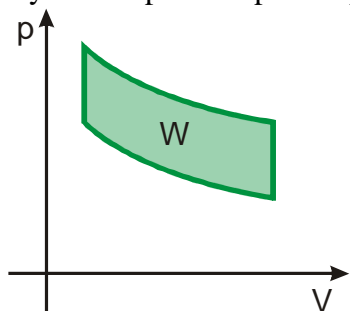
Schéma:

$$\text{Účinnost motoru: } \eta = \frac{\text{výkon}}{\text{příkon}} = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

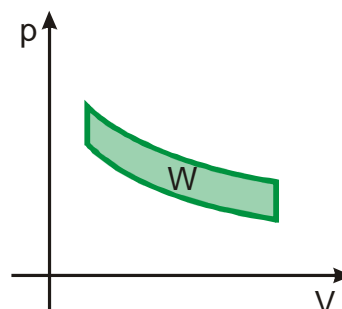
Př. 3: Vyznač v obrázku kruhového děje vykonanou práci. Nakresli kruhový děj stejného typu (izoterma-izochora-izoterma-izochora) s větší (menší) vykonanou prací během jednoho cyklu. Čím se takové děje liší?



Vykonaná práce odpovídá ploše uvnitř obrazce:



Větší práci vykoná motor, který má obrazec hodně natažený ve svislém směru, tedy s velkým rozdílem teplot mezi ohřívačem a



Menší práci vykoná motor, který má obrazec tenký natažený ve svislém směru, tedy s malým rozdílem teplot mezi ohřívačem a

chladičem.

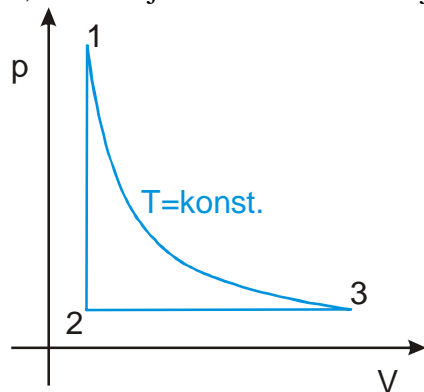
chladičem.

Z obrázků vyplývá, že vykonaná práce je tím větší, čím je větší rozdíl teplot mezi ohřivačem a chladičem. Pokud bychom účinnost spočítali, mohli bychom doplnit vzorec takto:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Pedagogická poznámka: Následující příklad většinou nestihneme.

Př. 4: Na obrázku je nakreslen pV diagram kruhového děje s plynem. Urči z jakých jednotlivých dějů se skládá. Porovnej hodnoty stavových veličin (p , V , T) v bodech 1, 2 a 3. V jakém směru musí děj probíhat, aby plyn konal práci.



Probíhající děje:

- $1 \Rightarrow 2$ - izochorický děj, snižování tlaku a teploty při stálém objemu
- $2 \Rightarrow 3$ - izobarický děj, zvětšování objemu a teploty
- $3 \Rightarrow 1$ - izotermický děj, zmenšování objemu a zvyšování tlaku

Z obrázku i předchozího rozboru plyne:

- $p_1 > p_2 = p_3$
- $V_1 = V_2 < V_3$
- $T_1 = T_3 > T_2$

Pokud má plyn konat kladnou práci, musí projít grafem v takovém směru, aby plocha pod křivkami rozpínání byla větší než plocha pod křivkami stlačování \Rightarrow v pořadí

$1 \Rightarrow 3 \Rightarrow 2 \Rightarrow 1 \dots$

Shrnutí: Můžeme sestavit periodicky pracující stroj, který pomocí kruhového děje přenáší teplo z ohřivače na chladič a jeho část mění v práci.