

Tepelné stroje z pohledu základního kursu fyziky 3.

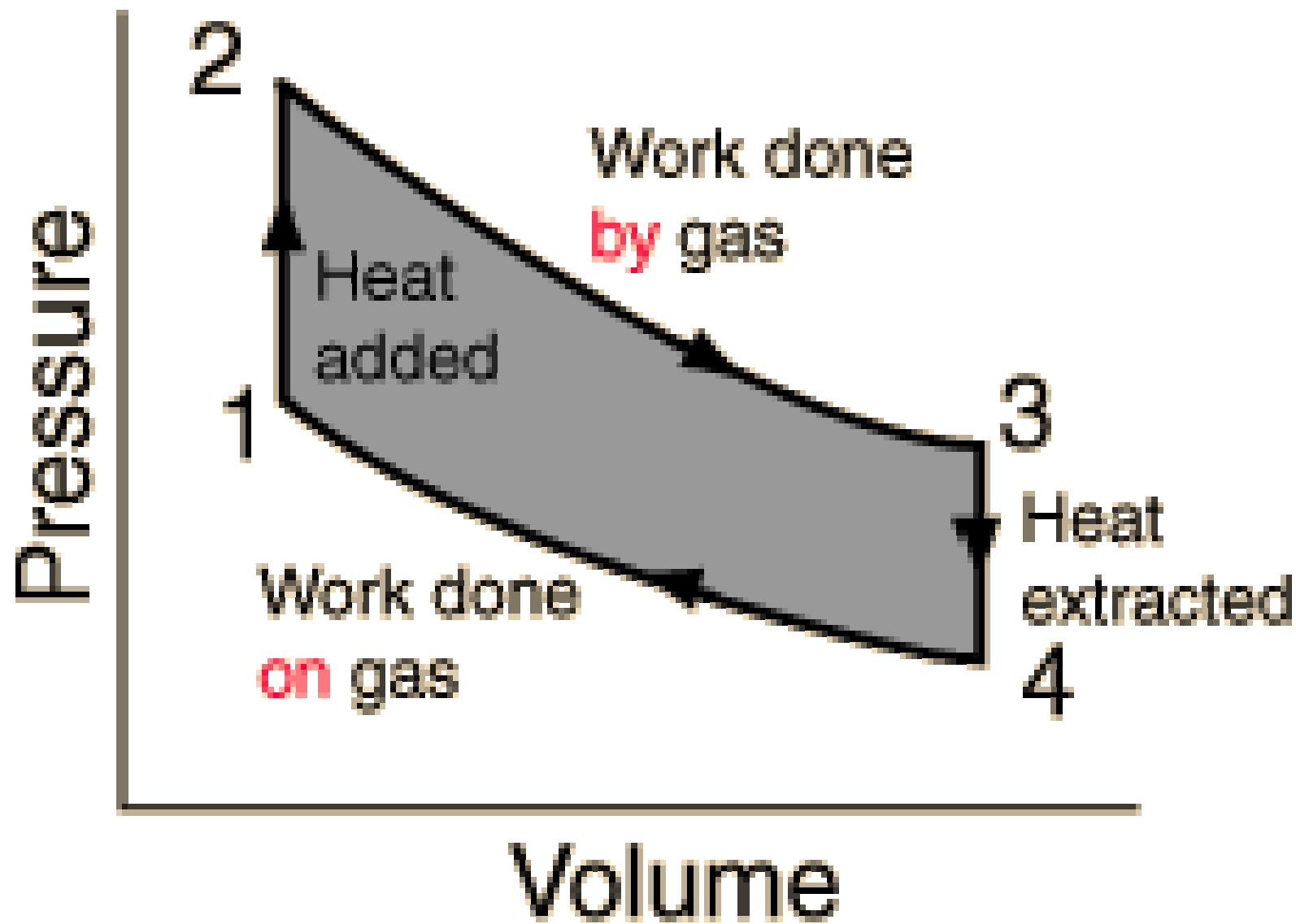
Poznámky k přednášce

osnova

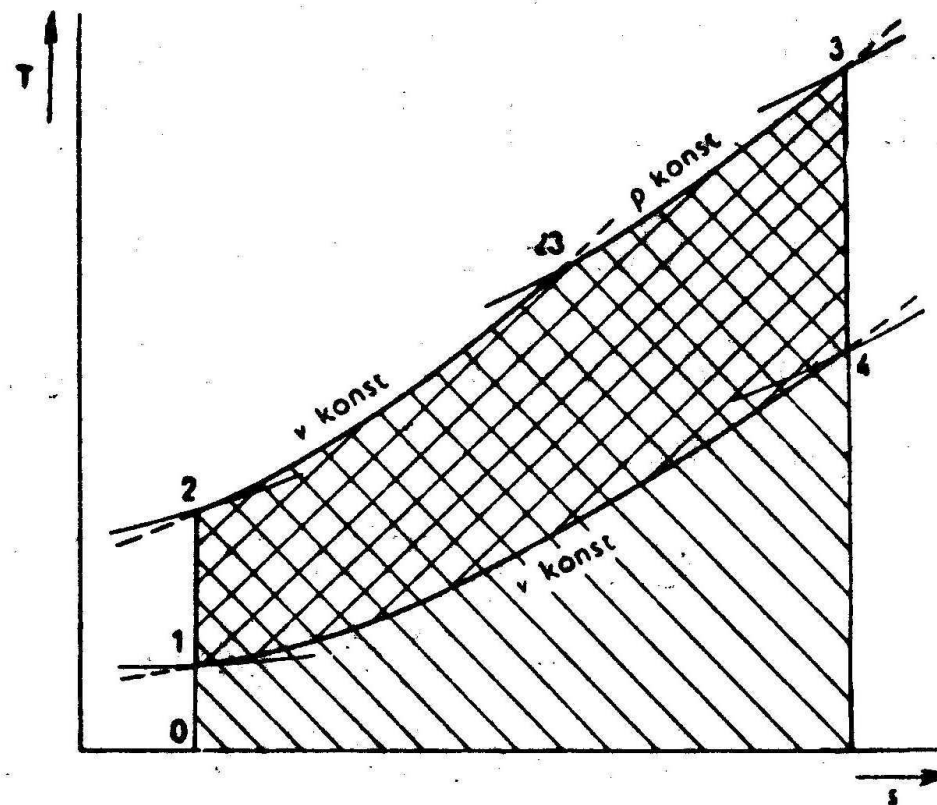
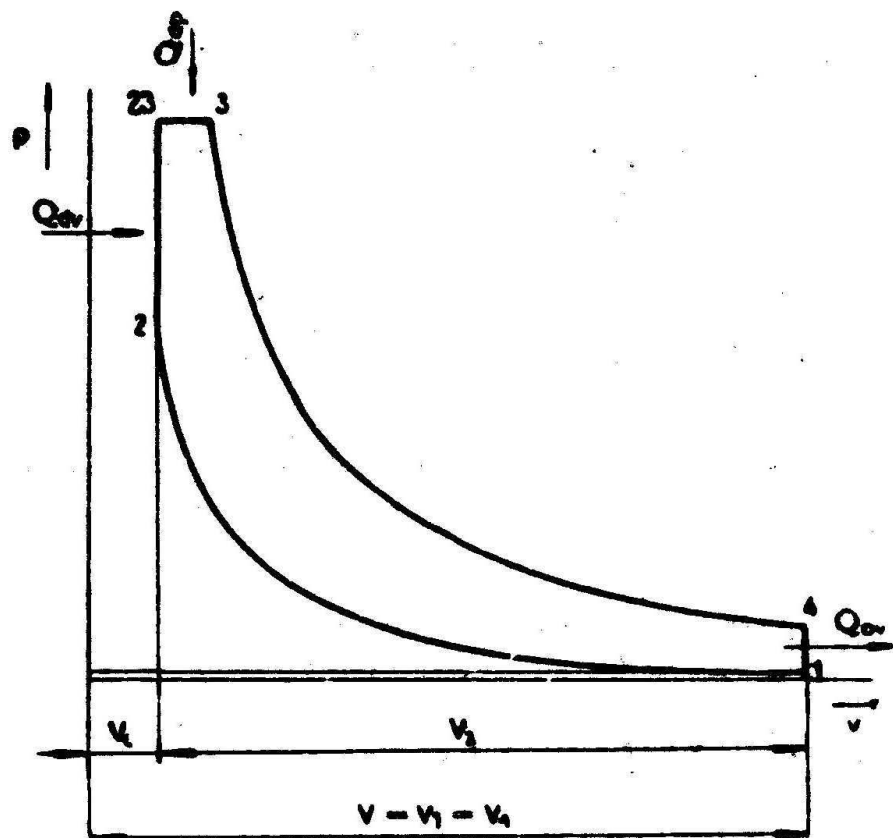
1. Idealizované tepelné cykly strojů s vnitřním spalováním, Ottův cyklus, Dieselův cyklus, Atkinsonův cyklus,
2. Způsob výměny směsi. Dvoudobé stroje, vyplachování. Čtyřdobé stroje, ventily, časování ventilů
3. Pístový benzínový motor:
Fyzika přípravy směsi, karburátor. Vstřikovací systémy (vážení vzduchu) Fyzika spalování směsi. Přepřehování. Reálná účinnost.
4. Pístový naftový motor. Vstřikovací systém. Přepřehování

Ottův cyklus

- A. Otto 1876.
- idealisovaný cyklus sestává ze dvou adiabat spojených izochorami, složení plynu se nemění.



tlakový a entropický diagram



5-7. Tlakový a entropický diagram smíšeného oběhu.

Ottův idealisovaný cyklus

- Ve válci s pístem v dolní úvrati je μ molů pracovního plynu o objemu V_1 tlaku p_1 a teplotě T_1 . Píst stlačí plyn na objem V_2 , vzroste teplota na T_2 a tlak na p_2 . Poměr V_2 ku V_1 se nazývá kompresní poměr. Následuje izobarický ohřev při p_2 z teploty T_2 na teplotu T_3 . Poté plyn adiabaticky expanduje do objemu V_1 . Následuje izochorický pokles tlaku na hodnotu p_1 a cyklus se opakuje.

Práce idealisovaného Ottova cyklu a)
kompresní práce při adiabatické kompresi z
objemu V_1 na objem V_2 za předpokladu že κ
a c_v je konstantní

$$A_{1-2} = -\frac{\mu RT_2}{\kappa - 1} \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right)$$

$$A_{1-2} = -\mu c_v T_2 \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right)$$

Práce idealisovaného Ottova cyklu

b) izochorický ohřev

- množství dodaného tepla při objemu V_2 je Q_{2-3}

$$T_3 = T_2 + \frac{Q_{2-3}}{\mu c_v}$$

Práce idealisovaného Ottova cyklu

b) expanzní práce při expanzi z
objemu V_2 na objem V_1

$$A_{3-4} = \frac{\mu RT_3}{\kappa - 1} \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right)$$

$$A_{3-4} = \mu c_v T_3 \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right)$$

$$A_{3-4} = \mu c_v T_2 \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right) + \mu c_v \frac{Q_{2-3}}{\mu c_v} \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right)$$

Práce idealisovaného Ottova cyklu

$$A_{\text{cyklus}} = A_{1-2} + A_{3-4}$$

$$A_{\text{cyklus}} = Q_{2-3} \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1} \right)$$

tepelná účinnost Ottova cyklu

k	V_1/V_2	4	6	8	10	12	14
1,2		0,24	0,3	0,34	0,37	0,39	0,41
1,3		0,34	0,42	0,46	0,5	0,53	0,55
1,4		0,43	0,52	0,57	0,61	0,63	0,65
1,61		0,63	0,66	0,72	0,75	0,78	0,8

Dieselův cyklus

- Rudolph Diesel in 1897
- idealisovaný cyklus sestává ze dvou adiabat spojených jednou izobarou a jednou izochorou, složení plynu se nemění. Měrná tepla plynu nezávisí na teplotě.

Práce idealisovaného Dieselova cyklu a)
kompresní práce při adiabatické kompresi z
objemu V_1 na objem V_2 za předpokladu
konstantnosti c_v a κ

$$A_{1-2} = -\frac{\mu R T_2}{\kappa - 1} \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right)$$

$$A_{1-2} = -\mu c_v T_2 \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right)$$

Práce idealisovaného Dieselova cyklu b) izobarický ohřev

- množství dodaného tepla při tlaku p_2 je Q_{2-3}
- vykonaná práce A_{2-3} při tlaku p_2

$$T_3 = T_2 + \frac{Q_{2-3}}{\mu c_p}$$

$$A_{2-3} = p_2(V_3 - V_2)$$

$$p_2 V_3 = \mu R T_3 = \mu R \left(T_2 + \frac{Q_{2-3}}{\mu c_p} \right)$$

$$p_2 V_3 = p_2 V_2 + R \frac{Q_{2-3}}{c_p}$$

$$p_2 V_3 - p_2 V_2 = p_2(V_3 - V_2) = R \frac{Q_{2-3}}{c_p}$$

$$A_{2-3} = R \frac{Q_{2-3}}{c_p}$$

Práce idealisovaného Dieselova
cyklu b) expanzní práce při expanzi
z objemu V_3 na objem V_1

$$A_{3-4} = \frac{\mu RT_3}{\kappa - 1} \left(1 - \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right)$$

$$A_{3-4} = \mu c_v T_2 \left(1 - \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right) + \frac{c_v}{c_p} Q_{2-3} \left(1 - \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^{\kappa - 1} \right)$$

účinnost rovnotlakého Dieselova cyklu

$$\eta = 1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} \frac{\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa} - \left(\frac{V_4}{V_3} \right)^{\kappa}}{\left(\frac{V_4}{V_3} \right)^{\kappa-1} \left(\left(\frac{V_1}{V_2} \right) - \left(\frac{V_4}{V_3} \right) \right)}$$

Motivy pro konstrukci jiného cyklu než Ottova

- Obejít nevýhodu Ottova cyklu, která spočívá ve vysokých spalovacích teplotách.
- Obejít problém nízkých oktanových čísel těžkých frakcí ropy. Buďto je zapotřebí přísad, nebo poměrně nízkého kompresního poměru a tím i účinnosti.

Motivy pro konstrukci jiného cyklu než Ottova

1. Obejít problém zapalování elektrickou jiskrou, které vyžaduje vysoké napětí (příčina nespolehlivosti), poměrně přesně nastavený poměr paliva a vzduchu ve směsi, jinak k zapálení nedojde. Závislost izolační pevnosti plynu na tlaku

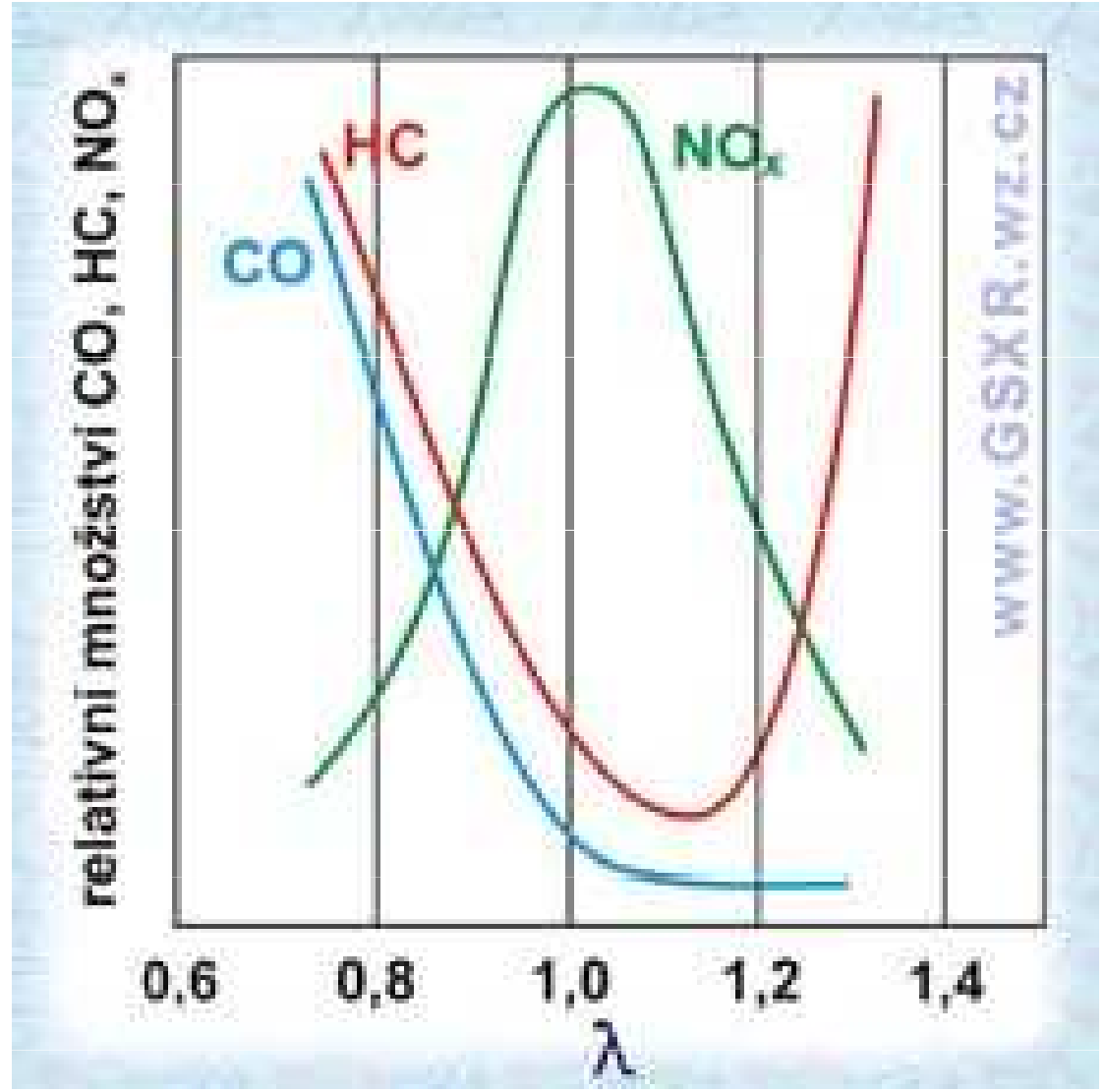
hranice zápalnosti

palivo	hranice zápalnosti dolní- horní konc.			
	% plyn. fáze	μ	% plyn. fáze	μ
vodík	9,5	4	65	0,23
metan	6	1,6	13	0,7
benzín	2	1,3	5	0,5
etanol	4	1,7	14	0,4

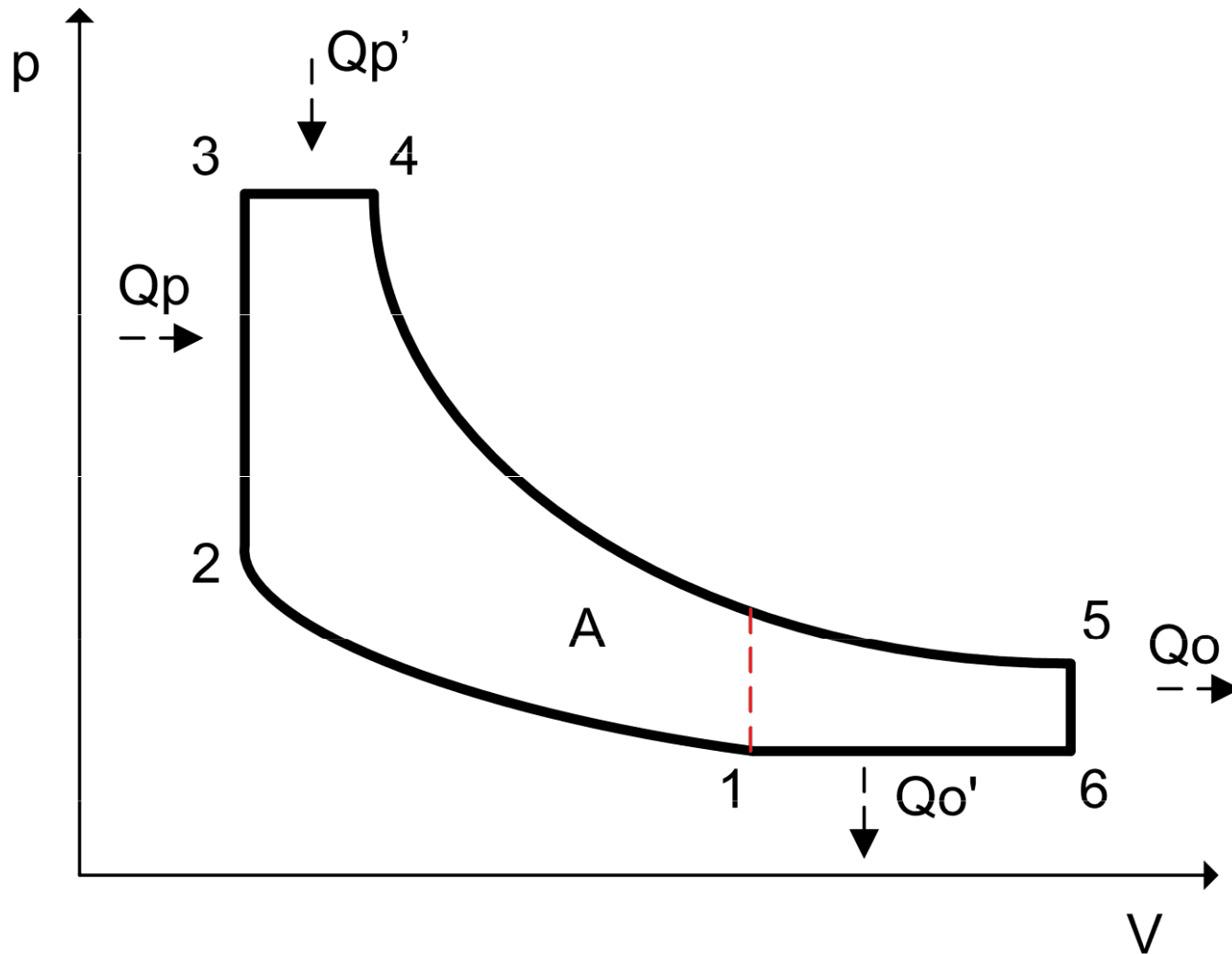
zapalování paliva

- podmínka zapálení - dosažení aktivační energie v určitém objemu
- energie jiskry cca 10mJ
- variabilita hoření 33⁰ - 75⁰

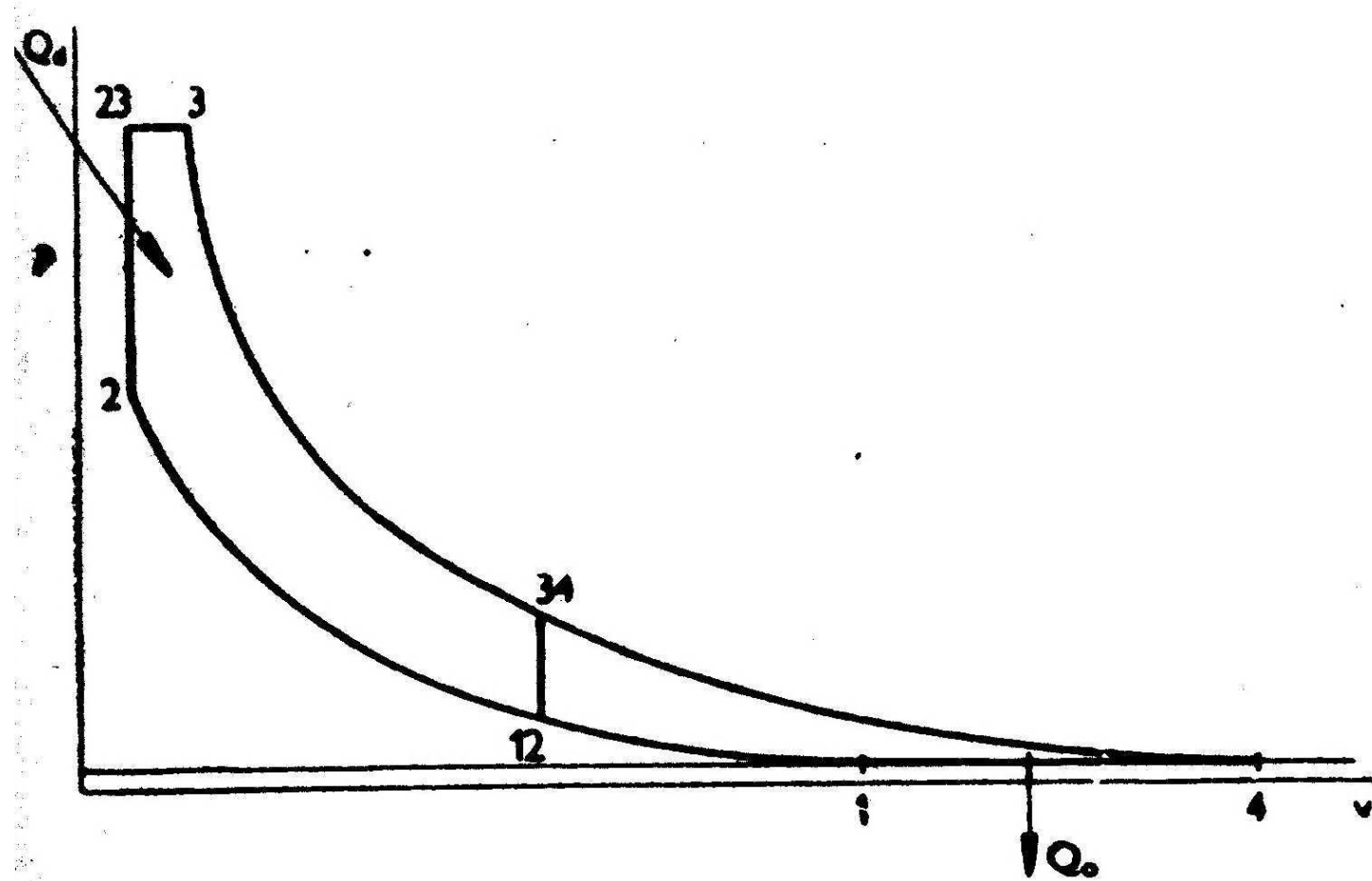
	akt. energ. MJ/mol	
nafta	45	
benzín	90-150	
metan	?400	



Cyklus s prodlouženou expanzí -Atkinsonův cyklus

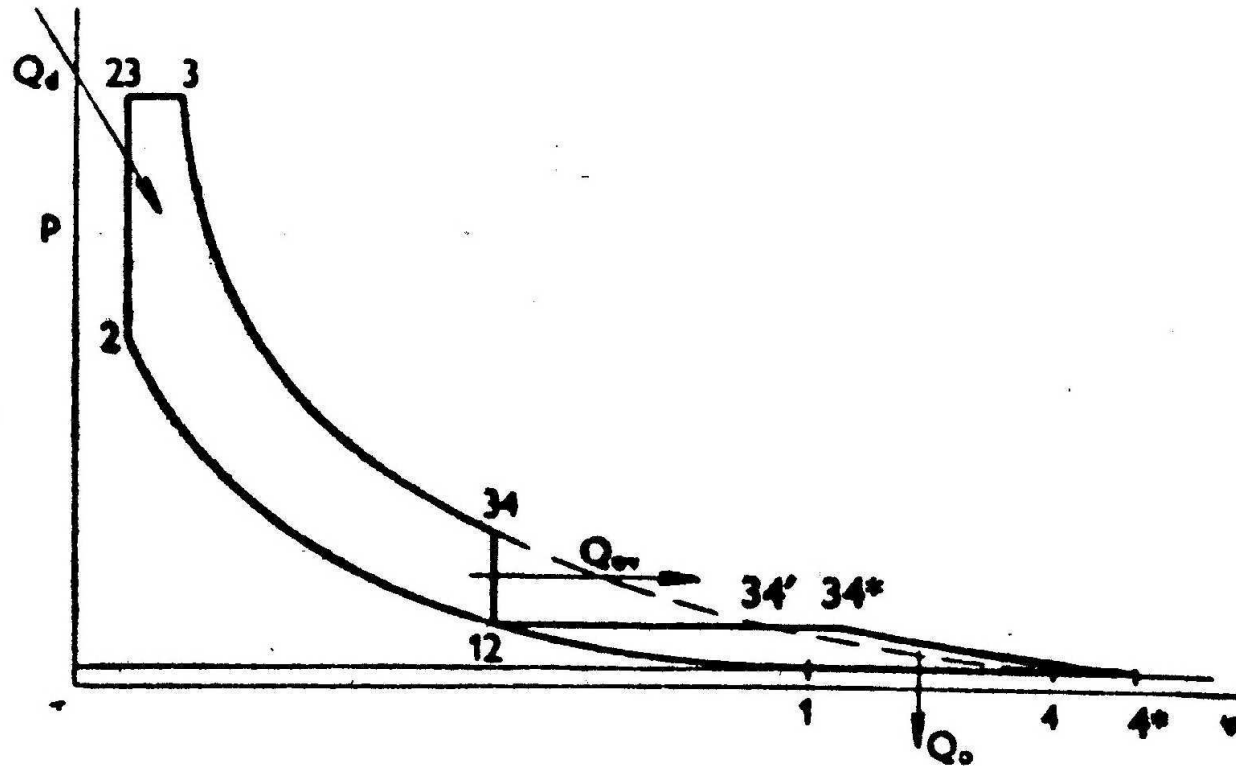


cyklus s úplnou expanzí



19-16. Teoretický p - v -diagram s dokonalou expanzí a stlačením vzduchu v turbodmychadle při využití tlakového spádu po ukončení expanzního zdvihu motoru.

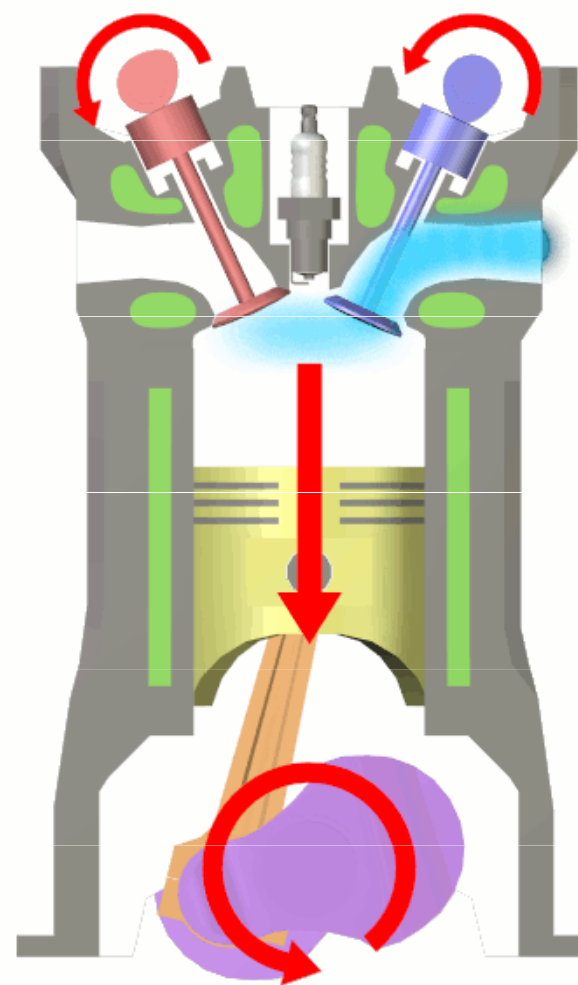
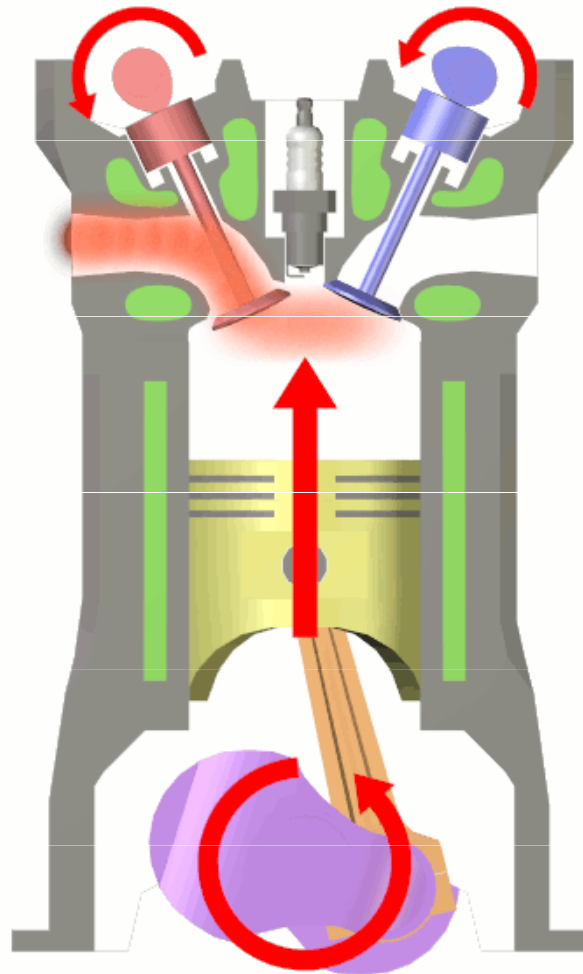
reálné provedení



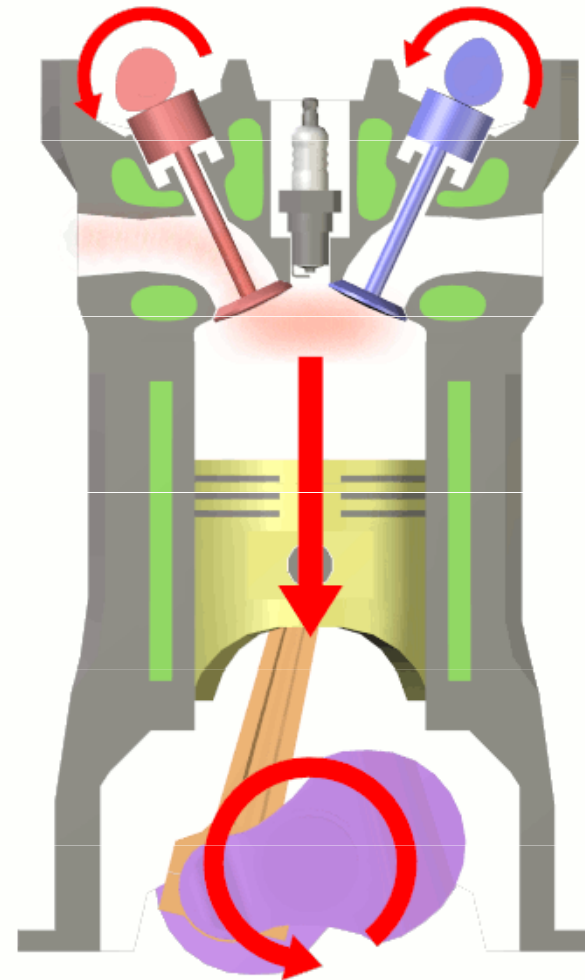
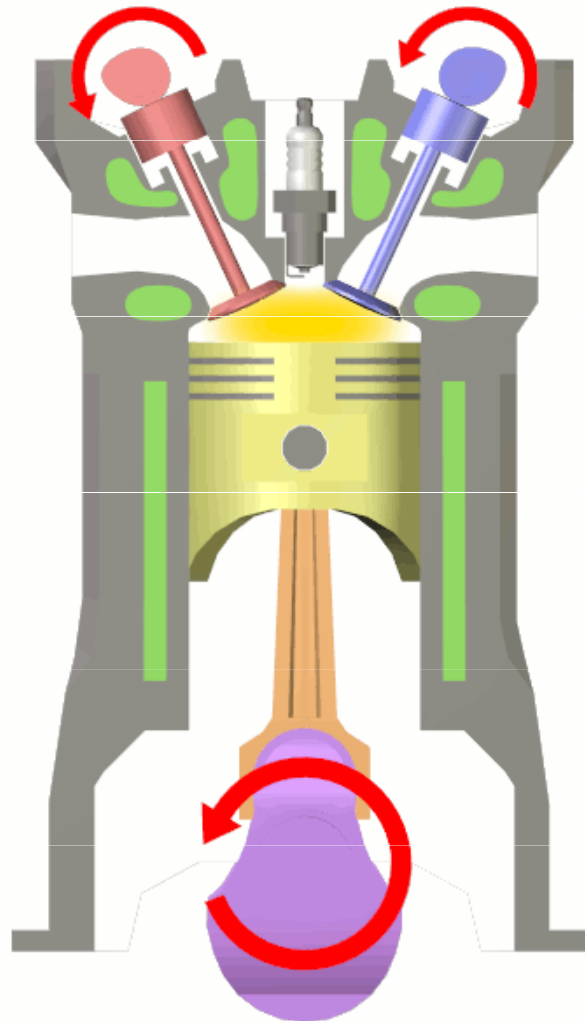
19-15. Teoretický tlakový diagram se stálým tlakem před turbínou.

1-12 komprese v dmychadle, *12-2* komprese v motoru, *2-3* smíšený přívod tepla, *3-34* expanze v motoru, *34-12* odvod tepla při stálém objemu, *12-34** přívod téhož množství tepla turbíně při stálém tlaku, *34*-4** expanze v turbíně, *4-1* odvod tepla při stálém tlaku.

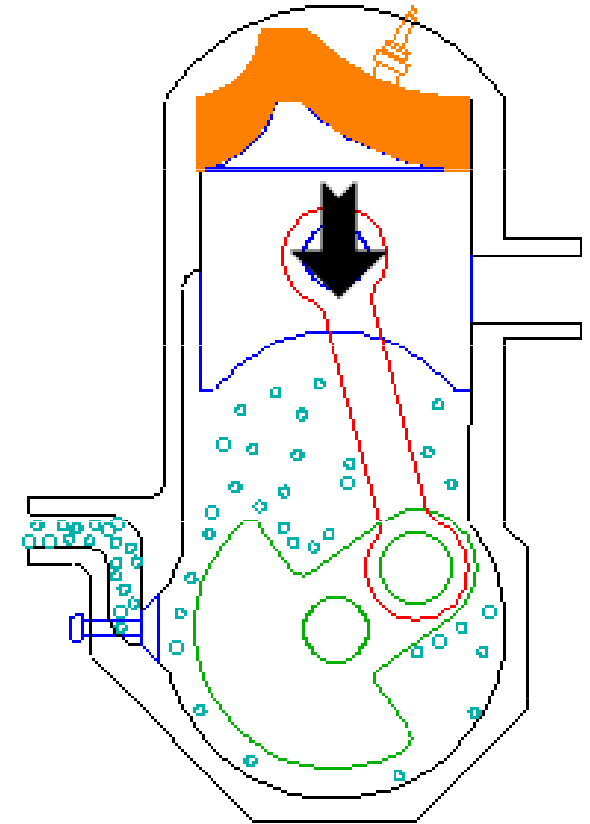
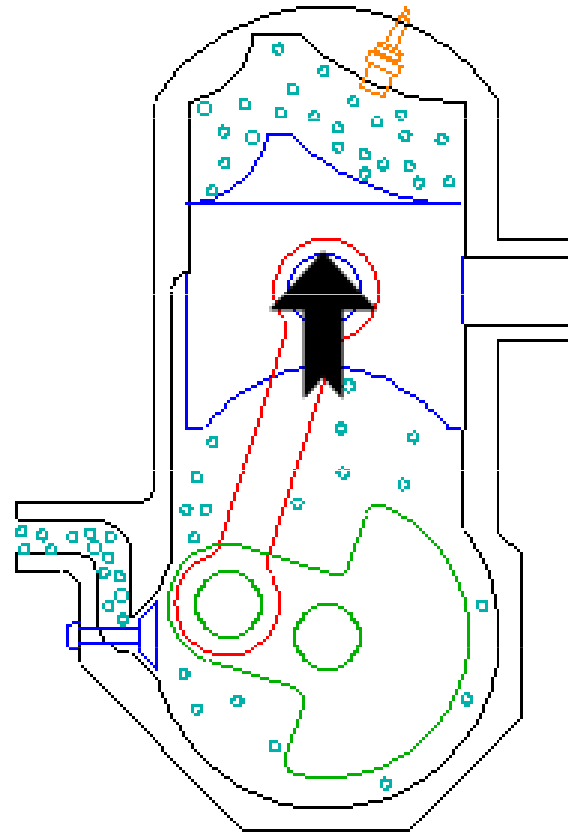
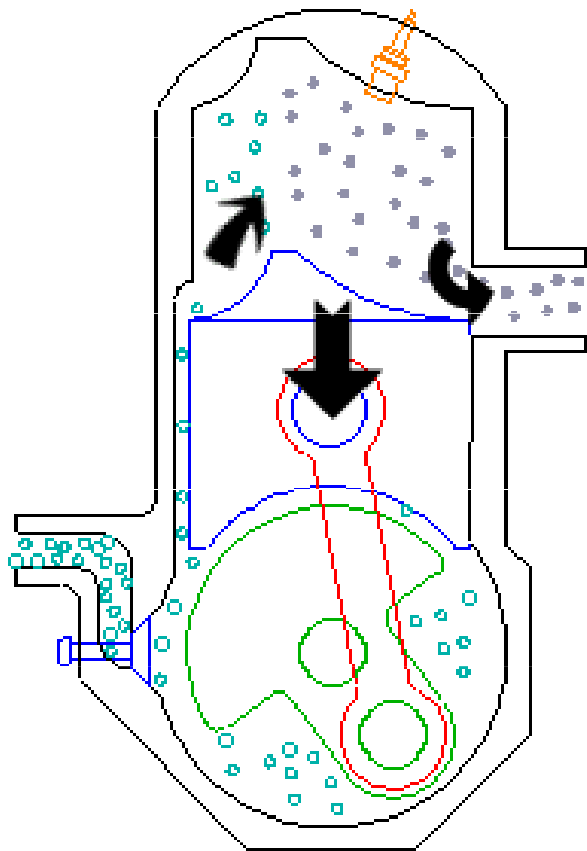
Provedení - 4 dobý motor výfuk-sání



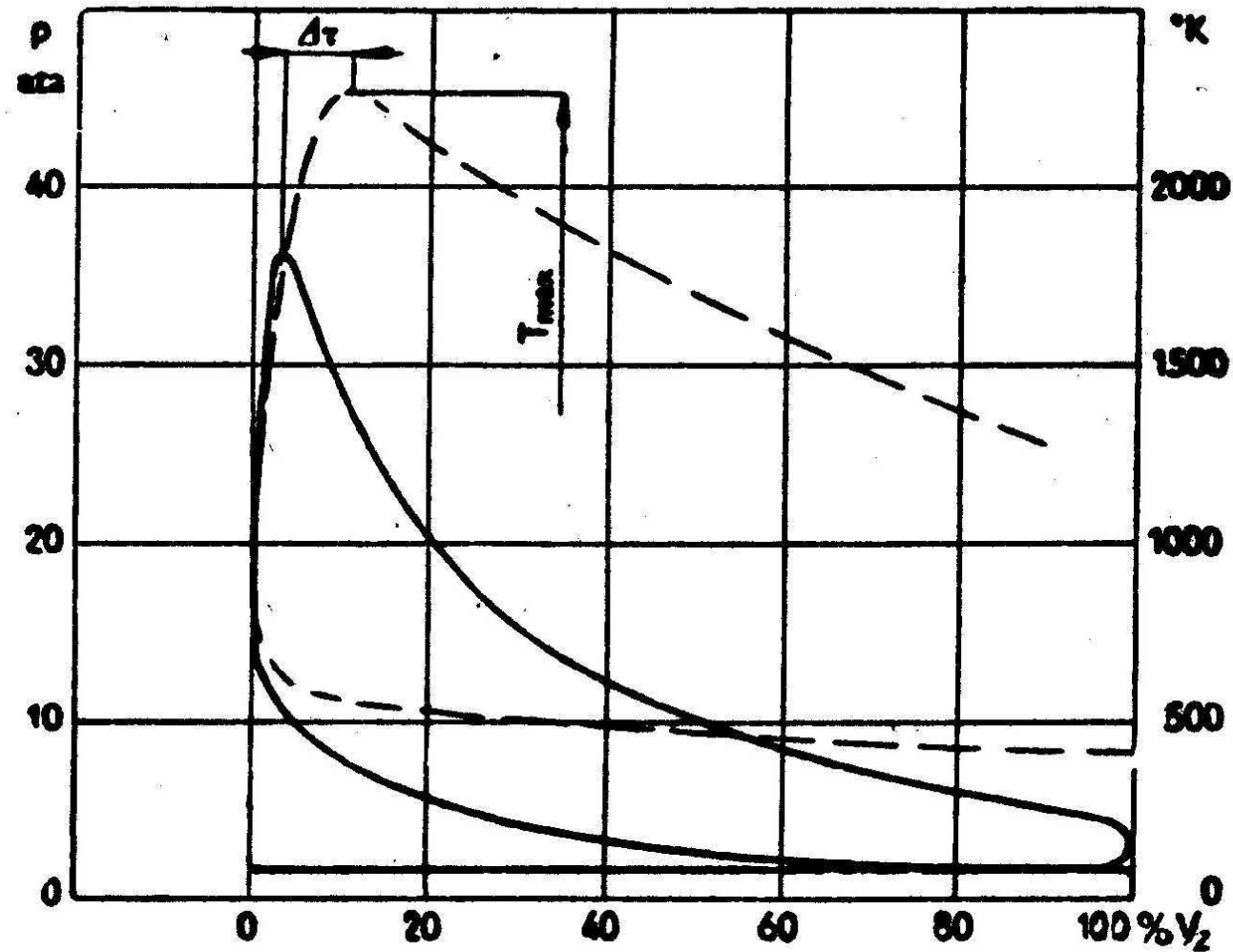
kompresse -expanze



dvoudobý motor

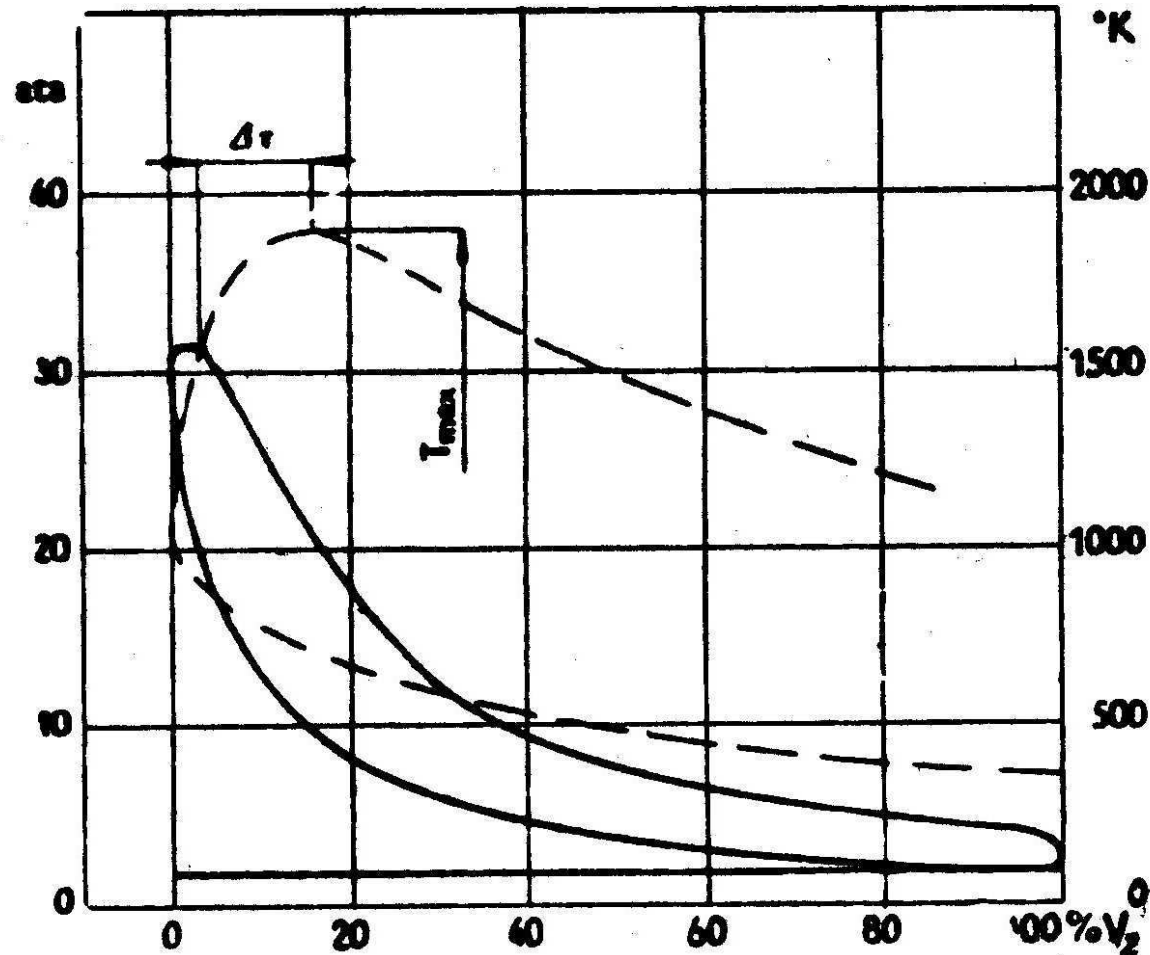


Reálný oběh Ottův cyklus



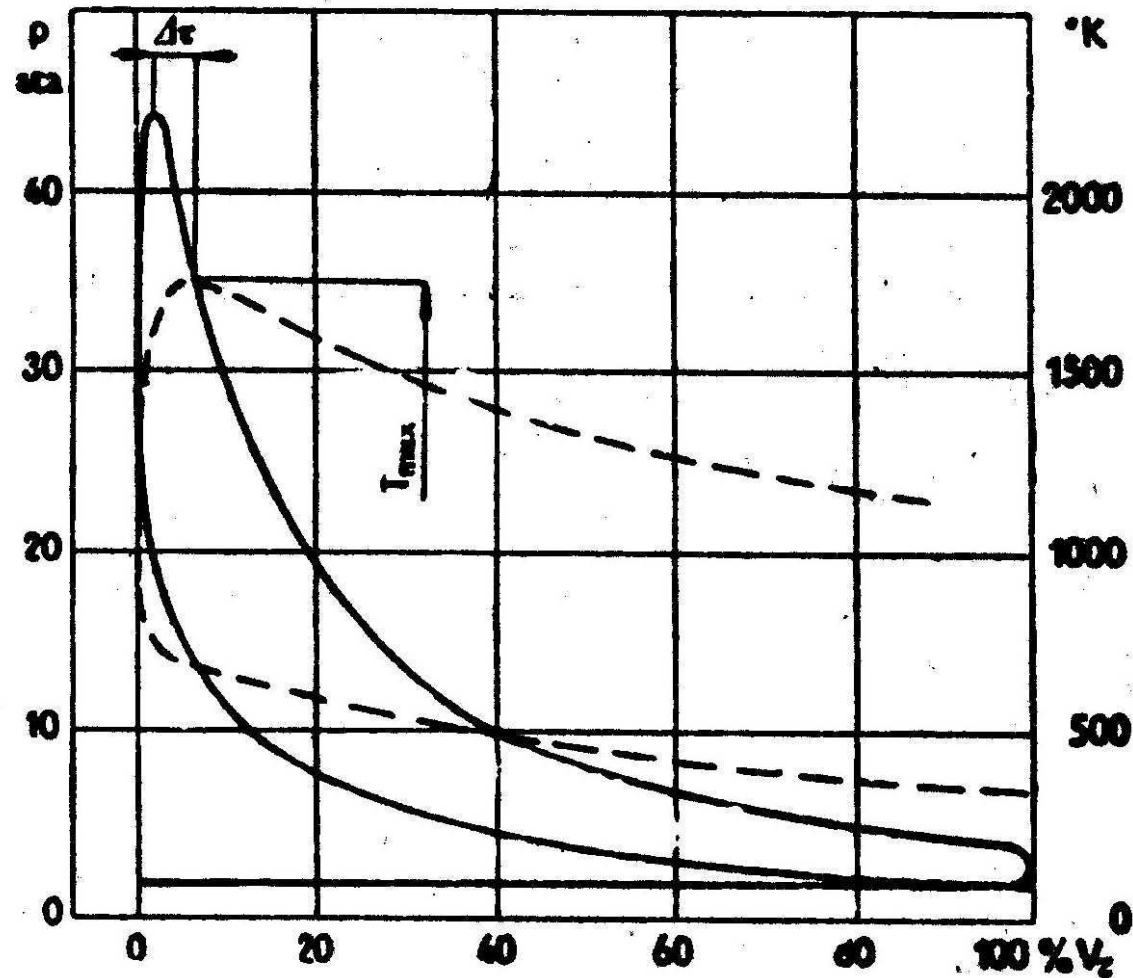
6-7. Přibližný průběh tlaků a teplot v pracovním oběhu čtyřdobého výbušného motoru.

Reálný oběh Dieselův cyklus rovnotlak



6-8. Přibližný průběh tlaků a teplot v pracovním oběhu čtyřdobého rovnotlakého motoru.

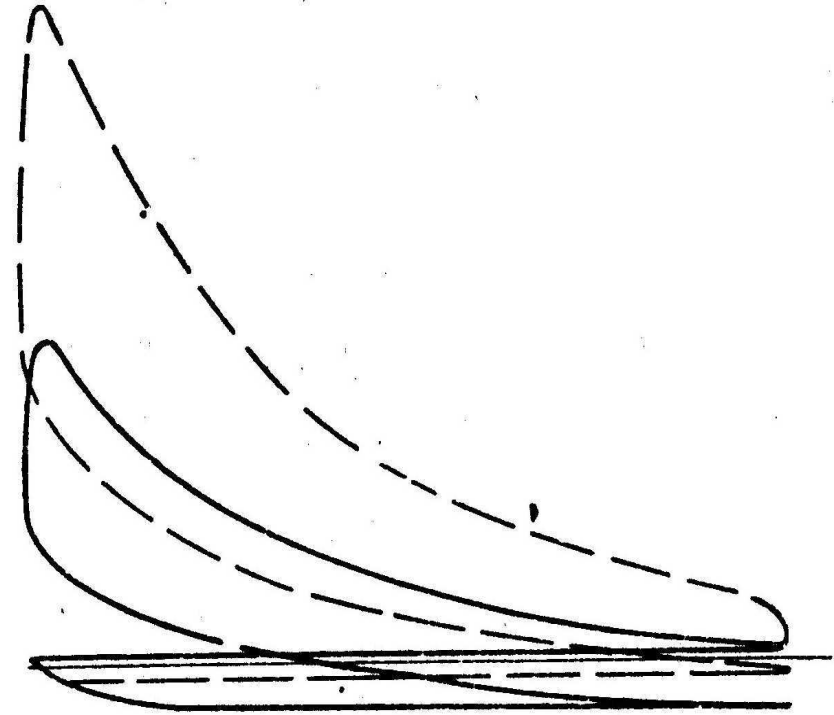
Reálný oběh Dieselův cyklus



6-9. Přibližný průběh tlaků a teplot v pracovním oběhu čtyřdobého motoru se smíšeným spalováním.

ztráty (třením) v motoru

- mechanické ztráty
- práce potřebná k výměně náplně
- podtlak potřebný k nasátí náplně.
- v směsi při sání 20-30 m/s
- přetlak při výfuku
- v splodin 30-50 m/s



18-6. Změna indikátorového diagramu při regulaci množství náplně válce.

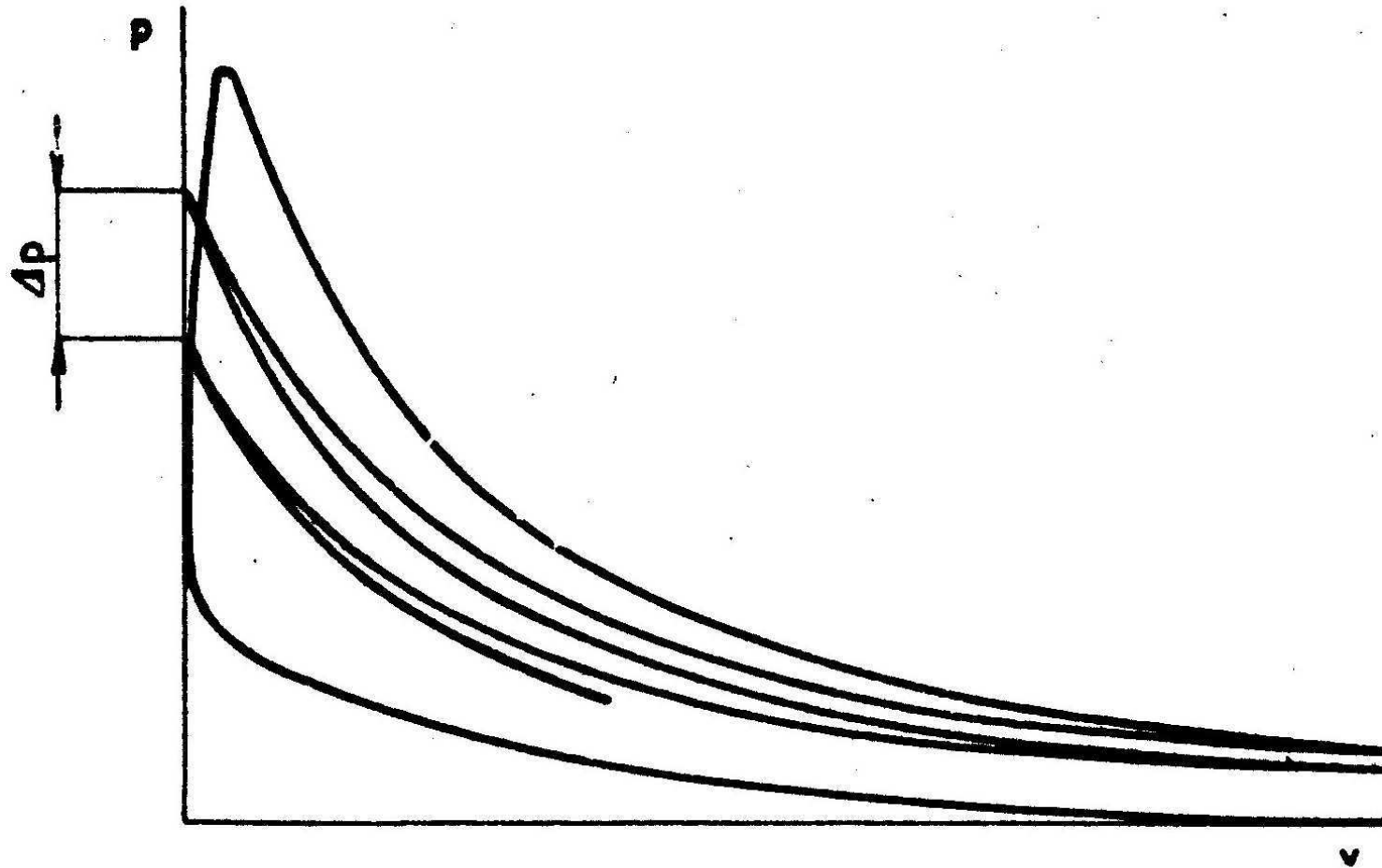
ztráty třením v motoru

ztrátový podíl%	motor benzínový	naftový
píst s kroužky	50-65	60-70
ložiska	6-10	8-15
rozvod	5-8	6-10
pomocná zařízení	6-12	5-10
plnění	12-25	10-20

ztráty třením

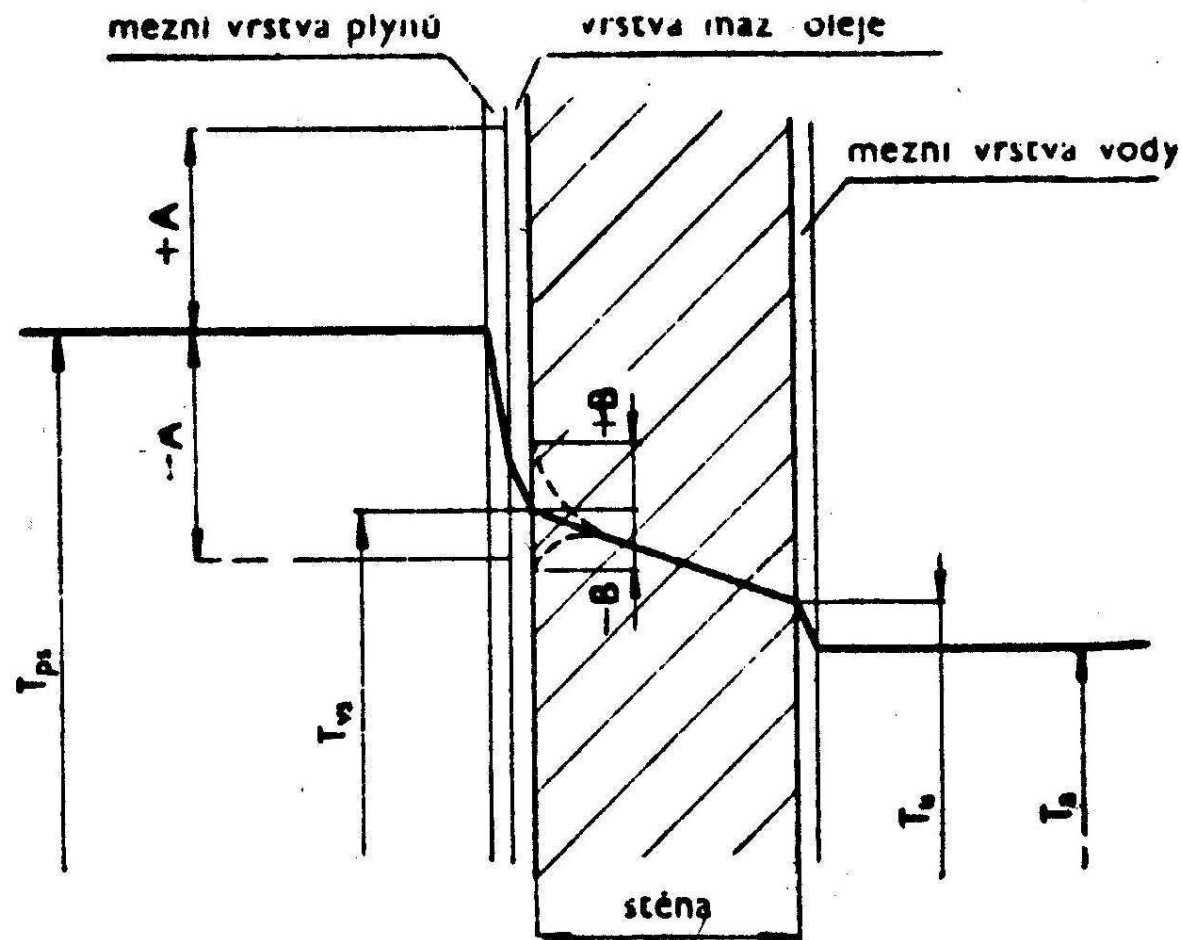
- střední úhrnný odpor přepočítaný na tlak ve válci $(1-2,5) 10^5 \text{ Pa}$

ztráty přestupem tepla



8-1. Clerkův diagram pro vyšetření tepelných ztrát při expanzním zdvihu.

ztráty přestupem tepla



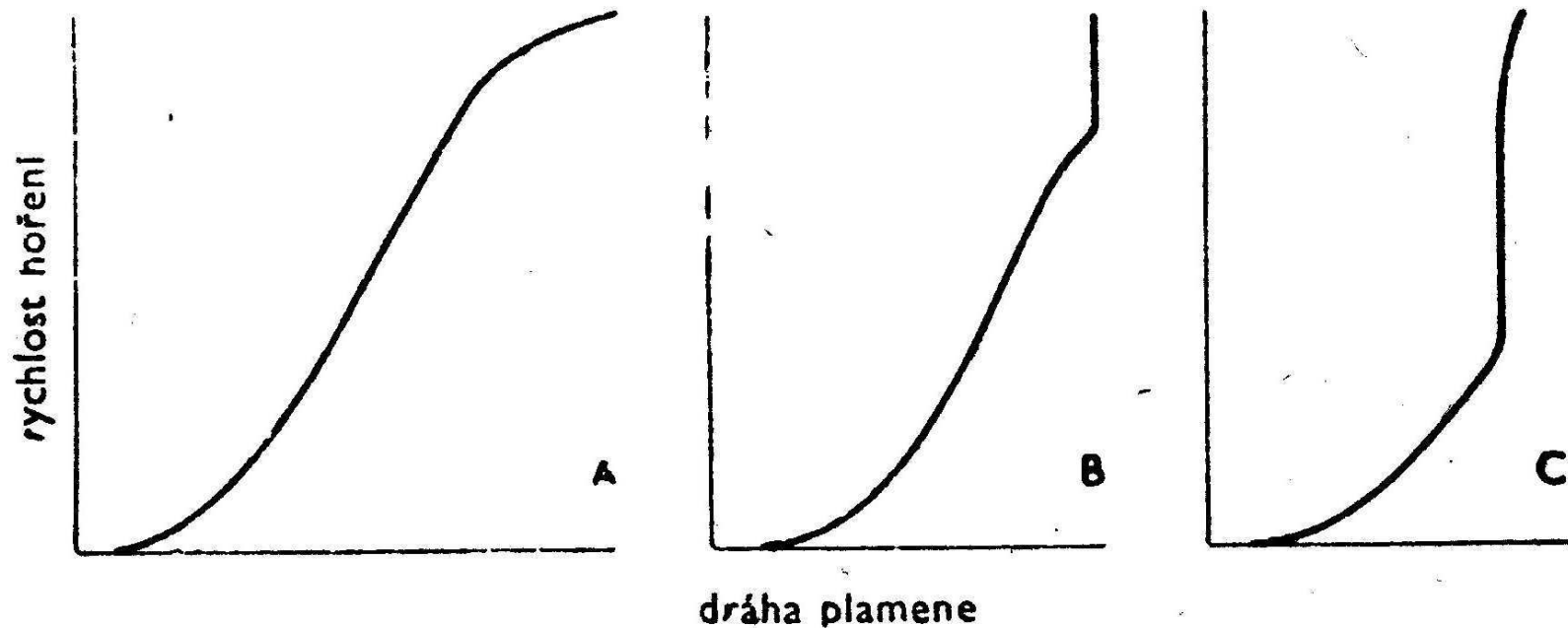
8-6. Schéma průběhu teploty při průchodu tepla stěnou.

výhřevnost-spalné teplo

- výhřevnost \approx spalné teplo – $2.27 \cdot 10^6$ (m H₂ O) J

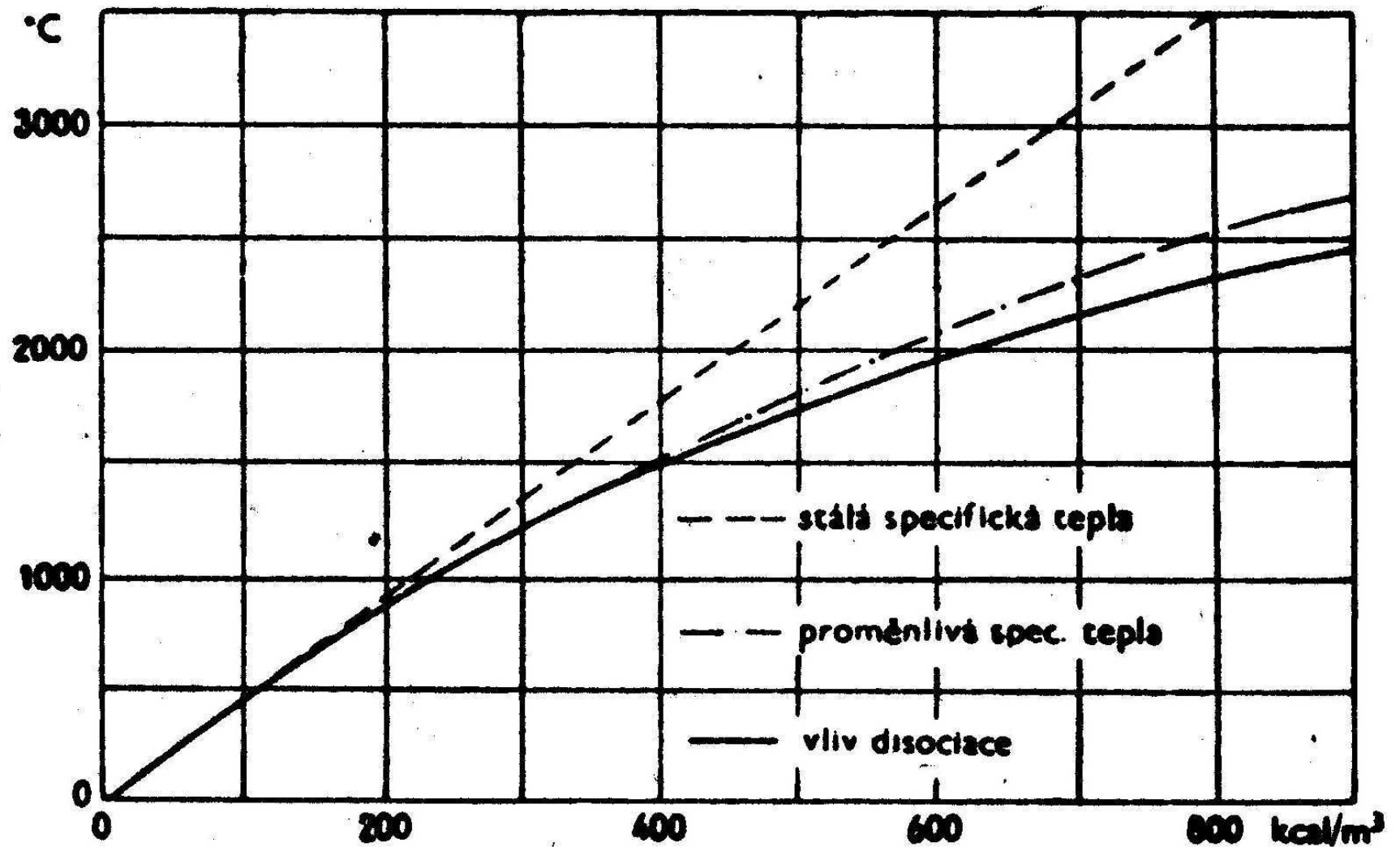
	<i>Výhřevnost m³ směsi MJ</i>	<i>hustota</i>	<i>Spalné teplo MJ/kg</i>	<i>výhřevnost</i>	<i>Teoretická spotřeba vzduchu m³ kg⁻¹</i>
<i>benzín</i>	3,43	0,72	46,9	43,5	12,7
<i>metan</i>					
<i>Motorová nafta</i>	3,43	0,84	43,4	41,8	12,16
<i>Etylalkohol 96%</i>	3,43	0,81	28,2	25,2	7,35
<i>etylalkohol</i>	3,45	0,794	29,7	26,7	7,7

Normální a detonační hoření

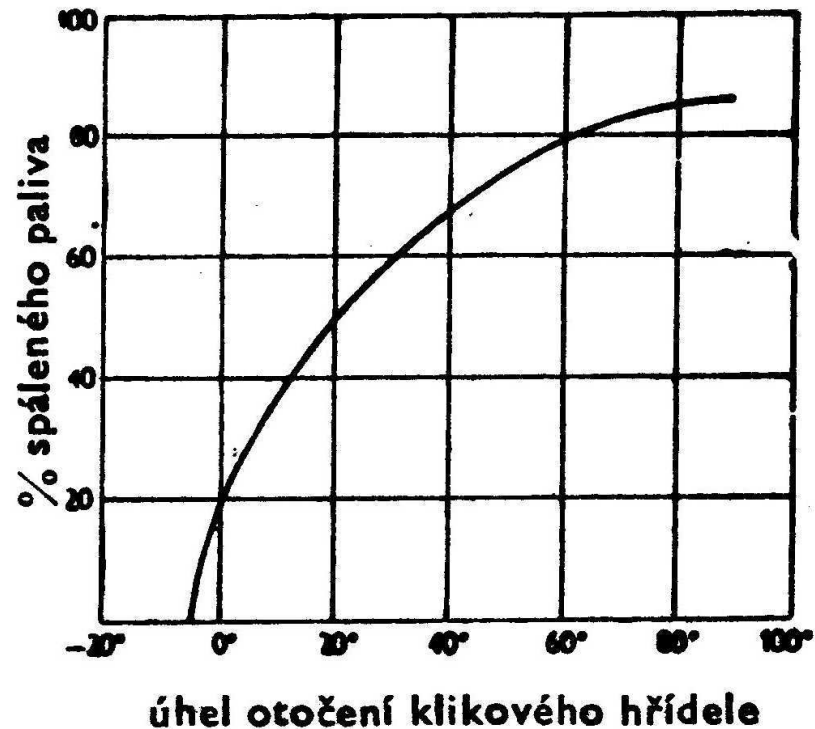


10-15. Průběh normálního *A* a detonačního spalování *B C* v motoru.

Ohřev směsi

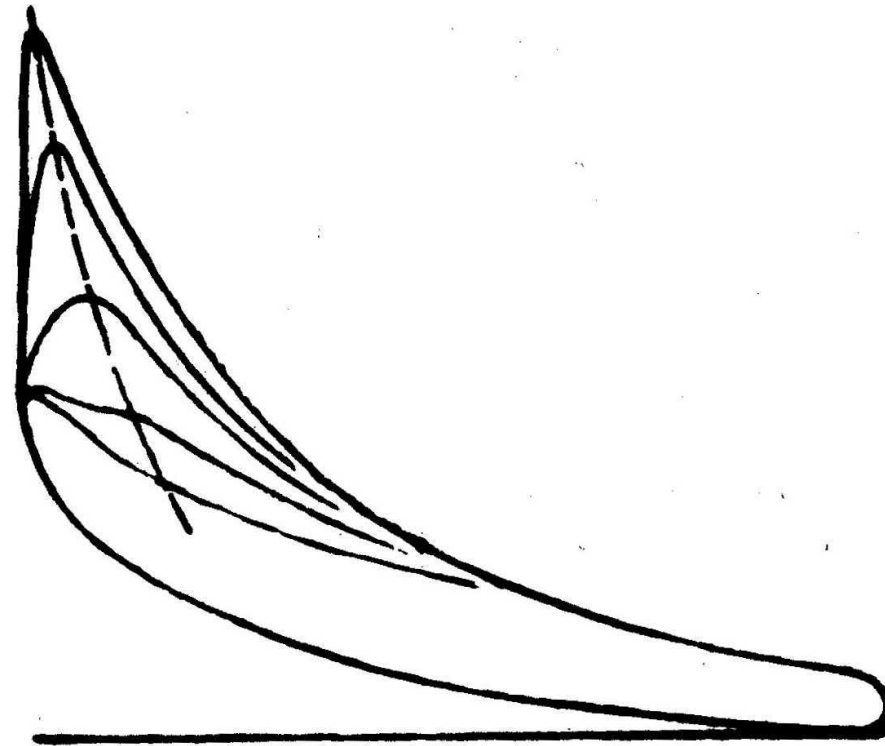


Průběh spalování paliva u naftového motoru v závislosti na časování



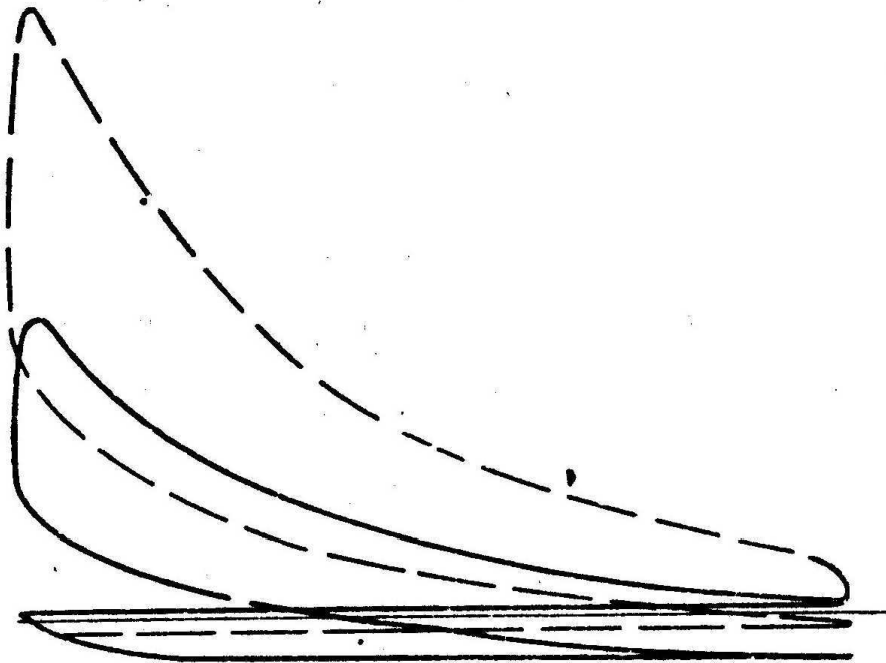
6-6. Průběh spalování vstřikova-
ného paliva u naftového motoru
při 1200 ot/min v závislosti na
nootočení klikového hřídele ve

Regulace výkonu



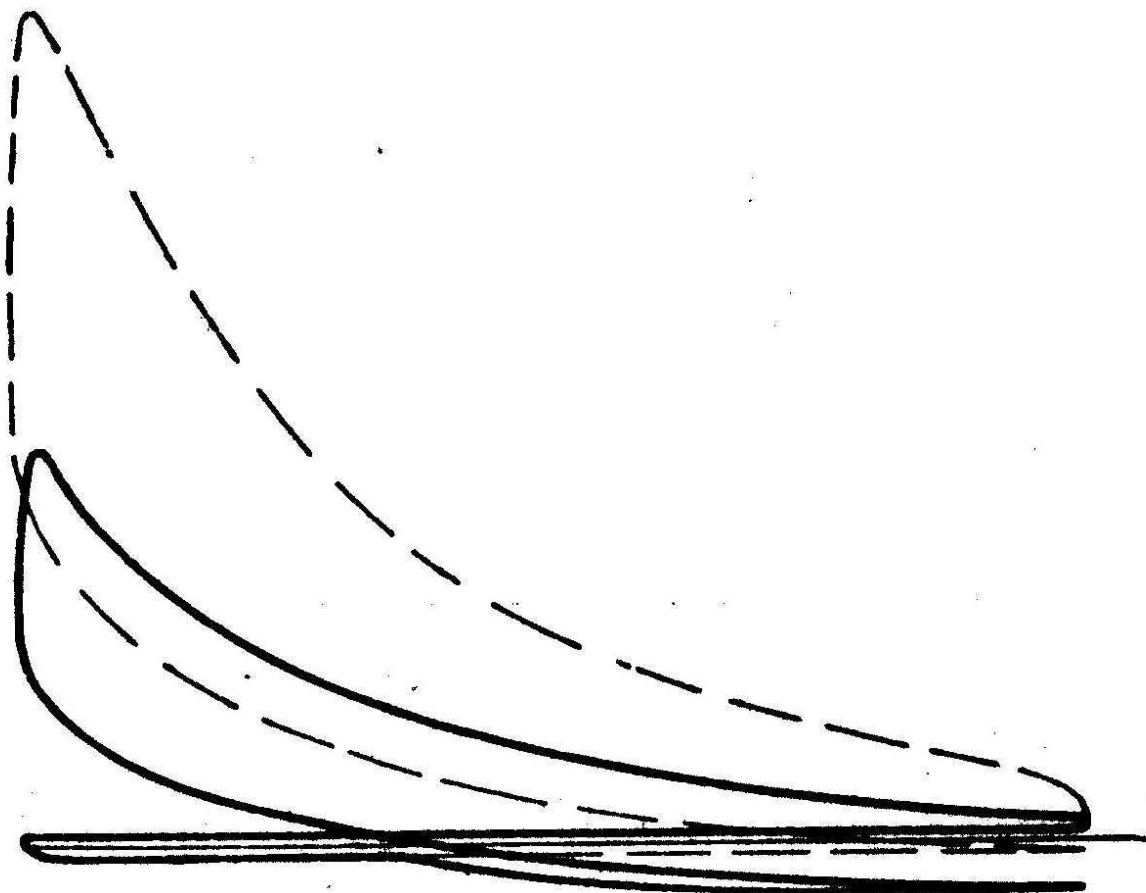
18-3. Změna indikátorového diagramu při regulaci jakosti náplně válce.

Regulace výkonu



18-6. Změna indikátorového diagramu při regulaci množství náplně válce.

regulace výkonu



18-11. Indikátorový diagram čtyřdobého motoru s proměnlivou dobou otevření nasávacího ventilu.