



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Škola	<b>Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola, Hrabákova 271, Příbram</b>
Číslo projektu	<b>CZ.1.07/1.5.00/34.0556</b>
Číslo a název šablony klíčové aktivity	<b>III/2 = Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT</b>
Tematická oblast	<b><i>Zisk a zpracování signálu</i></b>
Téma	<b>Tepelné akční členy</b>
Anotace	<b>Aplikace cesty signálu na akční straně, obrázky principů, zajímavosti a aplikace</b>
Autor	<b>Ing. Rudolf Klusal</b>
Den vytvoření	<b>20.10.2013</b>
Den ověření	<b>5.6.2014</b>
Označení materiálu	<b>VY_32_INOVACE_KS_ELT_16</b>

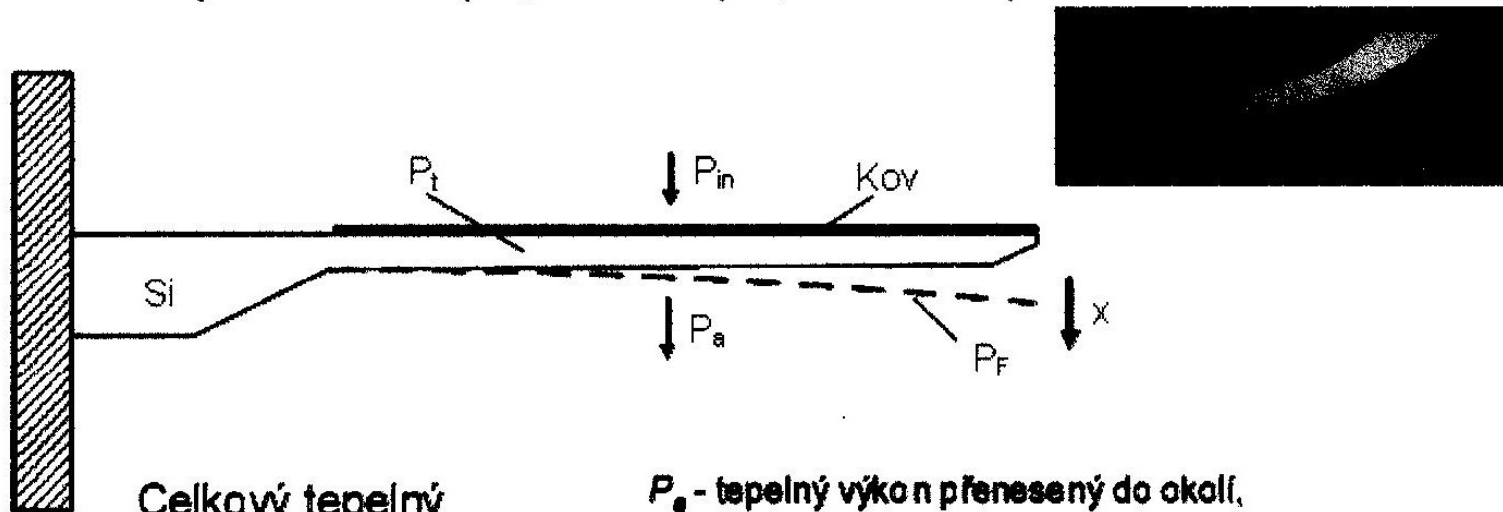
# **TEPELNÉ AKČNÍ ČLENY**

# Typy tepelných aktuátorů

- využívající tepelnou roztažnost pevných látek
- s tvarovou pamětí
- využívající tepelnou roztažnost plynných a kapalných látek
- mikromotory

# Princip činnosti - Bimetallová struktura

- Jednoduchá bimetallová struktura - kovová vrstva na ohebném Si nosníku
- Působení tepla - změna délky kovového proužku, nosník se ohýbá
- Ohřev - elektrickým nebo optickým signálem
- Rozměry - délka 600  $\mu\text{m}$ , šířka 50  $\mu\text{m}$ , tloušťka 5  $\mu\text{m}$ .



Celkový tepelný  
příkon mikroaktuátoru:

$$P_{in} = P_F + P_t + P_a$$

$P_a$  - tepelný výkon přenesený do okolí,

$P_F$  - tepelný výkon přeměněný v mechanickou práci  
(akční síla)

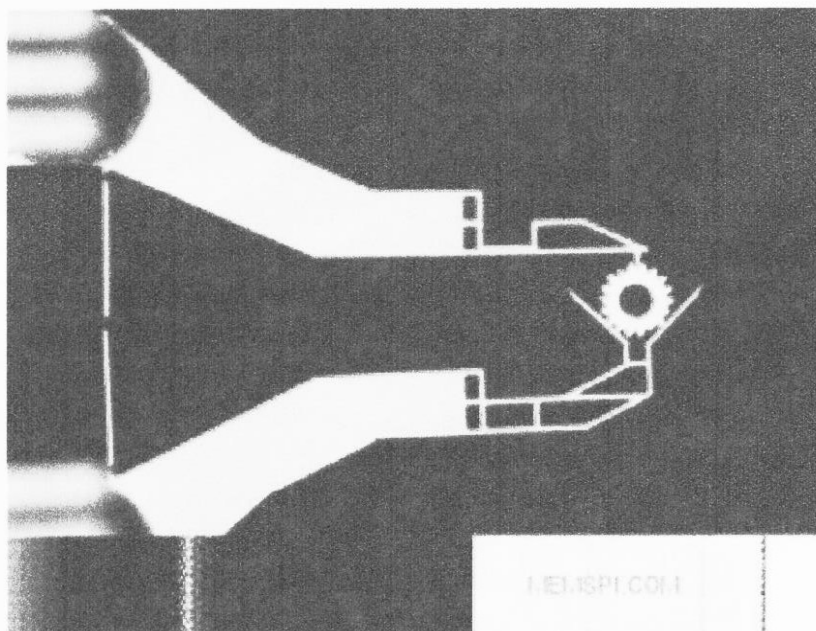
$P_t$  - ztrátový tepelný výkon, který zůstává  
ve struktuře (způsobuje zvyšování teploty s časem)

# Tepelné aktuátory s roztažností pevných látek

## Micro Tweezer Tips Holding Gear

Power reduced: Tweezer gripping an object.

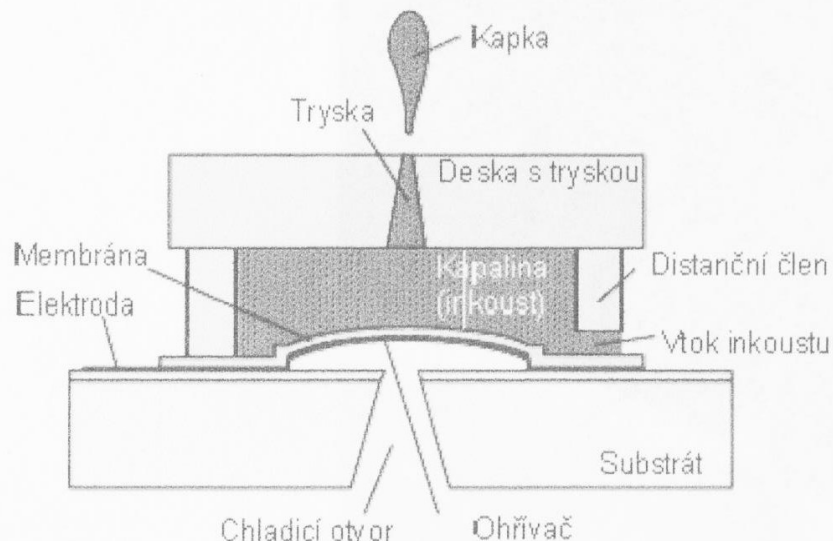
The object is a nickel gear 100 micron OD, and 100 microns tall (gear provided by Sandia National Labs, Albuquerque)



## Tepelné aktuátory s roztažností pevných látek

Tisková hlava ink-jet s tepelnou deformací membrány

- Přímou ohřívání kruhová membrána z vrstev  $\text{SiO}_2$  a Ni
- Ve středu ohřívací rezistor elektricky izolovaný od membrány
- Když vytvořené mechanické napětí v materiálu membrány je větší než kritické, membrána se prohne směrem nahoru a impulsně vytlačí malé množství inkoustu do trysky
- Proud má impulsní charakter, proto je průhyb membrány také impulsní s dobou několika  $\mu\text{s}$



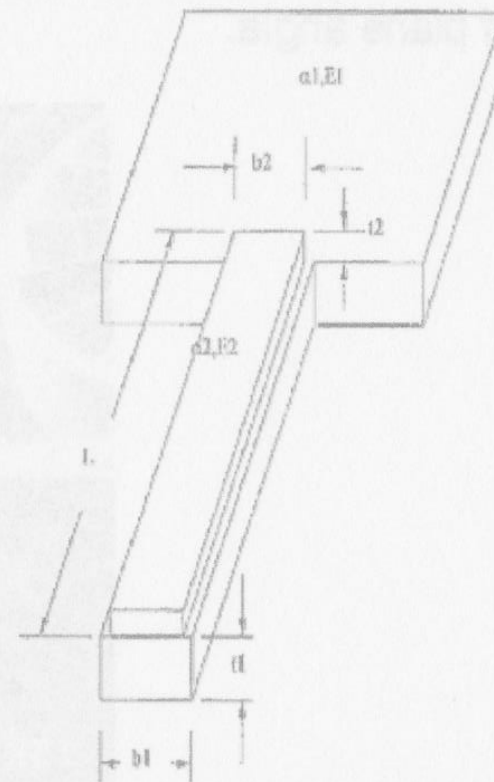
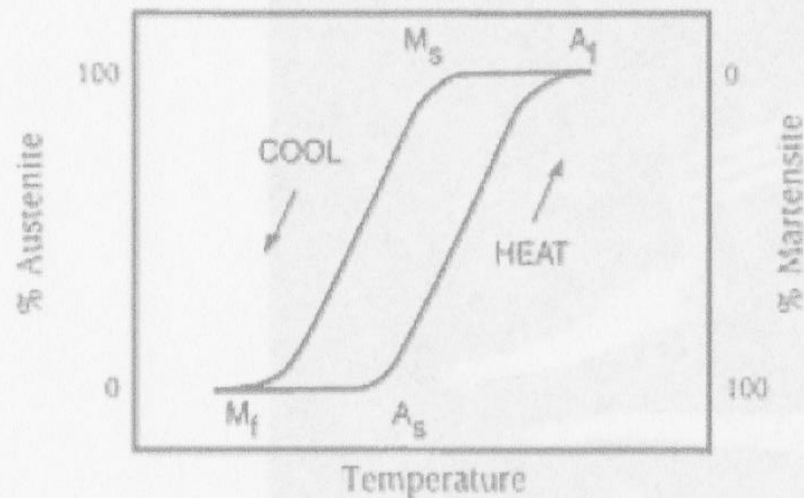
Poznámka - při průměru membrány  $300 \mu\text{m}$  je rychlost vystřelené kapky  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se spotřebou  $0,1 \text{ mJ}$ . Typická pracovní frekvence vystřelování kapek inkoustu (membrány) je  $1,8 \text{ kHz}$  až  $5 \text{ kHz}$

## Tepelné aktuátory s tvarovou pamětí

Tvarová paměť - schopnost materiálu obnovit původní tvar před deformací

Typické materiály - slitiny některých kovů, vlastnosti se mění s teplotou

Přímá a zpětná transformace nastává při rozdílných teplotách, důsledkem je teplotní hystereze.



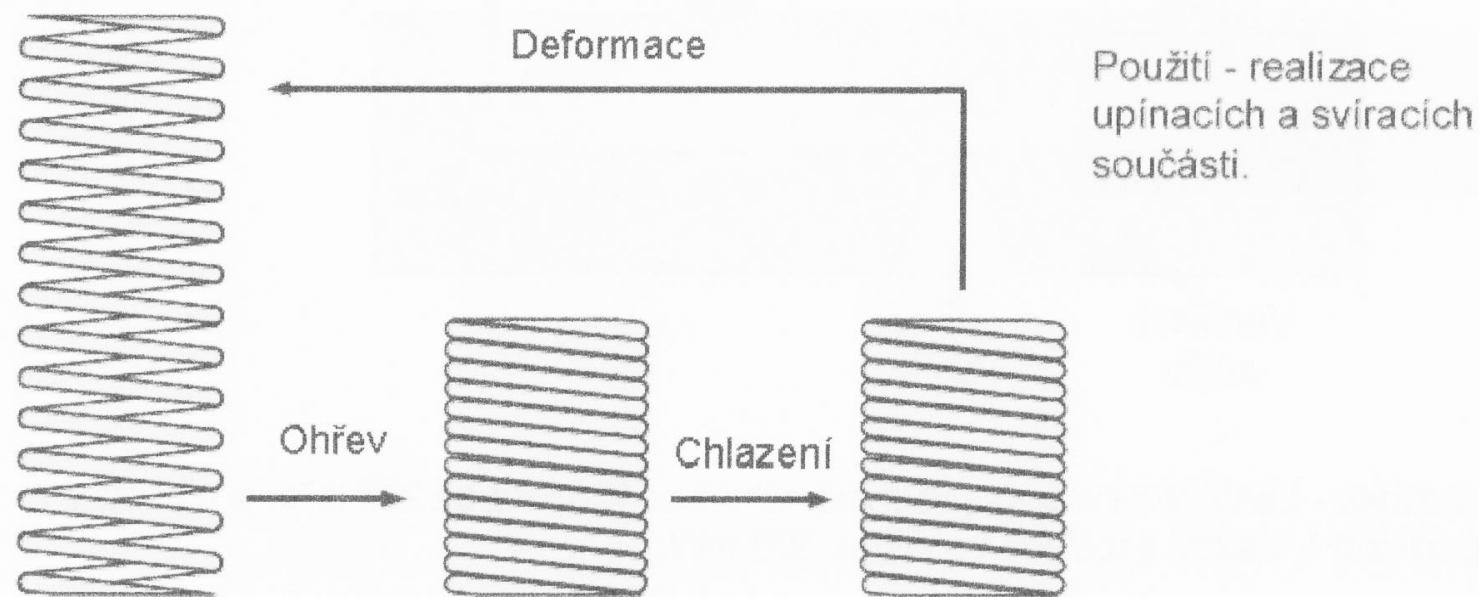
# Tepelné aktuátory s tvarovou pamětí

Jednocestný efekt

Stlačení pružiny ve stavu martenzitickém (studeném) - pružina zůstane ve stlačeném stavu, i když přestane působit stlačovací síla.

Po zahřátí nad austenitickou teplotu – obnova na původní tvar pružiny

Charakteristickou vlastností jednocestného efektu je obnova tvaru pouze při zahřívání, změna tvaru nenastane při ochlazení (změna tvaru proto stlačením externí silou).



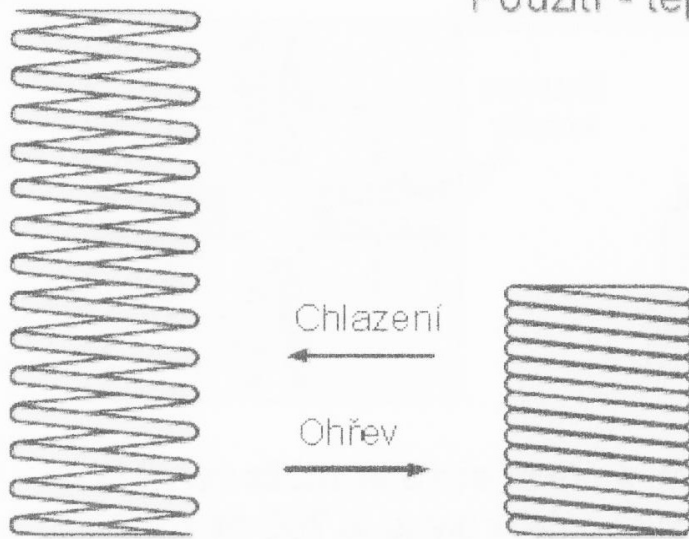
# Tepelné aktuátory s tvarovou pamětí

## *Dvoucestný efekt*

Paměťový element si pamatuje tvar při nízké i vysoké teplotě, a tvar se mění v závislosti na teplotě

Element vyvíjí relativně malou sílu při přechodu z jednoho tvaru do druhého.

Použití - teplotně aktivovaných aktuátorech



# Pevné látky

- vícevrstvová nosníková struktura
- mikrozrcátka CMOS
- homogenní nosníkový mikroaktuátor
- tepelně řízený mikroventil
- tisková hlava Ink-jet s tepelnou deformací membrány

# Plyny a kapaliny

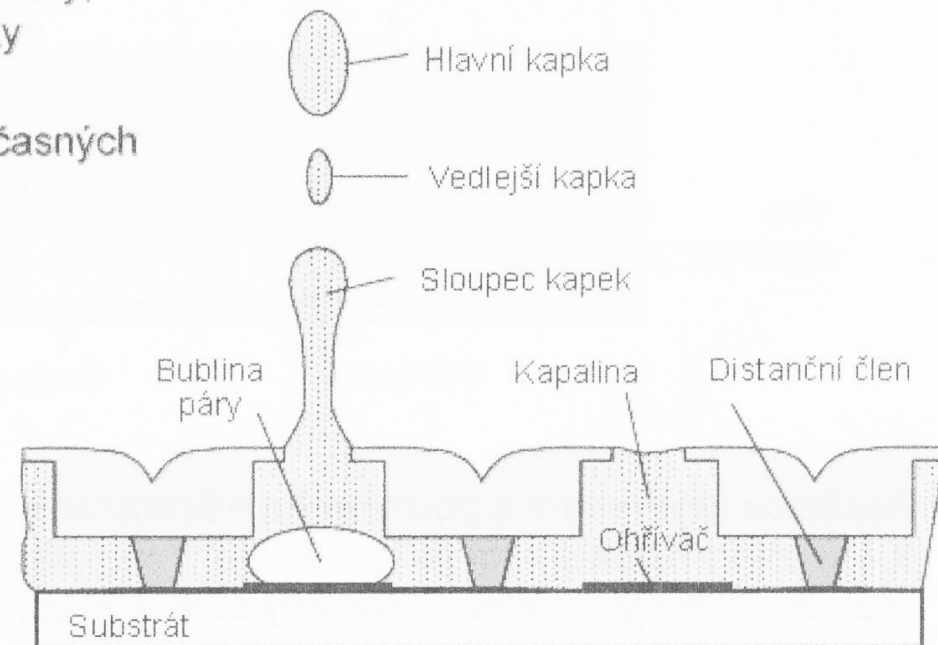
- řízený světelným zářením
- řízené mikroventily a pumpy
- tisková hlava Ink-jet

# Tepelné aktuátory s roztažností plynů a kapalin

## Tepelně řízená tisková hlava ink-jet

- Princip činnosti komerčně vyráběných tiskových hlav pracujících na principu expanze látky při fázové přeměně z kapalné do plynné fáze (firmy HP a Canon)
- Krátké napěťové impulsy o délce jednotek  $\mu\text{s}$  způsobují na ohřivači uvnitř komory s inkoustem vytváření bublinek páry
- Bublinka vytváří tlak uvnitř komory, který způsobí vystříknutí kapky inkoustu z trysky
- Tyto hlavy se používají v současných tiskárnách.

Rychlost kapky se pohybuje mezi 10 a 15 m/s, hmotnost 110 ng při rozlišení 300 dpi. Dosahované rozlišení je 1016 dpi, typická pracovní frekvence je řádově jednotky kHz při spotřebě 0,04 mJ.



# Motory

- Stirlingův
- Spalovací mikroturbína
- Raketové mikromotory

# Tepelné aktuátory - Tepelné mikromotory

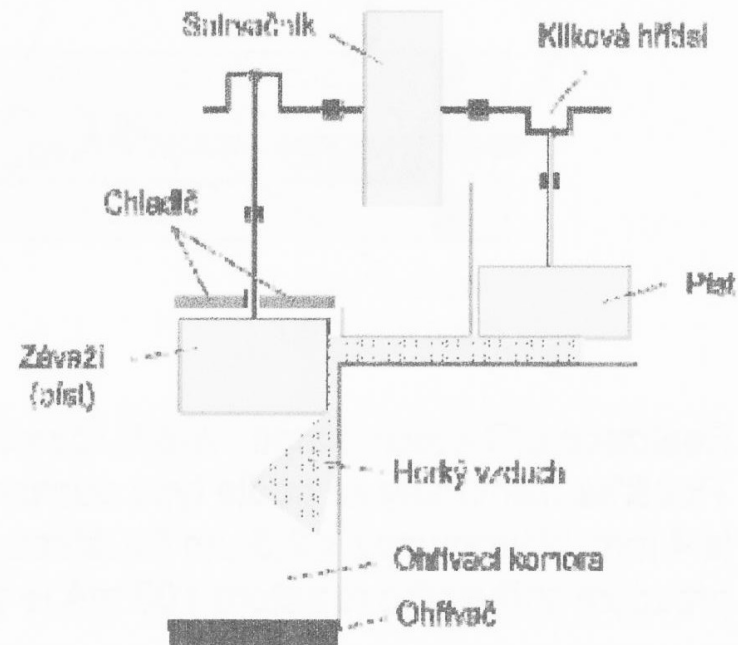
## Stirlingův mikromotor

- Ze všech reálných strojů je Stirlingův motor funkčně nejbližší Carnotovu cyklu
- Rozdělovací ventil - řídí ohřívání nebo ochlazování plynu v hlavním válci
- **Horní poloha rozdělovacího ventilu** - ohřivač předává plynu teplo, ten se rozpíná a píst se pohybuje vzhůru. Píst otáčí přes klikovou hřídel setrvačником a přesouvá rozdělovací píst do opačné (spodní) polohy.
- **Dolní poloha** - umožňuje odvod tepla plynu do chladiče, plyn se smršťuje, píst jde dolů cyklus se opakuje.

Výhoda - relativně nízká pracovní teplota (nedochází k hoření)

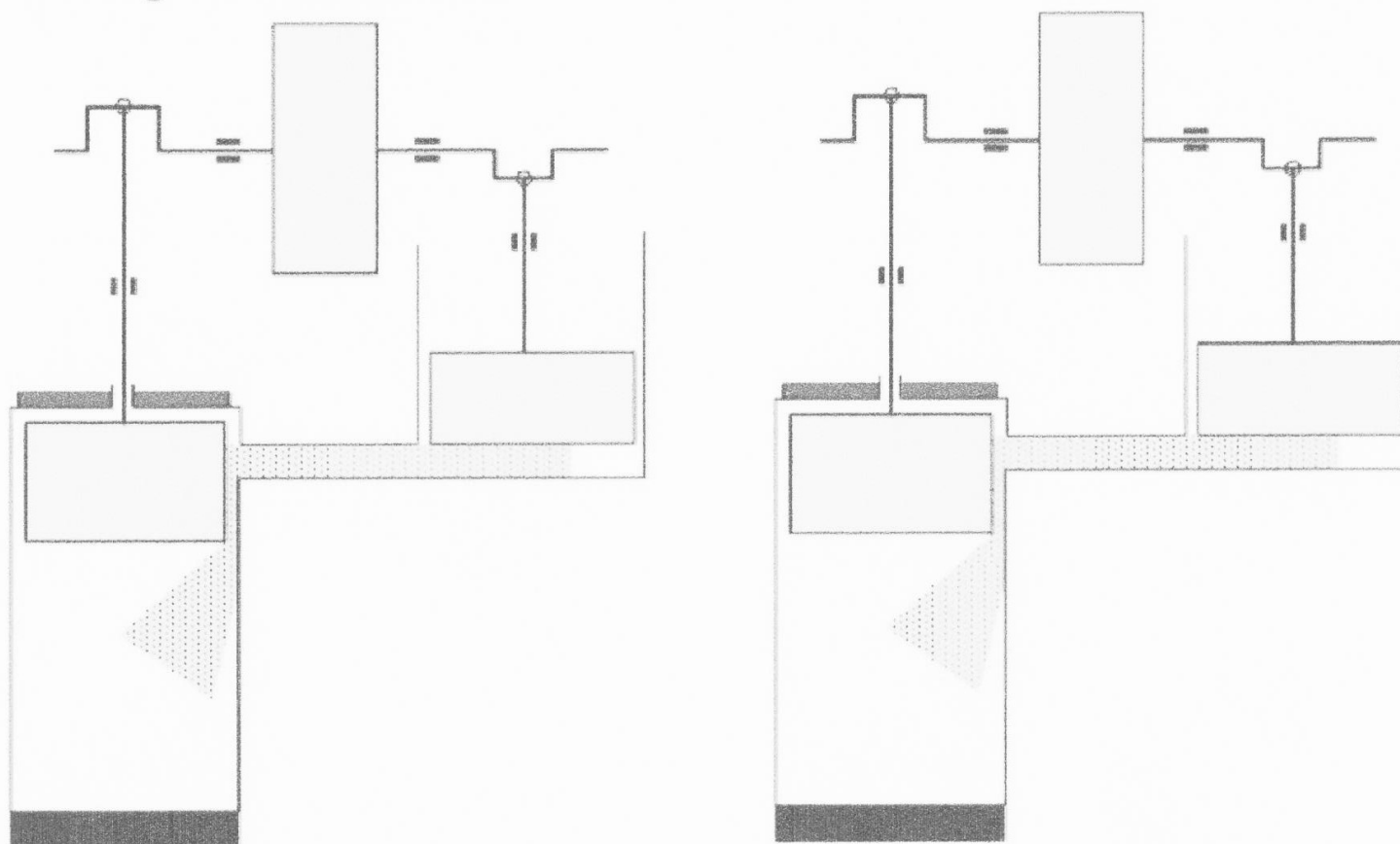
Nevýhoda – malé výkony v porovnání se spalovacími motory

Motor s malým rozdílem teploty  
chladiče  $T_c = 273 \text{ K}$  a  $T_h = 373 \text{ K}$  o  
výkonu  $P_w = 20 \text{ mW}$  a otáčkami  $10 \text{ s}^{-1}$   
pracuje s objemem motoru  $0,11 \text{ cm}^3$



# Tepelné mikroaktuátory

## Stirlingův mikromotor



# Tepelné aktuátory s roztažností plynů a kapalin

## Spalovací mikroturbína

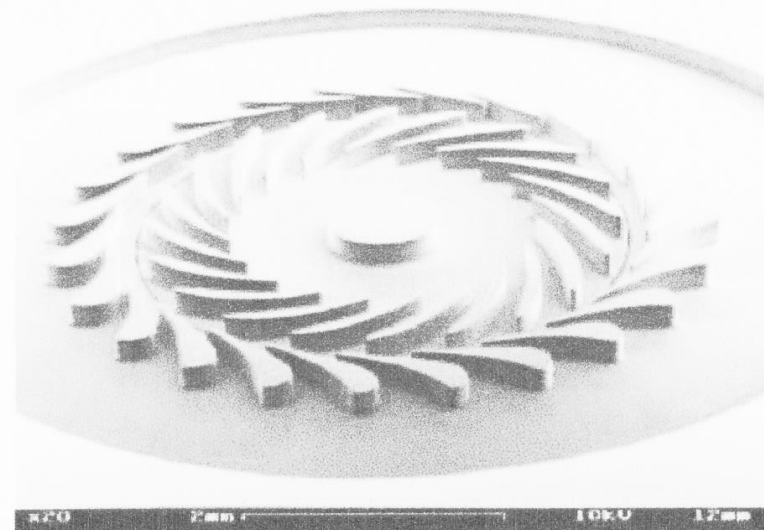
Turbína využívá výfuku zplodin ve spalovací komoře spáleného paliva k převodu jejich přímého pohybu přes lopatky rotoru na pohyb otáčivý

Rotor je v horní části opatřen lopatkami kompresoru, v dolní lopatkami vlastní turbíny. Při jeho otáčení je kompresorem v horní části čerpán vzduch přes difuzor do směšovací komory, kde je vstřikováním paliva vytvářena hořlavá směs. Ta dále pokračuje přes zapalovač do spalovací komory, kde dojde k jejímu prohoření.

Hořením směs prudce expanduje a její zplodiny pokračují přes trysky na lopatky rotoru turbíny. Na vhodně skloněných lopatkách předají zplodiny svou energii rotoru.

Poměr síla/hmotnost až  $100 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ . (5krát až 10krát vyšší než u nejlepších leteckých spalovacích turbín)

Teplota statoru 1300 K až 1700 K a rotoru 600 K. Stator z Si, rotor z SiC. Výkon 10 W až 100 W, výška 3 mm a vnější průměr 12 mm, hmotnost od 1 g, otáčky  $2,4 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$  s palivem  $\text{H}_2$ . Maximální síla je 0,125 N, spotřeba je 7 g za hodinu.



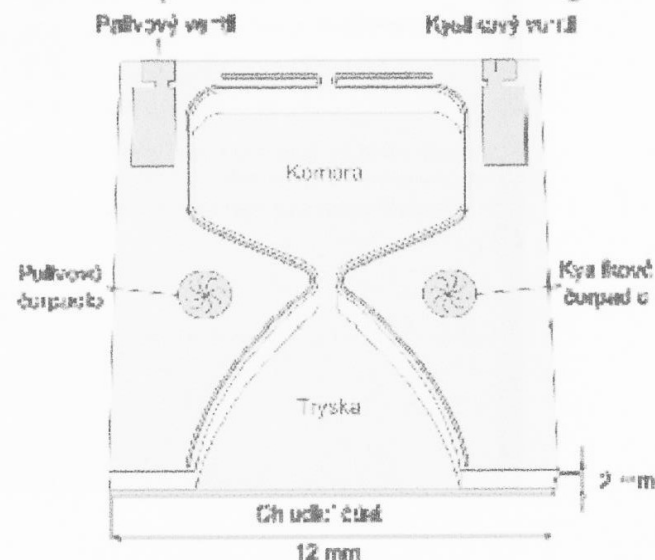
# Tepelné aktuátory s roztažnosti plynů a kapalin

## Raketové mikromotory

- Dvě samostatná čerpadla čerpají palivo a kapalný kyslík přes regulační ventily do spalovací komory, kde tvoří hořlavou směs.
- Hořící směs expanduje přes výstupní trysku směrem ven, vytváří se síla působící proti směru proudění zplodin.
- Spalovací komora a výstupní tryska je chlazena chladicí kapalinou proudící meziprostorem za hranicí komor.
- Pro realizaci se využívá podobně jako u mikroturbin planární mikrotechnologie na bázi Si.

Raketové mikromotory dosahují bezkonkurenčně největšího měrného tahu (poměr síla/hmotnost). Běžně se dosahuje hodnoty  $1500 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ , což je hodnota 10 krát až 100 krát vyšší než u velkých raketových motorů.

Raketový mikromotor o šířce 12 mm vyvinutém v MIT. Institut ve spolupráci s NASA vyvíjí motor, který by dosáhl měrného tahu až  $10000 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ .



- **A jaký typ motoru ještě znáte???**

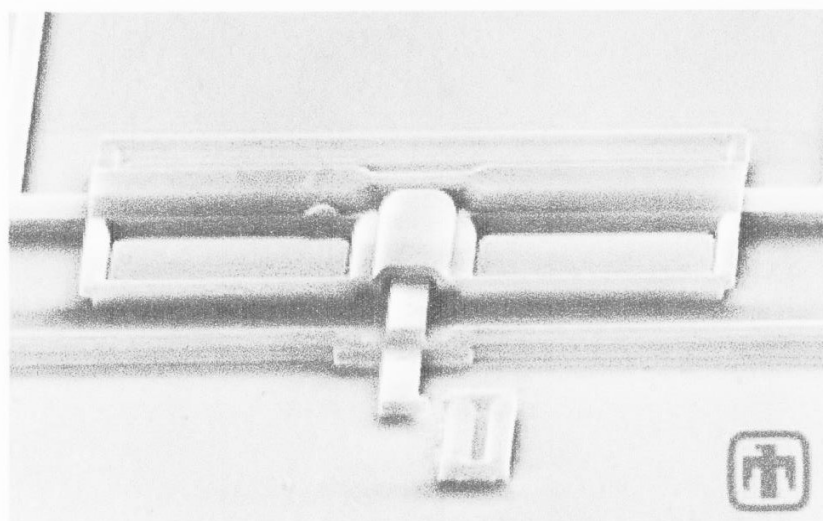
- ... což takhle parní...???:-)

# Tepelné aktuátory s roztažností plynů a kapalin

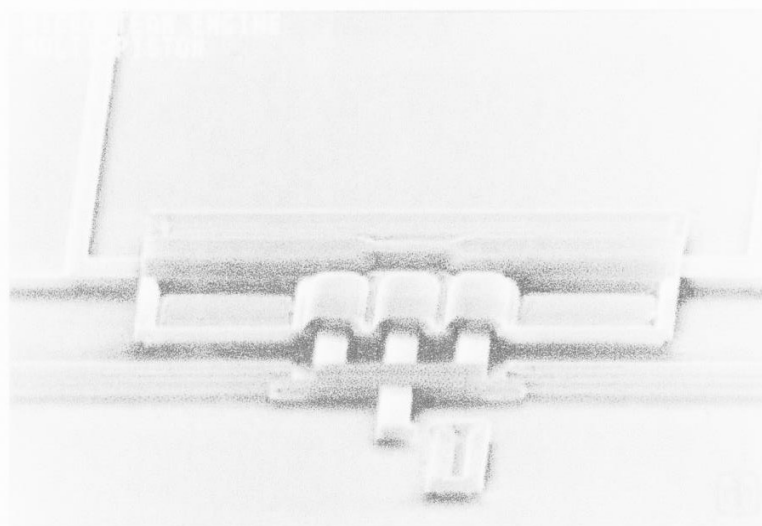
## Mikro-parní stroj

Voda je ohřívána uvnitř tlakových válců elektrickým proudem. Vytvořená pára tlačí píst ven. Po přerušení proudu kapilární síly tlačí píst zpět.

Jednoválcový



Tříválcový



# Seznam použité literatury:

- [1] Kolektiv autorů. Automatizace a automatizační technika 3, Prostředky automatizační techniky. Praha: Computer Press, 2000, 253 s. ISBN 80-7226-248-3.
  
- [2] HUSÁK, Miroslav. Mikrosenzory a mikroaktuátory. Praha: Academia, 2008, 544 s. ISBN 978-80-200-1478-8 (váz).