



ČESKÁ REPUBLIKA  
ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

# PATENTOVÁ LISTINA

A stylized, handwritten signature in black ink, reading "J. Kratochvíl".

Josef Kratochvíl  
předseda  
Úřadu průmyslového vlastnictví

Úřad průmyslového vlastnictví

udělil podle § 34 odst. 3 zákona č. 527/1990 Sb., v platném znění,

**PATENT**

číslo

**309254**

na vynález uvedený v příloženém popisu.

V Praze dne: 24.06.2022

Za správnost:

Barbora Kronková  
oddělení rejstříků

F03G 7/06 (2006.01)

F16F 1/10 (2006.01)

F16F 1/12 (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKAÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2021-26  
(22) Přihlášeno: 25.01.2021  
(40) Zveřejněno: 22.06.2022  
(Věstník č. 25/2022)  
(47) Uděleno: 11.05.2022  
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 22.06.2022  
(Věstník č. 25/2022)

(56) Relevantní dokumenty:  
(Jung G.-Y., Choi S.-B., Kim G.-W.: Design of two-stage actuator using shape memory alloy wires with different transformation temperatures; ACTUATOR 2018 - 16th International Conference and Exhibition on New Actuators and Drive Systems, Conference Proceedings; ISBN: 9783800746750; 9783800746750; <https://ieeexplore.ieee.org/document/8470866>) 24.09.2018.  
JP S61171885 A; WO 03018853 A2; US 6326707 B1; US 5396769 A; JP S60166766 A; CS 195121 B1.

(73) Majitel patentu:  
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6,  
Dejvice, CZ

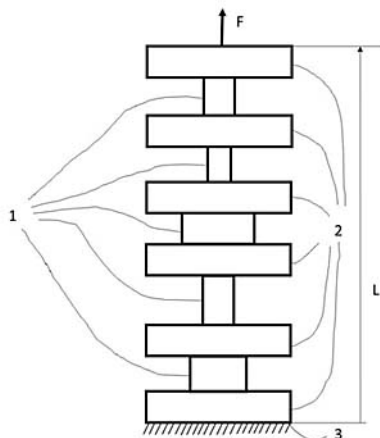
(72) Původce:  
prof. Ing. Michal Valášek, DrSc., Praha 4,  
Komořany, CZ

(74) Zástupce:  
Ing. Karel Novotný, Žufanova 1099/2, 163 00  
Praha 6

(54) Název vynálezu:

**Teplotní aktuátor**

(57) Anotace:  
Teplotní aktuátor, obsahující pohyblivé prvky tvořené kovy s tvarovou pamětí (SMA), spočívá v tom, že je tvořen soustavou alespoň tří za sebou uspořádaných SMA prvků (1) s kladným a/nebo záporným posuvem a oddělených od sebe spojovacími prvky (2), aktivovaných alespoň třemi různými transformačními teplotami.



## Teplotní aktuátor

### Oblast techniky

5

Vynález se týká teplotního aktuátoru, obsahujícího pohyblivé prvky s tvarovou pamětí.

### Dosavadní stav techniky

10

Pohon teplotního aktuátoru pomocí kovů, resp. slitin s tvarovou pamětí (Shape Memory Alloy – SMA) je velmi výhodný svojí velikostí a kompaktností a energetickými nároky, neboť energii čerpá z tepla okolí vedoucího ke změně teploty. Jeho uplatnění je široké v mnoha různých oblastech. Velkým problémem ale je, že aktuátor má právě dvě polohy, mezi kterými se přepíná po dosažení transformační (prahové, přechodové) teploty. Je to tedy pouze dvoustavový aktuátor. Byly sice vytvořeny spojitě aktuátory pracující v intervalu transformační teploty kovu s tvarovou pamětí za použití elektrického ohřevu a zpětnovazebního řízení, ale rozsah teplot jejich působení je omezen na okolí jedné transformační teploty a vyžadují řízený zdroj tepelné energie, tedy nemohou užít jen tepla z okolí. Užití SMA prvků je známo z článku „Design of two-stage actuator using shape memory alloy wires with different transformation temperatures“ s použitím pouze dvou SMA prvků, jak je patrné rovněž u spisu JP S61171885 A.

15

20

Cílem tohoto vynálezu je aktuátor, který předepsanou spojitou závislost výchylky a síly v závislosti na teplotě aproximuje potřebným počtem diskretních stavů, ve kterých dochází k přepnutí z jednoho stavu (polohy) do jiného.

25

### Podstata vynálezu

Podstata teplotního aktuátoru obsahujícího pohyblivé prvky s tvarovou pamětí podle tohoto vynálezu spočívá v tom, že je tvořen soustavou alespoň tří za sebou uspořádaných SMA prvků s kladným a/nebo záporným posuvem a oddělených od sebe spojovacími prvky, aktivovaných alespoň třemi různými transformačními teplotami. SMA prvky jsou tvořeny tyčovitými a/nebo ohybovými prvky a /nebo spirálovými prvky. Mezi koncovými částmi spojovacího prvku je uspořádán SMA prvek a doplňková pružina. Mezi SMA prvek a doplňkovou pružinu zasahuje koncová část sousedního spojovacího prvku.

35

Spirálový prvek tvoří SMA pružinu uloženou v rámu a oddělenou od doplňkové pružiny oddělovacím prvkem, přičemž SMA pružinou a doplňkovou pružinou prochází posuvný prvek.

40

Spirálový prvek je případně tvořen alespoň dvěma SMA pružinami uloženými v rámu, mezi nimiž je uspořádána doplňková pružina oddělená od SMA pružin oddělovacími prvky, přičemž SMA pružinami a doplňkovou pružinou prochází posuvný prvek.

Soustava SMA prvků je spojena tažným prvkem s rotačním prvkem nebo tvoří SMA pružinu uloženou v rámu a spojenou s rotačním prvkem, který prochází SMA pružinou.

45

Spirálový, resp. pružinový prvek tvoří SMA pružinu uloženou v rámu a oddělenou od doplňkové pružiny oddělovacím prvkem, přičemž SMA pružinou a doplňkovou pružinou prochází posuvný prvek nebo spirálový (pružinový) prvek tvoří alespoň dvě SMA pružiny uložené v rámu, mezi nimiž je uspořádána doplňková pružina oddělená od SMA pružin oddělovacími prvky, přičemž SMA pružinami a doplňkovou pružinou prochází posuvný prvek. Soustava SMA prvků je případně spojena tažným prvkem s rotačním prvkem nebo tvoří SMA pružinu uloženou v rámu a spojenou s rotačním prvkem, který prochází SMA pružinou. Soustava SMA prvků tvoří případně ohybový aktuátor uspořádaný v dutině poddajného nosníku a je případně uspořádána v nebo na

50

55

poddajném tělese. Jednotlivé SMA prvky jsou případně obepnuty elektrickým odporovým drátem propojeným se zdrojem elektrického napětí propojeným s počítačem.

- 5 Výhodou teplotního aktuátoru podle tohoto vynálezu je aproximace požadovaného průběhu výchylky a působící síly aktuátoru v závislosti na teplotě tím, že obsahuje vždy alespoň tři SMA prvky a každý z těchto SMA prvků vyvoluje různý posuv v jednom směru nebo různou rotaci kolem jedné osy rotace případně při různé transformační teplotě.

## 10 Objasnění výkresů

Na přiložených obrázcích jsou schematicky znázorněny diagramy a části teplotního aktuátoru podle tohoto vynálezu, kde:

- 15 obr. 1 znázorňuje diagramy průběhu výchylky a působící síly aktuátoru v závislosti na teplotě;  
 obr. 2 až 5 znázorňují jednotlivá provedení části posuvového aktuátoru;  
 obr. 6 až 8 znázorňují alternativní provedení části posuvového aktuátoru;  
 obr. 9 a 10 znázorňují další alternativní provedení části posuvového aktuátoru;  
 obr. 11 znázorňuje diagramy průběhu výchylky a působící síly alternativního provedení aktuátoru  
 20 v závislosti na teplotě;  
 obr. 12 a 13 znázorňují alternativní provedení části posuvového aktuátoru;  
 obr. 14 a 15 znázorňují provedení rotačních aktuátorů;  
 obr. 16 znázorňuje ohybový aktuátor;  
 obr. 17 znázorňuje provedení prostorového aktuátoru;  
 25 obr. 18 znázorňuje provedení aktuátoru podle obr. 2, jehož teplota je ovládána elektrickým odporovým drátem; a  
 obr. 19 znázorňuje další alternativu posuvového aktuátoru.

## 30 Příklady uskutečnění vynálezu

Na obr. 1 vlevo nahoře je znázorněn požadovaný průběh výchylky a vlevo dole působící síly aktuátoru v závislosti na teplotě. Je to spojitý průběh. Na obr. 1 vpravo nahoře a dole je znázorněna diskretní aproximace tohoto spojitého průběhu.

- 35 Tato aproximace je možná právě tehdy, pokud pro jednotlivé transformační (prahové, přechodové) hodnoty teploty  $t_i$ , kdy dojde k přepnutí z jednoho stavu (tvaru) do jiného (zapamatovaného) stavu (tvaru), existují odpovídající kovy, resp. slitiny s tvarovou pamětí s danou transformační teplotou. Kovů s tvarovou pamětí s různými transformačními teplotami  $t_i$  je velké množství ve velkém  
 40 rozsahu transformačních teplot alespoň od 50 °C do 700 °C. Například NiTi má změnu transformační teploty  $t_i$  o 10 stupňů se změnou o 1 % obsahu Ti. Výsledkem je aproximace křivky z obr. 1 vlevo závislostí na obr. 1 vpravo. Je mnoho SMA s různými transformačními teplotami  $t_i$ .

- 45 Z obr. 1 je zřejmé, že aproximace průběhu závislosti délky a síly na teplotě vyžaduje více intervalů, alespoň tři pro minimální hodnotu, střední hodnotu a maximální hodnotu.

- Na obr. 2 je schematicky znázorněn posuvový aktuátor, který požadovanou aproximaci z obr. 1 uskuteční. To je provedeno tak, že několik SMA prvků 1 tvořených tyčkami z SMA materiálu spojených spojovacími prvky 2 tvoří soustavu o délce L připevněnou k rámu 3 a působící silou F. Každý z těchto SMA prvků 1 má jinou transformační teplotu  $t_i$ , resp. ne všechny tyto SMA prvky 1  
 50 mají stejnou transformační teplotu  $t_i$ . Tato soustava SMA prvků 1 se skládá z jednotlivých částí, z nichž jedna je znázorněna na obr. 3. Tato část je tvořena SMA prvkem 1 představovaným tyčkou o délce  $d_i$ , průřezu  $S_i$  a připojenou k okolí přes spojovací prvky 2.

- 55 Z popisu aproximace na obr. 1 je zřejmé, že je nutné použít alespoň tři SMA prvky 1.

Cílem je dosáhnout aktuátoru, který má předepsaný průběh délky  $\underline{L}$  v závislosti na teplotě  $t$  (obr. 1). Toho lze dosáhnout aktuátorem složeným z posloupnosti tyček z kovů s tvarovou pamětí (obr. 3), které jsou aktivovány (transformovány) při dosažení transformační teploty  $t_i$ . Jedna tyčka má délku  $\underline{d}_i$  a průřez  $\underline{S}_i$  a při transformační teplotě  $t_i$  (vzrůstající) provede změnu své délky o  $\Delta L_i = L_{i+1} - L_i$ . Můžeme říct, že SMA prvek  $\underline{1}$  je aktivován transformační teplotou  $t_i$ . Platí, že

$$\Delta L_i = \tau_i d_i \quad (1)$$

kde  $\tau_i$  je tvarová konstanta, která určuje paměť tvaru vloženou do SMA prvku  $\underline{1}$ . Je zřejmé, že změna rozměru  $\Delta L_i$  SMA prvku  $\underline{1}$  je úměrná jeho délce  $\underline{d}_i$ . Tato změna délky nastane, jen pokud aktuátor nepůsobí nějakou silou. Pokud má působit ještě silou  $F_{i+1}$ , pak jeho deformace musí být větší

$$\Delta L_i + \Delta L_{Fi} = \tau_i d_i \quad (2)$$

o deformaci  $\Delta L_{Fi}$  způsobenou působením síly  $F_{i+1}$ . Při tom působí aktuátor silou  $F_{i+1} = F_i + \Delta F_i$ , danou vztahem

$$\Delta F_i = k_i \Delta L_{Fi} \quad (3)$$

kde  $k_i$  je tuhost SMA prvku  $i$ , která je úměrná Youngovu modulu materiálu a průřezu  $\underline{S}_i$  SMA prvku  $\underline{1}$ . Při působení síly  $\Delta F_i$  je pak výsledná deformace SMA prvku  $\underline{1}$  jen  $\Delta L_i$ , jak je požadováno. Jestliže sestava SMA prvků  $\underline{1}$  na obr. 2 dosáhne transformační teploty  $t_i$ , tak dojde ke změně vnitřní struktury SMA prvku  $i$  tak, že naroste jeho tvar o  $\tau_i$  a jeho tuhost o  $k_i$ . To způsobí posunutí prvku  $i$  o  $\Delta L_i$  za působení přírůstku síly  $\Delta F_i$ .

Celá věc je však složitější, protože působení přírůstu síly  $\Delta F_i$  způsobí deformaci ostatních SMA prvků  $\underline{1}$  v aktuátoru, tedy deformace prvku  $i$  musí být

$$\Delta L_{Fi} = \sum_{j=1}^n \frac{\Delta F_i}{k_j} \quad (4)$$

kde  $n$  je počet SMA prvků  $\underline{1}$  v aktuátoru.

Celý postup bude však vyžadovat iterace.

Alternativní řešení SMA prvku  $\underline{1}$  je znázorněno na obr. 4. Jde o ohybový prvek. SMA prvek  $\underline{1}$  je tvořen tyčkou tvarovanou do tvaru V o délce  $\underline{d}_i$ , průřezu  $\underline{S}_i$  připojeném k okolí přes spojovací prvky  $\underline{2}$ . Ohybový SMA prvek  $\underline{1}$  číslo  $i$  je paměťově upraven tak, aby při dosažení transformační teploty  $t_i$  se prodloužil o  $\Delta L_i$ . To je dosaženo tak, že nosník tvořící SMA prvek  $\underline{1}$  je tvaru V, který se transformací více či méně rozevírá. Deformace SMA prvku  $\underline{1}$  po dosažení transformační teploty  $t_i$  je znázorněna na obr. 4 čárkovane. SMA prvky  $\underline{1}$  mohou mít i jiné tvary než V.

Užitím ohybových SMA prvků  $\underline{1}$  z obr. 4 je na obr. 5 znázorněno jiné řešení posuvového aktuátoru, než je na obr. 2. Zde jsou jednotlivé SMA prvky  $\underline{1}$  tvořeny ohybovými SMA prvky  $\underline{1}$  z obr. 4 spojenými spojovacími prvky  $\underline{2}$ .

Na obr. 6 je znázorněno řešení posuvového aktuátoru s doplňkovou pružinou 5 pro předpětí a bezpečný návrat SMA prvku 1 do původního tvaru po poklesu pod transformační teplotu. SMA prvek 1 je s doplňkovou pružinou 5 předepnut mezi koncové části spojovacího prvku 2 na obr. 6.

- 5 Naopak obdobný spojovací prvek 2 na obr. 7 realizuje posuvný pohyb SMA prvku 1 a jeho návrat do původního tvaru aktivací při překročení transformační teploty. Záměnou pořadí SMA prvku 1 a doplňkové pružiny 5 lze totiž proměnit pohyb SMA prvku 1 v pohyb spojovacího prvku 2 do opačného směru, jak je patrné na obr. 7.
- 10 Na obr. 8 je pak pomocí částí z obr. 6 a obr. 7 sestaven celý posuvový aktuátor obdobný aktuátorům na obr. 2 a obr. 5. Spojovací prvky 2 zasahují koncovou částí do sousedního spojovacího prvku 2, a tak vedle předpětí realizují i přenos pohybu mezi částmi z obr. 6 a obr. 7.

- Na obr. 9 je prostorově úspornější řešení SMA prvku 1 představovaného na obr. 3 tyčkou. K tomu je na obr. 9 užitá spirální vinutá SMA pružina 4, která je v těle rámu 3 vymezena v příslušném stavu před SMA transformací doplňkovou pružinou 5 také spirální vinutou vymezující vůle před (obr. 9 nahoře) a po SMA transformaci (obr. 9 dole). Spirální vinuté pružiny mohou být šroubovité válcové s pravidelnou šroubovicí nebo s obecnou spirálou. Transformace SMA prvku představovaného spirální vinutou pružinou 4 způsobí výsun  $\Delta L_i$  posuvného prvku 6. Posuvný prvek 6 je v rámu 3 uložen posuvně a je k němu pevně připevněn oddělovací prvek 14, který je umístěn mezi spirální vinutou SMA pružinou 4 a doplňkovou spirální vinutou pružinou 5. Spirální vinutá SMA pružina 4 i doplňková spirální vinutá pružina 5 se o rám 3 i oddělovací prvek 14 jen volně opírají. Jejich prodloužením nebo zkrácením se posuvný prvek 6 posouvá. Výhoda tohoto řešení spočívá v tom, že spirální vinutá SMA pružina 4 (s délkou odpovídající délce L na obr. 2)
- 15 je po stočení kolem posuvného prvku 6 vzhledem k délce posuvného prvku 6 kratší než před stočením. Potřebná délka SMA prvku je tak kratší. Spirální vinutá SMA pružina 4 může být nahrazena srovnatelným prvkem, např. spirálovým prvkem, resp. spirální kuželovou pružinou.
- 20
- 25

- Řešení na obr. 9 je však pro jeden SMA prvek 1. Náhrada řešení z obr. 2 s více SMA prvky, které se transformují při různých transformačních teplotách  $t_i$  podle obr. 1, pomocí spirální vinuté pružiny je na obr. 10. Spirální vinutá SMA pružina 4 je tvořena posloupností SMA prvků 1 spojených spojovacími prvky 2. Při růstu teploty je posuvný prvek 6 postupně vysouván tak, jak teplota okolí dosahuje jednotlivých transformačních teplot  $t_i$  podle obr. 1. Jednotlivé SMA prvky 1 mohou mít různou délku L<sub>i</sub> a různý průřez S<sub>i</sub>, jak je znázorněno ve střední části spirální vinuté SMA pružiny 4.
- 30
- 35

- Řešení spirální vinutou pružinou podle obr. 9 lze užít ještě pro záporný posuv aktuátoru při vzrůstající teplotě. Na obr. 11 je ukázka požadovaného průběhu výchylky (podobně i průběhu působící síly, která může růst nebo klesat) v závislosti na teplotě jako na obr. 1. Tato závislost však není monotónní. Na obr. 1 závislost jen roste. Na obr. 11 však také v jedné části klesá. Klesat může jak trvale, tak vícekrát během celého průběhu. Obr. 11 vpravo popisuje aproximaci průběhu z obr. 11 vlevo.
- 40

- Při transformační teplotě  $t_i$  má dojít k zápornému posuvu. Řešení záporného posuvu pomocí SMA prvku je na obr. 12 pomocí spirální vinuté pružiny. Spirální vinutá SMA pružina 4 je v těle rámu 3 vymezena v příslušném stavu před SMA transformací doplňkovou spirální vinutou pružinou 5 vymezující vůle před (obr. 12 nahoře) a po SMA transformaci (obr. 12 dole). Spirální vinutá SMA pružina 4 je v těle rámu 3 umístěna tak, že její roztažení vede k zasunutí posuvného prvku 6 a tedy k zápornému posuvu. Spirální vinutá SMA pružina 4 je v těle rámu 3 umístěna na obr. 12 z druhé strany než na obr. 9.
- 45
- 50

- Řešení na obr. 12 je opět jen pro jeden SMA prvek pro jednu transformační teplotu  $t_i$ . Její rozšíření na více SMA prvků se provede analogicky řešením na obr. 10 s více SMA prvky 1 v spirální vinuté SMA pružině 4.
- 55

Řešení aktuátoru pro více kladných posuvů a více záporných posuvů v závislosti posuvu aktuátoru na teplotě je na obr. 13. Je provedeno tak, že všechny SMA prvky vedoucí ke kladnému posuvu při transformační teplotě jsou shromážděny do posloupnosti SMA prvků 1 v levé spirální vinuté SMA pružině 4 a všechny SMA prvky 1 vedoucí ke zápornému posuvu při transformační teplotě jsou shromážděny do posloupnosti SMA prvků 1 v pravé spirální vinuté SMA pružině 4. Obě spirální vinuté SMA pružiny 4 jsou odděleny doplňkovou spirální vinutou pružinou 5. Spirální vinuté SMA pružiny 4 a doplňková spirální vinutá pružina 5 jsou odděleny oddělovacími prvky 14. Jeden z nich je pevně spojen s posuvným prvkem 6 a druhý je vůči němu posuvný. Spirálové vinuté SMA pružiny 4 a doplňková spirální vinutá pružina 5 se o rám 3 a oddělovací prvky 14 jen volně opírají.

Dosud popisované aktuátory byly aktuátory posuvné. Lze však vytvořit i aktuátory rotační. Rotační SMA aktuátor je na obr. 14. Rotor 7 uložený v rámu 3 je otáčen pomocí momentu působícího pomocí tažného prvku (řemenu, ozubeného řemenu, řetězu, lana) 10 posuvným SMA aktuátorem z obr. 2. Tažný prvek 10 je předepínán doplňkovou pružinou 5. Místo posuvného SMA aktuátoru z obr. 2 lze užít posuvný SMA aktuátor z obr. 5, obr. 8, obr. 10 nebo obr. 13.

Jiný způsob realizace rotačního SMA aktuátoru je na obr. 15, kde spirální vinutá SMA pružina 4 je torzní pružina, která otáčí rotorem 7 tím, že je pevně připevněna k rámu 3 a oddělovacímu prvku 14 a ten je pevně připevněn k rotoru 7. Prodloužení nebo zkrácení SMA prvků 1 při transformaci pak otáčí rotorem 7.

Lze vytvořit i složitější SMA aktuátory. Na obr. 16 je ohybový SMA aktuátor. Je tvořen poddajným nosníkem 8 s dutinou, ve které jsou umístěny SMA prvky 1 spojené spojovacími prvky 2. Při jejich transformaci jejich paměťová deformace ohýbá poddajný nosník 8 do požadovaného tvaru závislého na průběhu teploty. Takto teplotou ovládaný tvar poddajného nosníku 8 může být prostorový a velmi složitý.

Ještě obecnější případ SMA aktuátoru je na obr. 17. Na nebo v poddajném tělese 9 jsou umístěny SMA prvky 1 upevněné k poddajnému tělesu 9 spojovacími prvky 2. Při jejich transformaci jejich paměťová deformace deformuje poddajné těleso 9 do požadovaného tvaru závislého na průběhu teploty. Deformovaný tvar poddajného tělesa 9 je na obr. 17 vpravo znázorněn čárkovane. Takto teplotou ovládaný tvar poddajného tělesa 9 může být prostorový a velmi složitý a představuje prostorový aktuátor. SMA prvky 1 spolu svírají různé úhly (jsou souosé nebo rovnoběžné nebo různoběžné nebo mimoběžné, mají různou orientaci) a jsou nepřímě propojené přes poddajné těleso 9 nebo přímo spojené přes spojovací prvky 2. SMA prvky 1 tak mohou tvořit soustavy SMA prvků 1 z obr. 2 nebo lze na nebo v poddajném tělese 9 užít posuvný SMA aktuátor z obr. 5, obr. 8, obr. 10 nebo obr. 13 nebo rotační SMA aktuátor z obr. 14 nebo obr. 15 nebo ohybový SMA aktuátor z obr. 16.

Teplota může být jak přirozená teplota vnějšího prostředí SMA aktuátorů, tak teplota ovládaná uměle například elektrickým ohřevem. Na obr. 18 je příklad posuvného SMA aktuátoru z obr. 2, jehož teplota je uměle ovládána elektrickým odporovým drátem 11 vedeným kolem SMA prvků 1 ze zdroje 12 napětí ovládaného/řízeného počítačem 13. Uměle ovládaná teplota může být na všech SMA prvcích 1 nebo jen na části z nich.

Místo elektrického ohřevu lze užít řízený tok horkých nebo studených kapalin nebo plynů také ovládaný/řízený počítačem 13.

Místo rovnoměrného ohřevu celého vnějšího prostředí SMA aktuátoru lze také uvažovat časový průběh šíření teploty ve vnějším prostředí. Posloupnost SMA prvků 1 odpovídajících jednotlivým transformačním teplotám  $t_i$  pak určuje časový průběh deformace SMA aktuátoru a následně třeba poddajného tělesa 9.



Na obr. 19 je znázorněno, že SMA prvky 1 z obr. 2 spolu mohou být spojeny přímo bez spojovacích prvků 2.

- 5 Tvary SMA prvků 1 mohou být různého tvaru, nejen tyčka nebo nosník tvaru V. SMA prvek 1 musí být jen paměťově upraven tak, aby při dosažení transformační teploty  $t_i$  se potřebně deformoval, například prodloužil, zkrátil, ohnul aj., prvky 1 se tak při dosažení transformační teploty  $t_i$  mohou prodlužovat nebo zkracovat podle paměťové úpravy.

- 10 Doplnkové pružiny 5 mohou být nahrazeny SMA prvky 1 s pohybem opačným než původní SMA prvky 1.

Všechny popsané varianty se mohou různě kombinovat.

- 15 Uměle ovládaná teplota může být řízena počítačem.

Výhoda popisovaných řešení teplotního aktuátoru je, že aproximuje požadovaný průběh výchylky a působící síly v závislosti na teplotě ve velkém rozsahu teplot i bez řízeného zdroje tepelné energie a pro různé i složité druhy pohybů aktuátoru.

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Teplotní aktuátor obsahující pohyblivé prvky tvořené kovy s tvarovou pamětí (SMA),  
5 **vyznačený tím**, že je tvořen soustavou alespoň tří za sebou uspořádaných SMA prvků  
(1), s kladným a/nebo záporným posuvem a oddělených od sebe spojovacími prvky (2),  
aktivovaných alespoň třemi různými transformačními teplotami.

2. Teplotní aktuátor podle nároku 1, **vyznačený tím**, že SMA prvky (1) jsou tvořeny tyčovitými  
a/nebo ohybovými prvky a /nebo spirálovými pružinovými prvky.

3. Teplotní aktuátor podle některého z předchozích nároků, **vyznačený tím**, že mezi koncovými  
10 částmi spojovacího prvku (2) je uspořádán SMA prvek (1) a doplňková pružina (5).

4. Teplotní aktuátor podle nároku 3, **vyznačený tím**, že mezi SMA prvek (1) a doplňkovou pružinu  
(5) zasahuje koncová část sousedního spojovacího prvku (2).

5. Teplotní aktuátor podle nároku 1, **vyznačený tím**, že spirálovým prvkem je SMA pružina (4)  
15 uložená v rámu (3) a oddělená od doplňkové pružiny (5) oddělovacím prvkem (14), přičemž SMA  
pružinou (4) a doplňkovou pružinou (5) prochází posuvný prvek (6).

6. Teplotní aktuátor podle nároku 1, **vyznačený tím**, že spirálovým prvkem jsou alespoň dvě SMA  
pružiny (4) uložené v rámu (3), mezi nimiž je uspořádána doplňková pružina (5), oddělená od SMA  
pružin (4) oddělovacími prvky (14), přičemž SMA pružinami (4) a doplňkovou pružinou (5)  
prochází posuvný prvek (6).

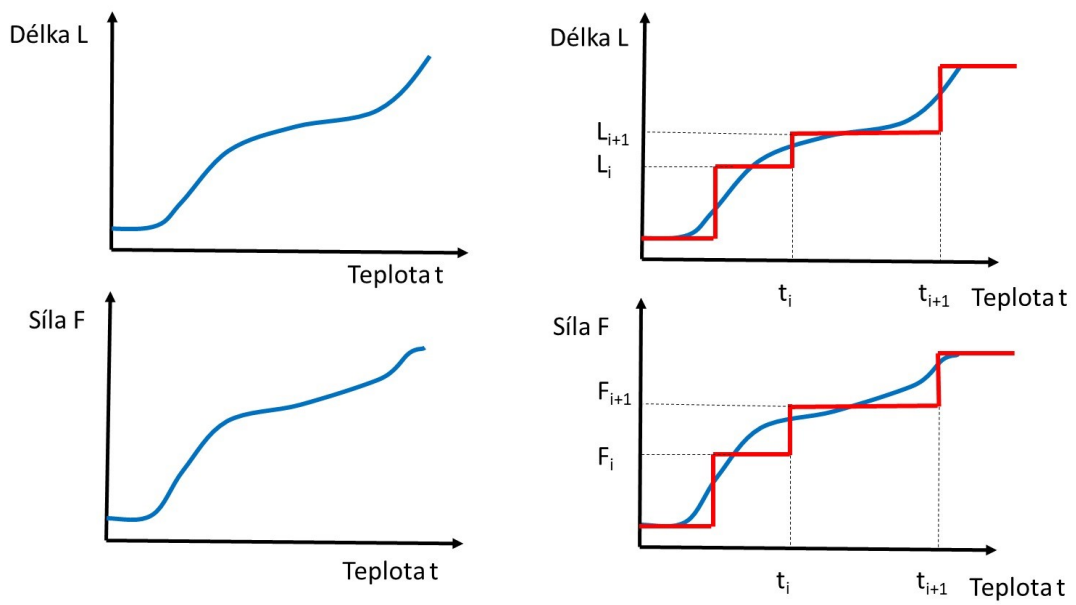
7. Teplotní aktuátor podle některého z předchozích nároků, **vyznačený tím**, že soustava SMA  
20 prvků (1) je spojena tažným prvkem (10) s rotačním prvkem (7), nebo je SMA pružina (4) uložená  
v rámu (3) a spojená s rotačním prvkem (7), který prochází SMA pružinou (4).

8. Teplotní aktuátor podle některého z předchozích nároků, **vyznačený tím**, že soustava SMA  
prvků (1) tvoří ohybový aktuátor uspořádaný v dutině poddajného nosníku (8).

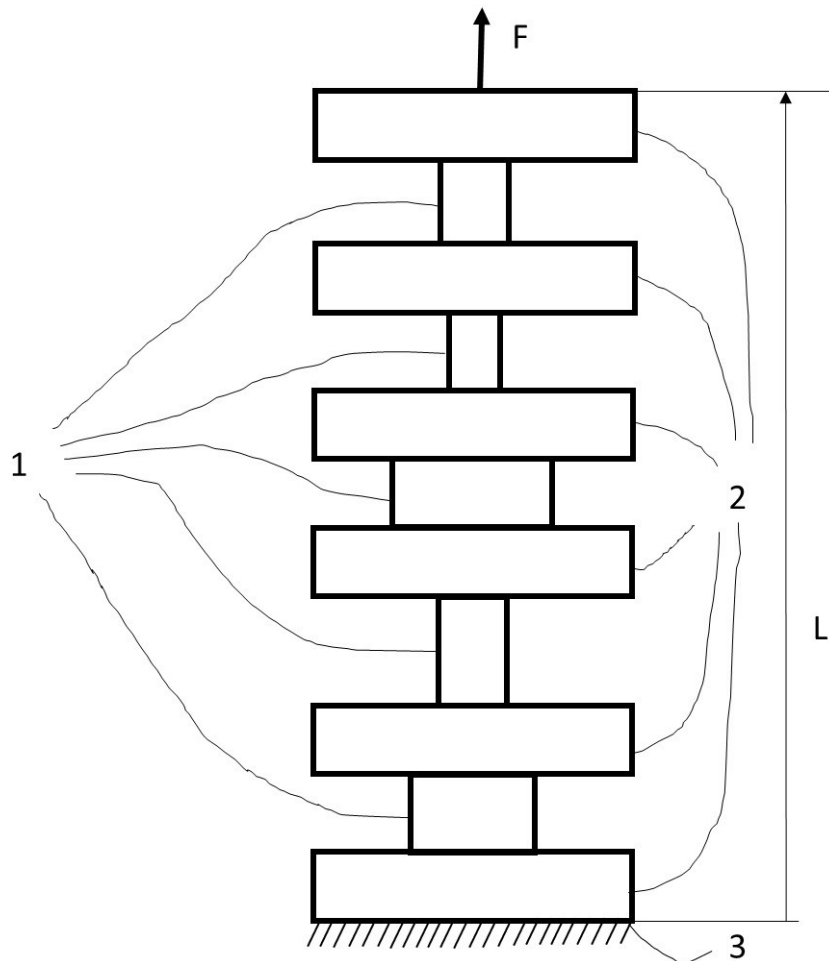
9. Teplotní aktuátor podle některého z předchozích nároků, **vyznačený tím**, že soustava SMA  
25 prvků (1) je uspořádána v poddajném tělese (9).

10. Teplotní aktuátor podle některého z předchozích nároků, **vyznačený tím**, že jednotlivé SMA  
prvky (1) jsou obepnuty elektrickým odporovým drátem (11) propojeným se zdrojem (12)  
30 elektrického napětí propojeným s počítačem (13).

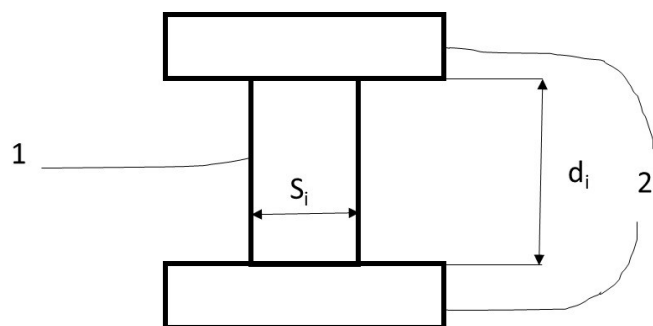
9 výkresů



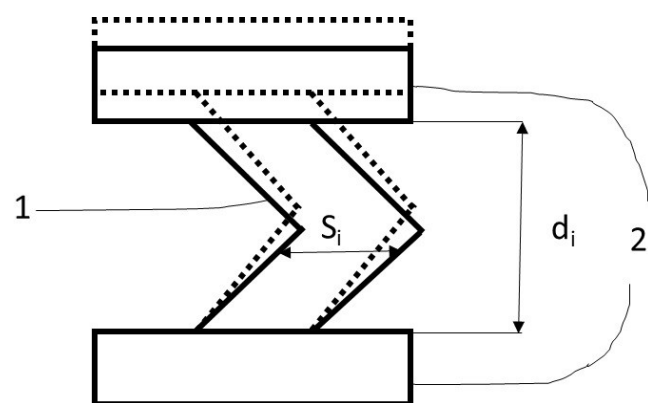
Obr. 1



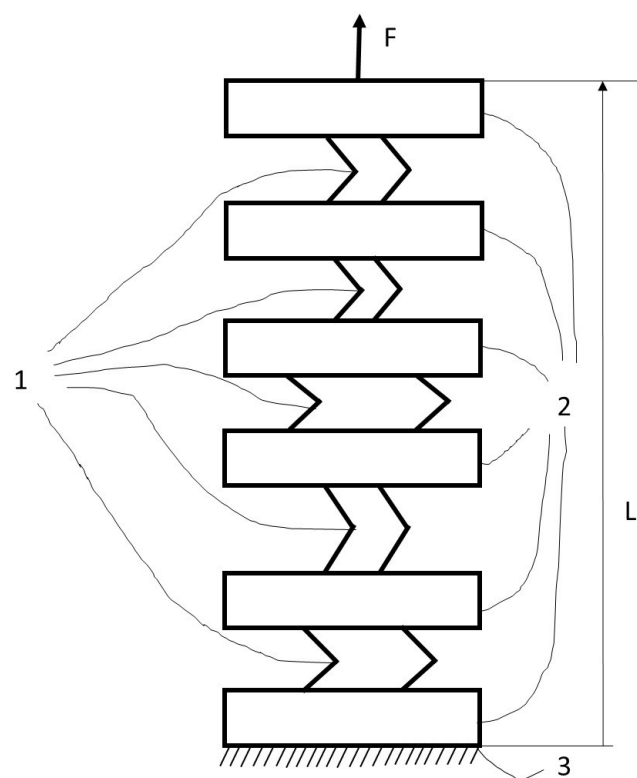
Obr. 2



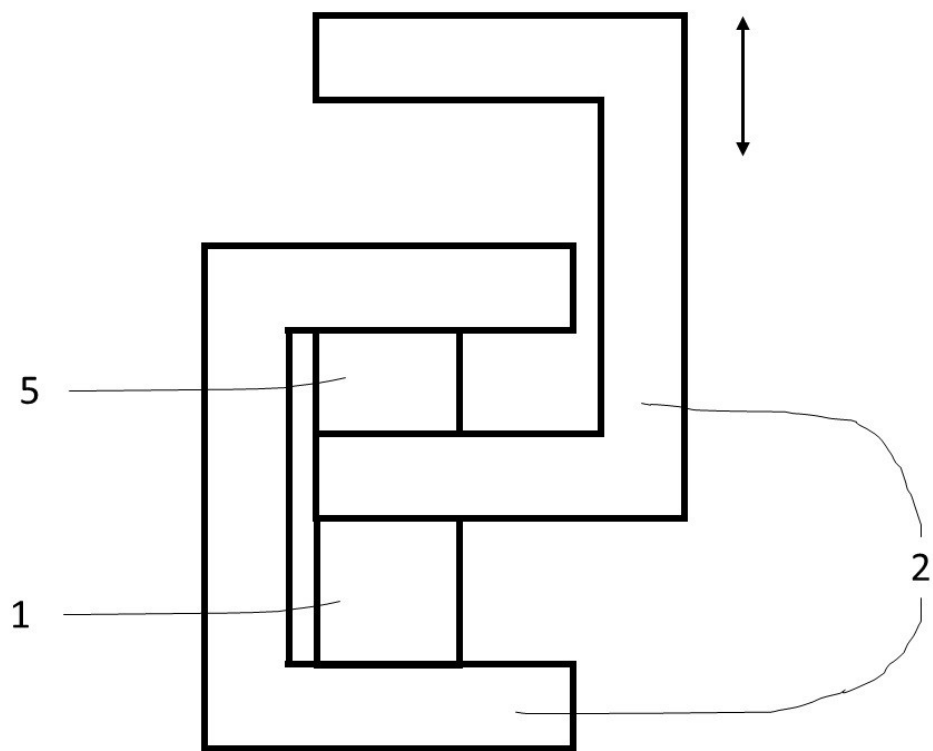
Obr. 3



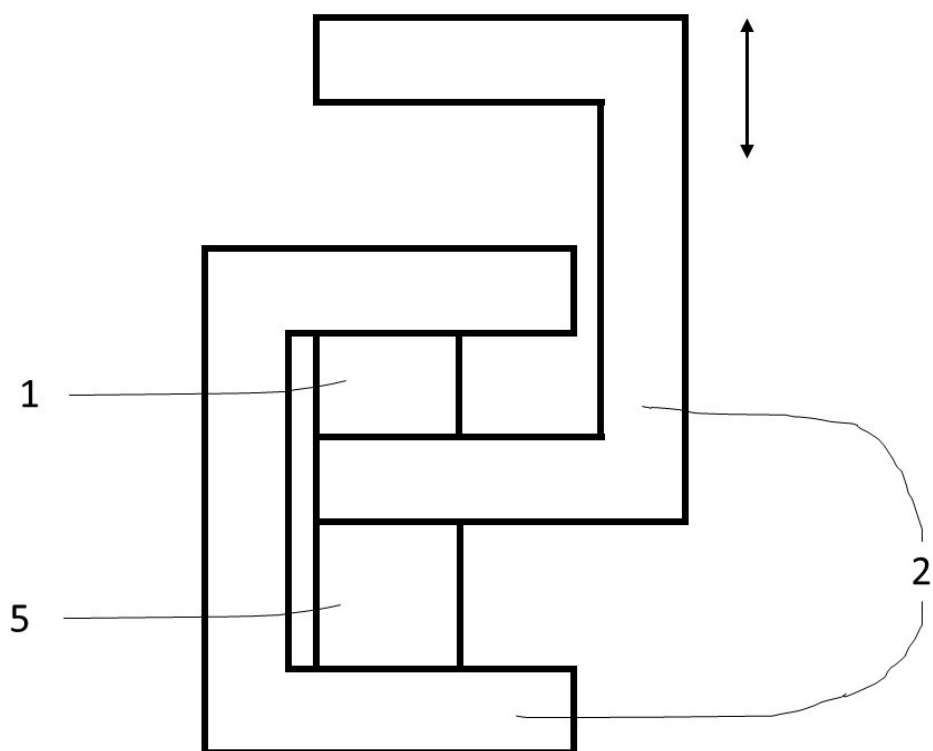
Obr. 4



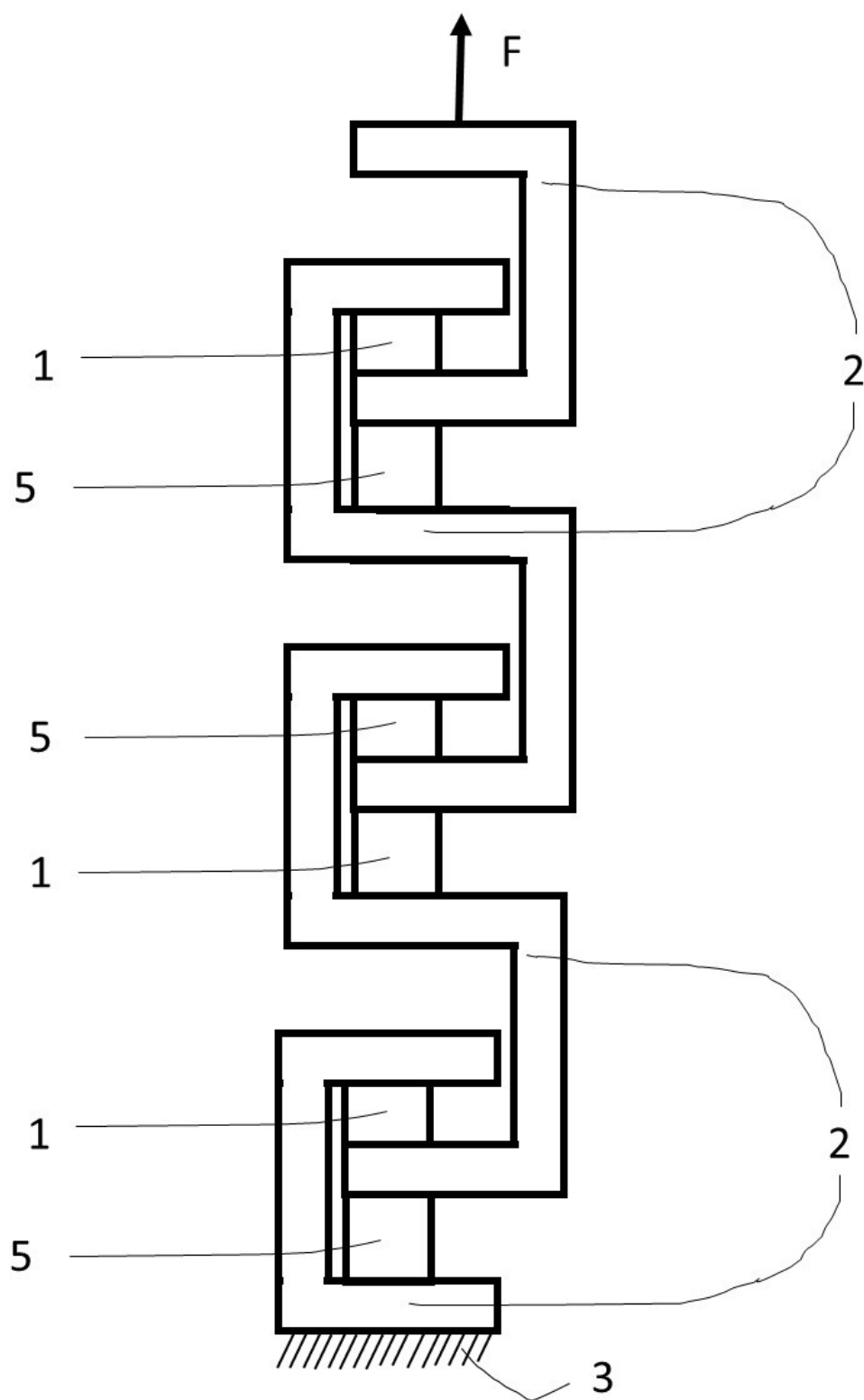
Obr. 5



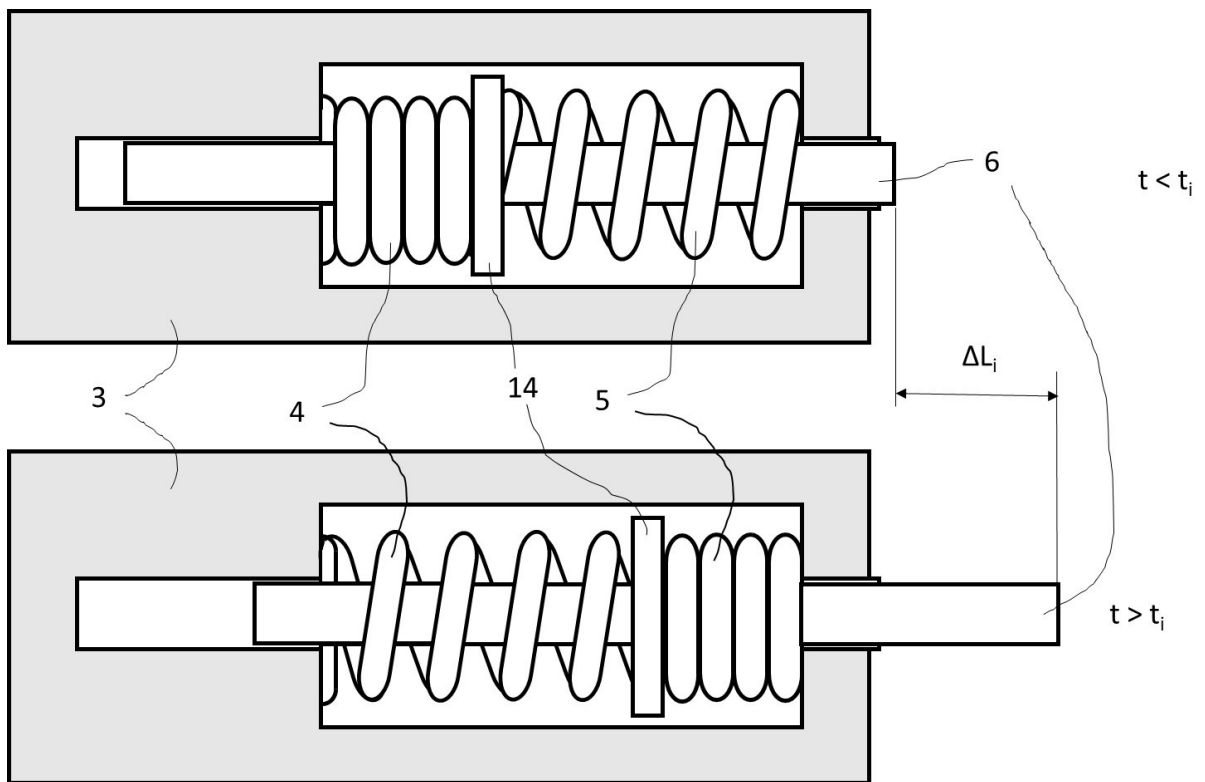
Obr. 6



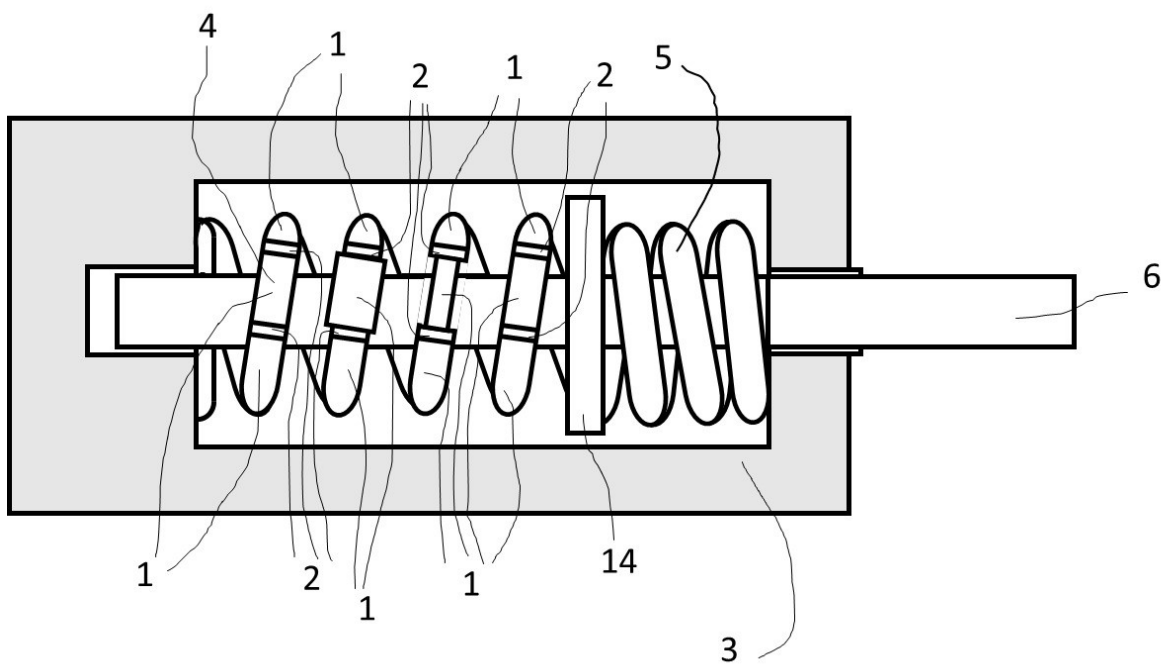
Obr. 7



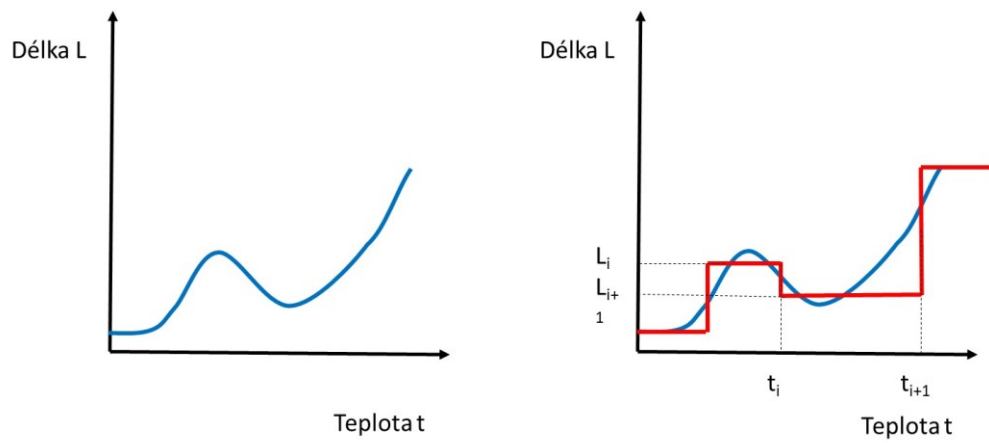
Obr. 8



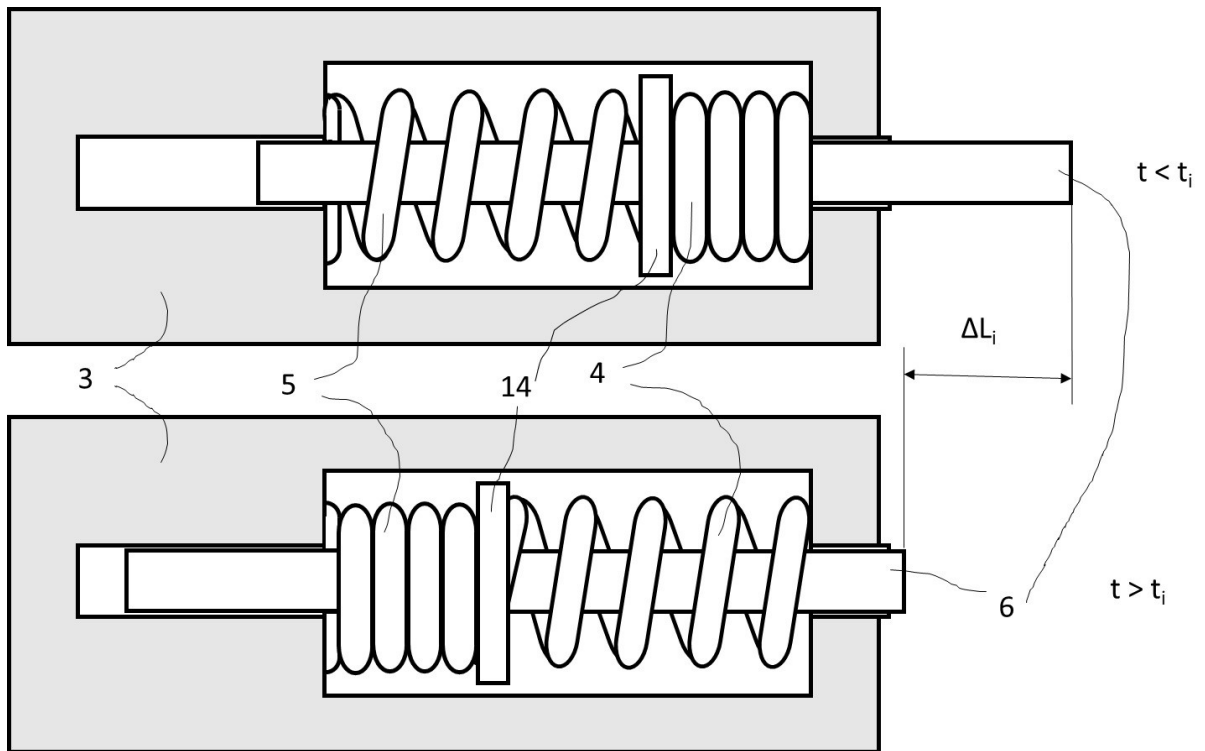
Obr. 9



Obr. 10

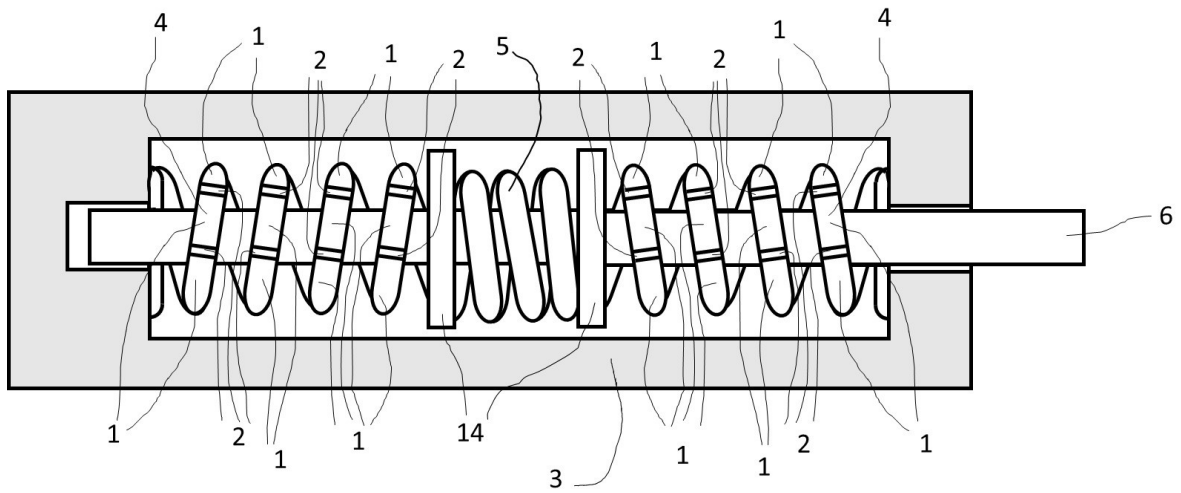


Obr. 11

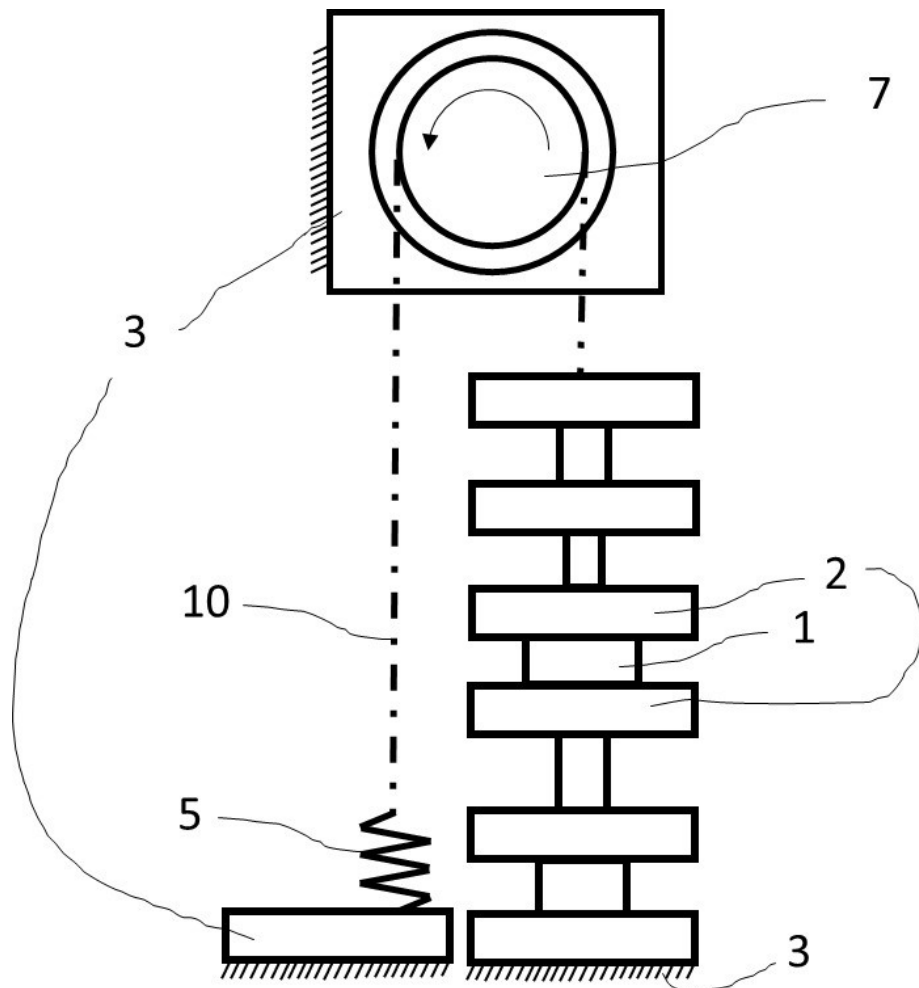


Obr. 12

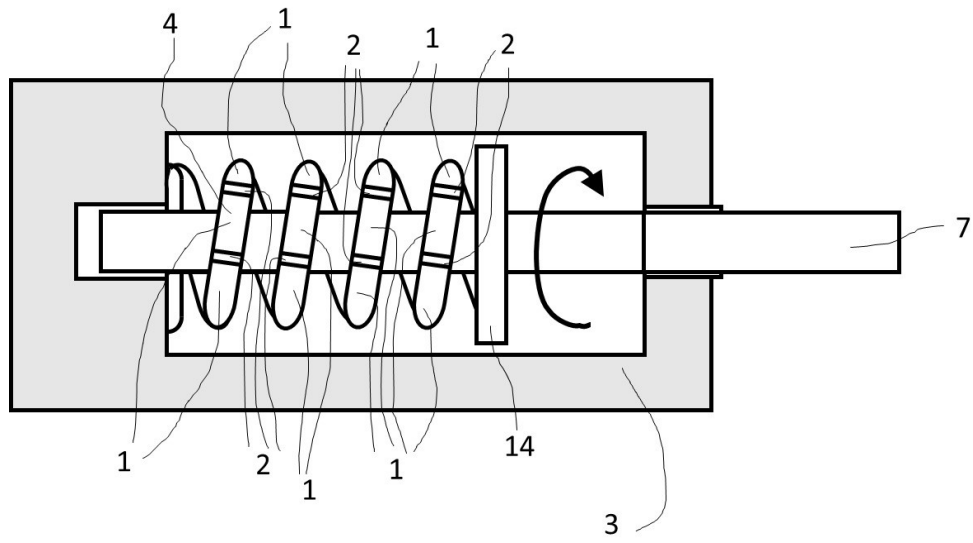




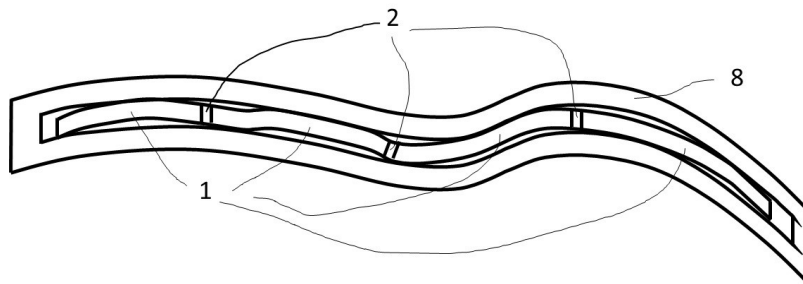
Obr. 13



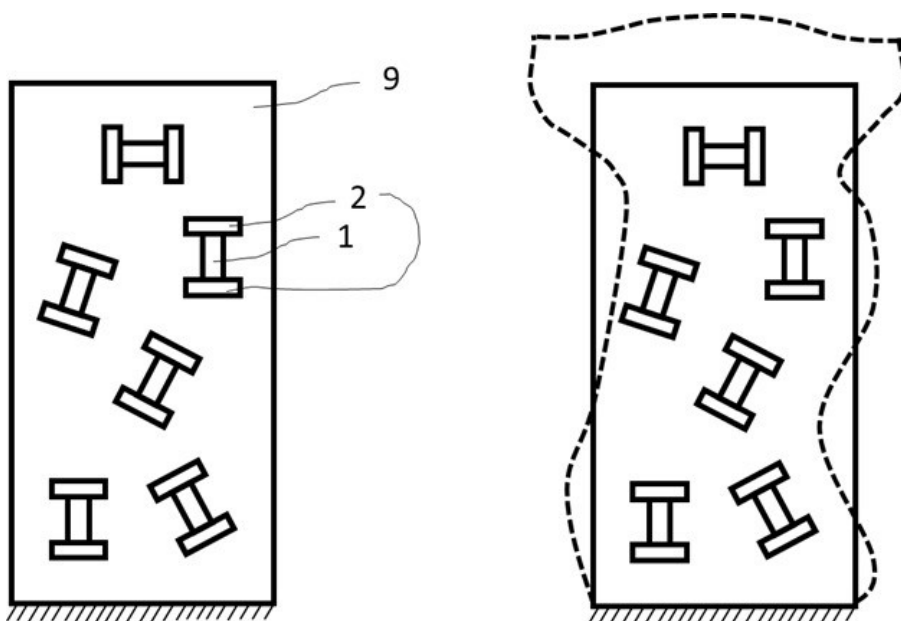
Obr. 14



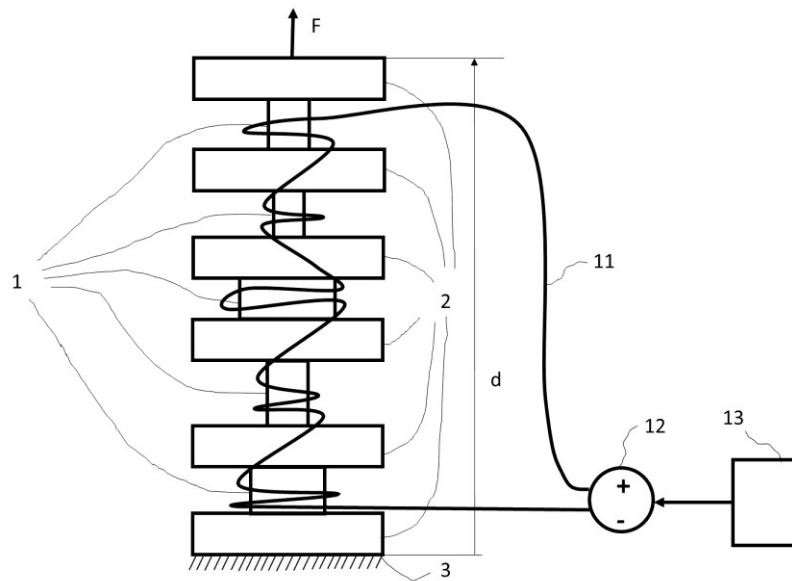
Obr. 15



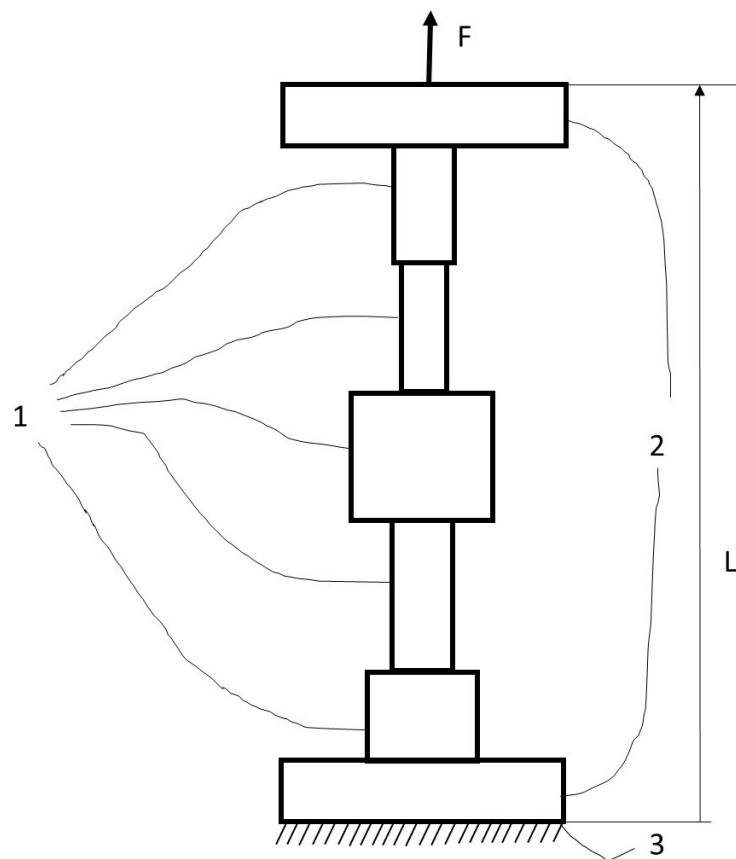
Obr. 16



Obr. 17



Obr. 18



Obr. 19