

# PATENTOVÝ SPIS

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2012-135**  
(22) Přihlášeno: **27.02.2012**  
(40) Zveřejněno: **06.11.2013**  
(Věstník č. 45/2013)  
(47) Uděleno: **25.09.2013**  
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **06.11.2013**  
(Věstník č. 45/2013)

(11) Číslo dokumentu:

## 304 121

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

**G21C 17/10** (2006.01)

**G21C 7/36** (2006.01)

**G21C 7/08** (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:

US 4781881; WO 97/11470; US 4486382.

(73) Majitel patentu:

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a  
fyzikálně inženýrská, Praha 1, CZ

(72) Původce:

Kolros Antonín Ing., Praha 9, CZ  
Huml Ondřej Ing., Příbram III, CZ

(74) Zástupce:

Ing. Hana Dušková, Na Kočově 180, Chotutice, 28103

(54) Název vynálezu:

**Způsob stanovení průběhu rychlosti pádu  
regulačního prvku jaderného reaktoru**

(57) Anotace:

Při způsobu stanovení průběhu rychlosti (vpád(z) nebo vpád(t)) pádu regulačního prvku v závislosti na jeho poloze (z) nebo na čase (t) se průběh zjišťuje ze dvou měření prováděných v libovolném pořadí, a to při zasouvání a při pádu regulačního prvku do aktivní zóny jaderného reaktoru. Nejprve se reaktor uvede do kritického stavu s danou konfigurací a v izotermickém stavu, kdy je reaktivita ( $\rho$ ) reaktoru při zasouvání i při pádu regulačního prvku v jeho dané poloze (z) je shodná, a regulační prvek se nachází ve výchozí poloze. V průběhu obou měření je zachován stejný izotermický stav reaktoru a při počátku měření i shodný kritický stav s danou konfigurací. Při jednom měření se regulační prvek shodí do koncové polohy a ve shodných krátkých časových intervalech se měří neutronovým detekčním systémem relativní změna výkonu reaktoru. Tím se po zpracování reaktimetrem získá závislost reaktivity ( $\rho$ ) reaktoru na čase (t). Při druhém měření se za stejných výchozích podmínek regulační prvek zasunuje z výchozí do koncové polohy rovnoměrnou konstantní rychlostí a opět se měří ve shodných krátkých časových intervalech relativní změna výkonu reaktoru. Takto se získá po zpracování reaktimetrem závislost polohy (z) regulačního prvku na reaktivitě ( $\rho$ ) reaktoru. Z takto získaných závislostí se vždy pro danou hodnotu reaktivity ( $\rho$ ) získá poloha (z) regulačního prvku a čas (t) při jeho pádu a tím i závislost polohy (z) regulačního prvku na čase (t). Derivací této závislosti podle času  $dz/dt$  a přiřazením polohy (z) regulačního prvku nebo času (t) se stanoví průběh rychlosti (vpád(z)) pádu regulačního prvku v závislosti na poloze (z) či průběh rychlosti (vpád(t)) pádu regulačního prvku v závislosti na čase (t).

CZ 304121 B6

## Způsob stanovení průběhu rychlosti pádu regulačního prvku jaderného reaktoru

### Oblast techniky

Předkládaný vynález má potenciální využití v oblasti jaderné energetiky při provozu výzkumných a energetických jaderných reaktorů a týká se způsobu experimentálního stanovení průběhu rychlosti pádu regulačního prvku jaderného reaktoru, který je založen na měření relativní změny výkonu jaderného reaktoru a možnosti stanovení reaktivity reaktoru.

### Dosavadní stav techniky

Stanovení polohy regulačních prvků, tj. absorpčních tyčí, klastrů nebo kazet používaných pro regulaci výkonu ve výzkumných nebo energetických jaderných reaktorech je v současnosti standardně realizováno nepřímým měřením, které umožňuje stanovení polohy regulačního prvku pouze při jeho regulovaném pohybu. Nepřímé měření je odvozeno z počítání řídicích impulsů vysílaných pro regulaci otáčení lineárního nebo krokového motoru, resp. elektromagnetů západkového systému mechanického pohonu, a vychází z předpokladu, že po vyslání jednoho řídicího impulsu dojde ke změně polohy regulačního prvku o jeden krok. Absolutní přiřazení polohy regulačního prvku nastává pouze v koncové poloze při sepnutí koncového spínače. Při pohybu regulačního prvku, který je realizovaný otáčením lineárního nebo krokového motoru, resp. pohybem západek, je jak jeho poloha známá s dostatečnou přesností a lze stanovit průběh jeho pohybu nebo rychlosti. Při pádu regulačního prvku, např. při rychlém odstavení reaktoru, pak standardní provedení umožňuje měřit pouze dobu mezi vygenerováním signálu pro rozepnutí mechanismu pohonu a sepnutím koncového spínače při dopadu regulačního prvku do koncové polohy. V regulačních kazetách reaktorů VVER-440, resp. klastrech reaktorů VVER-1000, jsou pro kontrolu absolutní polohy použity i indukční snímače, které jsou však rozmístěné ve větších odstupech a vyznačují se nižší přesností pro měření polohy. Průběh vlastního pádu regulačního prvku proto ani při tomto způsobu měření polohy nelze přesně stanovit.

### Podstata vynálezu

Výše uvedené nevýhody odstraňuje způsob stanovení průběhu rychlosti pádu regulačního prvku jaderného reaktoru, dále jen reaktoru, podle předkládaného řešení. Jeho podstatou je, že průběh rychlosti pádu regulačního prvku se zjišťuje ze dvou měření prováděných v libovolném pořadí, a to při zasouvání regulačního prvku do aktivní zóny jaderného reaktoru a při jeho pádu do této aktivní zóny. Nejprve se reaktor uvede do kritického stavu s danou konfigurací a v izotermickém stavu. Tím je dáno, že reaktivita reaktoru při zasouvání i při pádu regulačního prvku v jeho dané poloze je shodná. Zároveň se regulační prvek nachází ve výchozí poloze. Poté se provedou dvě měření, při nichž je v jejich průběhu zachován stejný izotermický stav reaktoru a při počátku měření i shodný kritický stav s danou konfigurací. Při jednom měření se regulační prvek shodí do koncové polohy a ve shodných, předem zvolených, krátkých časových intervalech vztaženo k celkové době pádu, se měří neutronovým detekčním systémem relativní změna výkonu reaktoru. Tím se získá po zpracování reaktimetrem závislost reaktivity reaktoru na čase. Při druhém měření se za stejných výchozích podmínek regulační prvek zasunuje z výchozí do koncové polohy rovnoměrnou konstantní rychlostí a opět se měří ve shodných, předem zvolených, krátkých časových intervalech vzhledem k celkové době zasouvání neutronovým detekčním systémem relativní změna výkonu reaktoru. Při tomto měření se po zpracování reaktimetrem získá závislost polohy regulačního prvku na reaktivitě reaktoru. Z takto získaných závislostí se vždy pro danou hodnotu reaktivity tedy získá poloha regulačního prvku a čas při jeho pádu. Tím se současně získá i závislost polohy regulačního prvku na čase. Derivací této závislosti podle času  $dz(t)/dt$  a přiřazením polohy regulačního prvku nebo času se stanoví průběh rychlosti pádu regulačního prvku v závislosti na poloze či na čase. Výhodné je, je-li zvolen časový interval měření při pádu

regulačního prvku o velikosti 1 ms. Rovněž tak je výhodné, zvolí-li se velikost časového intervalu měření při zasouvání regulačního prvku 100 ms.

- 5 Předložený postup umožňuje stanovit průběh rychlosti pádu v závislosti na poloze nebo na čase pro regulační prvek, jehož regulační systém neumožňuje přímé stanovení polohy při pádu.

#### Objasnění výkresů

- 10 Na přiložených výkresech jsou uvedeny příklady ilustrující provedení vynálezu. Obr. 1 schematicky znázorňuje měřicí uspořádání při stanovení průběhu rychlosti regulačního prvku jaderného reaktoru v průběhu jeho pádu. Na obr. 2 je naměřená závislost reaktivity ( $\rho$ ) reaktoru na čase ( $t$ ) při pádu regulační tyče do aktivní zóny reaktoru VR-1, který je provozovaný na ČVUT v Praze. Na obr. 3 je stanovená závislost polohy ( $z$ ) regulační tyče na reaktivitě ( $\rho$ ) reaktoru VR-1 při  
15 jejím zasouvání rovnoměrnou konstantní rychlostí ( $v_{zas}$ ) do koncové polohy. Na obr. 4 je zjištěná závislost polohy ( $z$ ) regulační tyče na čase ( $t$ ) při jejím pádu do aktivní zóny reaktoru VR-1. Na obr. 5 je stanovený průběh rychlosti ( $v_{pád}(z)$ ) regulační tyče v závislosti na její poloze ( $z$ ) při jejím pádu a na obr. 6 stanovený průběh rychlosti ( $v_{pád}(t)$ ) regulační tyče v závislosti na čase ( $t$ ) při jejím pádu. Obr. 7 uvádí průběh rychlosti  $v_{pád}(z)$  pádu regulační tyče v závislosti na poloze ( $z$ )  
20 pro reaktor TRIGA MarkII provozovaný TU Vienna, Rakousko.

#### Příklady uskutečnění vynálezu

- 25 Podstatou vynálezu je způsob stanovení průběhu rychlosti  $v_{pád}(z)$  a  $v_{pád}(t)$  regulačního prvku jaderného reaktoru v průběhu jeho pádu do aktivní zóny jaderného reaktoru v závislosti na jeho poloze  $z$  nebo na čase  $t$ . Pro měření je použito měřicí uspořádání podle obr. 1. Toto uspořádání je tvořeno jaderným reaktorem 5 s neutronovým detekčním systémem 7 propojeným přes vyhodnocovací jednotku 8 s reaktimetrem 9. Do aktivní zóny 4 reaktoru zasahuje regulační prvek 6  
30 pohybující se po vymezené dráze 3. Jeho pohyb je řízen regulátorem 1, který ovládá pohon 2 regulačního prvku 6 nebo tento regulační prvek 6 uvolní a ten poté padá do koncové polohy. Pokud regulátor 1 řídí změnu polohy regulačního prvku 6, pak je poloha  $z$  tohoto regulačního prvku 6 známa.
- 35 Stanovení průběhu rychlosti pádu je založeno na poznatku, že při stejné výchozí konfiguraci reaktoru 5 a izotermickém stavu reaktoru 5 je reaktivita  $\rho$  reaktoru při známém pohybu regulačního prvku 6 a reaktivita  $\rho$  reaktoru při volném pádu regulačního prvku 6 pro danou polohu regulačního prvku 6 stejná. Reaktivita  $\rho$  reaktoru je stanovena reaktimetrem 9 z relativní změny výkonu reaktoru 5, který je měřený neutronovým detekčním systémem 7.
- 40 Reaktimetr 9 je software obsahující matematický způsob zpracování výstupní odezvy neutronového detekčního systému 7 pro stanovení reaktivity  $\rho$  reaktoru odvozený z fyzikálního modelu, který popisuje chování reaktoru 5, například jednogrupovou rovnicí bodové kinetiky reaktoru při znalosti střední doby života okamžitých neutronů a jednotlivých skupin zpožděných neutronů  
45 a jejich vzájemného zastoupení. Jeden z možných algoritmů reaktimetru je popsán v článku Quintero-Leyva B.: Reactivity worth measurement of the control blades of the University of Florida Training Reactor, Ann. Nucl. Energy, Vol. 24, No. 18, pp. 1463–1476, 1997. Bližší význam použitých fyzikálních veličin lze nalézt například v publikaci Lamarsh J. R., Baratta A. J.: Introduction to Nuclear Engineering, 3th edition, Pentice-Hall Inc. Upper Sadle River,  
50 New Jersey 07458, 2001, ISBN 0–201–82498–1.

Samotný způsob stanovení průběhu rychlosti pádu regulačního prvku jaderného reaktoru je založen na tom, že průběh rychlosti  $v$  pádu regulačního prvku se zjišťuje ze dvou měření. Je jedno, v jakém pořadí jsou tato měření prováděna. Jedno měření se provádí při zasouvání regulačního

prvku 6 do aktivní zóny 4 jaderného reaktoru 5, dále jen reaktor, a druhé při jeho pádu do této aktivní zóny 4. Podmínkou měření je, že se nejprve reaktor 5 uvede do kritického stavu s danou konfigurací a v izotermickém stavu. Tím je pak splněno, že reaktivita  $\rho$  reaktoru při zasouvání i při pádu regulačního prvku 6 v jeho dané poloze  $z$  shodná. Další podmínkou je, že se regulační prvek 6 vždy nachází ve výchozí poloze. Při obou prováděných měření je nutné, aby v jejich průběhu byl zachován stejný izotermický stav reaktoru a při počátku každého měření i shodný kritický stav s danou konfigurací. Při jednom měření se regulační prvek 6 shodí do koncové polohy a ve shodných, předem zvolených, vzhledem k celkové době pádu krátkých, časových intervalech  $\Delta t_1$ , například 1 ms, se měří neutronovým detekčním systémem 7 relativní změna výkonu reaktoru 5. Tím se získá po zpracování reaktimetrem 9 závislost reaktivity  $\rho$  reaktoru na čase  $t$ , což je uvedeno na obr. 2. Při druhém měření se za stejných výchozích podmínek regulační prvek 6 zasunuje z výchozí do koncové polohy rovnoměrnou konstantní rychlostí  $v_{zas}$  a opět se měří ve shodných, předem zvolených, vzhledem k celkové době zasouvání krátkých, časových intervalech  $\Delta t_2$ , s výhodou 100 ms, neutronovým detekčním systémem 7 relativní změna výkonu reaktoru 5. Takto se z naměřených hodnot po zpracování reaktimetrem 9 získá závislost polohy  $z$  regulačního prvku 6 na reaktivitě  $\rho$  reaktoru, což je uvedeno na obr. 3. Z takto získaných závislostí z obou měření se vždy pro danou hodnotu reaktivity  $\rho$  získá poloha  $z$  regulačního prvku 6 a čas  $t$  při jeho pádu. Tím se zároveň získá i závislost polohy  $z$  regulačního prvku 6 na čase  $t$ , což je uvedeno na obr. 4. Derivací této závislosti podle času  $dz/dt$  a přiřazením polohy  $z$  regulačního prvku 6 nebo času  $t$  se stanoví průběh rychlosti  $vpád(z)$  pádu regulačního prvku 6 v závislosti na poloze  $z$ , viz obr. 5 či průběh rychlosti  $vpád(t)$  pádu regulačního prvku 6 v závislosti na čase  $t$ , viz obr. 6.

Konkrétním příkladem využití vynálezu může být stanovení průběhu rychlosti pádu regulační absorpční tyče typu UR70 od výrobce ŠKODA JS, která je používána jako regulační prvek na reaktoru VR-1 provozovaném FJFI ČVUT v Praze. Výchozím stavem reaktoru 5 byl kritický stav při malém tepelném výkonu 100 W. Reaktor 5 se nacházel po celou dobu měření v izotermickém stavu. Měření bylo realizováno podle obr. 1. Relativní výkon jaderného reaktoru 5 byl kontinuálně měřený v navazujících stejných časových intervalech neutronovým detekčním systémem 7, který byl složen z detektoru neutronů, kompenzované B10 ionizační komory typu KNK56 a vyhodnocovací jednotky 8 měřiče malých proudů typu TEMA LCM310. Regulačním prvkem 6 byla regulační tyč, která se v aktivní zóně 4 reaktoru 5 pohybovala po vymezené dráze 3. Její pohyb byl řízen regulátorem 1, který umožňoval uvolnění regulační tyče a tím její následný pád do koncové polohy nebo ovládal řízení pohonu 2 regulačního prvku 6 tak, aby se pohyboval zadanou rychlostí. Hodnota reaktivity  $\rho$  reaktoru 5 byla počítána v modulu reaktimetru 9 z odezvy vyhodnocovací jednotky 8. Reaktimetr 9 byl založen na jednogrupové teorii inverzní kinetiky jaderného reaktoru.

Při prvním měření byla stanovena reaktivita  $\rho$  reaktoru v závislosti na čase  $t$  při pádu regulační tyče z výchozí polohy  $z_{výchozí} = 680$  mm do koncové polohy 0 mm. Měření probíhalo v časových intervalech  $\Delta t_1$  o velikosti 1 ms, výsledná závislost je na obr. 2. Při druhém měření byla za stejných výchozích podmínek zasouvána regulační tyč z výchozí do koncové polohy rovnoměrnou konstantní rychlostí  $v_{zas}$  o velikosti  $9 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , čímž se po zpracování reaktimetrem 9 získala závislost polohy  $z$  regulační tyče na reaktivitě  $\rho$  reaktoru podle obr. 3. Měření probíhalo ve shodných časových intervalech  $\Delta t_2$  o velikosti 100 ms. Aktuální polohu  $z$  regulační tyče UR70 při jejím zasouvání nelze přímo synchronně přiřadit k vypočtené reaktivitě  $\rho$  reaktoru a proto poloha  $z$  byla odvozena z rovnoměrné konstantní rychlosti  $v_{zas}$  regulační tyče při jejím zasouvání a času  $t$  od začátku jejího pohybu, kdy  $z = z_{výchozí} - v_{zas} \cdot t$ .

Z takto získaných závislostí se vždy pro danou hodnotu reaktivity  $\rho$  získala poloha  $z$  regulační tyče a čas  $t$  při jejím pádu a tím i závislost polohy  $z$  regulační tyče na čase  $t$  podle obr. 4. Derivací této závislosti podle času  $dz/dt$  a přiřazením polohy  $z$  regulační tyče nebo času  $t$  se pak stanovil průběh rychlosti  $vpád(z)$  pádu regulační tyče v závislosti na poloze  $z$  podle obr. 5 či průběh rychlosti  $vpád(t)$  pádu regulační tyče v závislosti na čase  $t$  podle obr. 6.

Ze zjištěných průběhů rychlosti  $v$  pádu regulační tyče v závislosti na poloze  $z$  podle obr. 5 a na čase  $t$  podle obr. 6 bylo možno stanovit, že rychlost regulační tyče při jejím pádu narůstá po dobu  $t = 380$  ms zhruba rovnoměrně, kdy v poloze  $z = 214$  mm dosahuje maxima  $v = 2300$  mm.s<sup>-1</sup>.  
 5 Od této polohy začíná fungovat tlumič pádu a rychlost prudce klesá. Na začátku a konci pohybu je stanovení průběhu rychlosti  $v$  zatíženo vyšší nejistotou měření v důsledku malého vlivu regulačního prvku na reaktivitu reaktoru. Toto je dáno konstrukčním uspořádáním reaktoru. Pro srovnání je na obr. 7 uveden průběh rychlosti  $v_{pád}(z)$  pádu regulační tyče v závislosti na poloze  $z$  pro reaktor TRIGA MarkII provozovaný Technickou universitou ve Vídni, Rakousko.

10 Vlastní doba pádu regulační tyče UR-70 reaktoru VR-1 zjištěná podle obr. 3 a obr. 6 je 630 ms. Pro srovnání standardně změřená doba mezi vygenerováním signálu pro rozepnutí mechanismu pohonu regulačního prvku a sepnutím koncového spínače při dopadu regulačního tyče do koncové polohy se pro reaktor VR-1 pohybuje od 0,9 do 1,1 s. Tato hodnota je vyšší, protože zahrnuje  
 15 i dobu potřebnou pro uvolnění regulační tyče.

### Průmyslová využitelnost

20 Stanovení průběhu rychlosti pádu regulačního prvku jaderného reaktoru lze aplikovat na výzkumných a energetických jaderných reaktorech u nichž je použito technické řešení neumožňující přímé stanovení polohy při pádu. Stanovení průběhu rychlosti pádu má význam pro hlubší diagnostiku tlumení regulačního prvku před jeho dopadem do koncové polohy, což je důležité pro hodnocení spolehlivosti a životnosti tohoto regulačního prvku s přímým vlivem na jadernou  
 25 bezpečnost. Na základě stanovení průběhu rychlosti pádu regulačního prvku je možno stanovit i vlastní dobu pádu regulačního prvku, diagnostikovat jeho mechanické deformace, např. prohnutí klastrů způsobující zpoždění v době pádu, nebo analyzovat termohydraulické poměry v aktivní zóně reaktoru.

## PATENTOVÉ NÁROKY

35 1. Způsob stanovení průběhu rychlosti pádu regulačního prvku jaderného reaktoru, **v y z n a - č u j í c í s e t í m**, že průběh rychlosti (vpád( $z$ ) nebo vpád( $t$ )) pádu regulačního prvku v závislosti na jeho poloze ( $z$ ) nebo na čase ( $t$ ) se zjišťuje ze dvou měření prováděných v libovolném pořadí, a to při zasouvání regulačního prvku do aktivní zóny jaderného reaktoru a při jeho pádu  
 40 do této aktivní zóny tak, že se nejprve reaktor uvede do kritického stavu s danou konfigurací a v izotermickém stavu, čímž je dáno, že reaktivita ( $\rho$ ) reaktoru při zasouvání i při pádu regulačního prvku v jeho dané poloze ( $z$ ) je shodná, a regulační prvek se nachází ve výchozí poloze, načež se provedou dvě měření, při nichž je v jejich průběhu zachován stejný izotermický stav reaktoru a při počátku měření i shodný kritický stav s danou konfigurací, kdy při jednom se regulační  
 45 prvek shodí do koncové polohy a ve shodných, předem zvolených, krátkých časových intervalech ( $\Delta t_1$ ) vzhledem k celkové době pádu se měří neutronovým detekčním systémem relativní změna výkonu reaktoru, čímž se získá po zpracování reaktimetrem závislost reaktivity ( $\rho$ ) reaktoru na čase ( $t$ ), a při druhém měření se za stejných výchozích podmínek regulační prvek zasunuje z výchozí do koncové polohy rovnoměrnou konstantní rychlostí ( $v_{zas}$ ) a opět se měří ve shod-  
 50 ných, předem zvolených, krátkých časových intervalech ( $\Delta t_2$ ) vzhledem k celkové době zasouvání neutronovým detekčním systémem relativní změna výkonu reaktoru, čímž se získá po zpracování reaktimetrem závislost polohy ( $z$ ) regulačního prvku na reaktivitě ( $\rho$ ) reaktoru a z takto získaných závislostí se vždy pro danou hodnotu reaktivity ( $\rho$ ) získá poloha ( $z$ ) regulačního prvku a čas ( $t$ ) při jeho pádu a tím i závislost polohy ( $z$ ) regulačního prvku na čase ( $t$ ) a derivací této

závislosti podle času  $dz/dt$  a přiřazením poloze ( $z$ ) regulačního prvku nebo času ( $t$ ) se stanoví průběh rychlosti ( $vpád(z)$ ) pádu regulačního prvku v závislosti na poloze ( $z$ ) či průběh rychlosti ( $vpád(t)$ ) pádu regulačního prvku v závislosti na čase ( $t$ ).

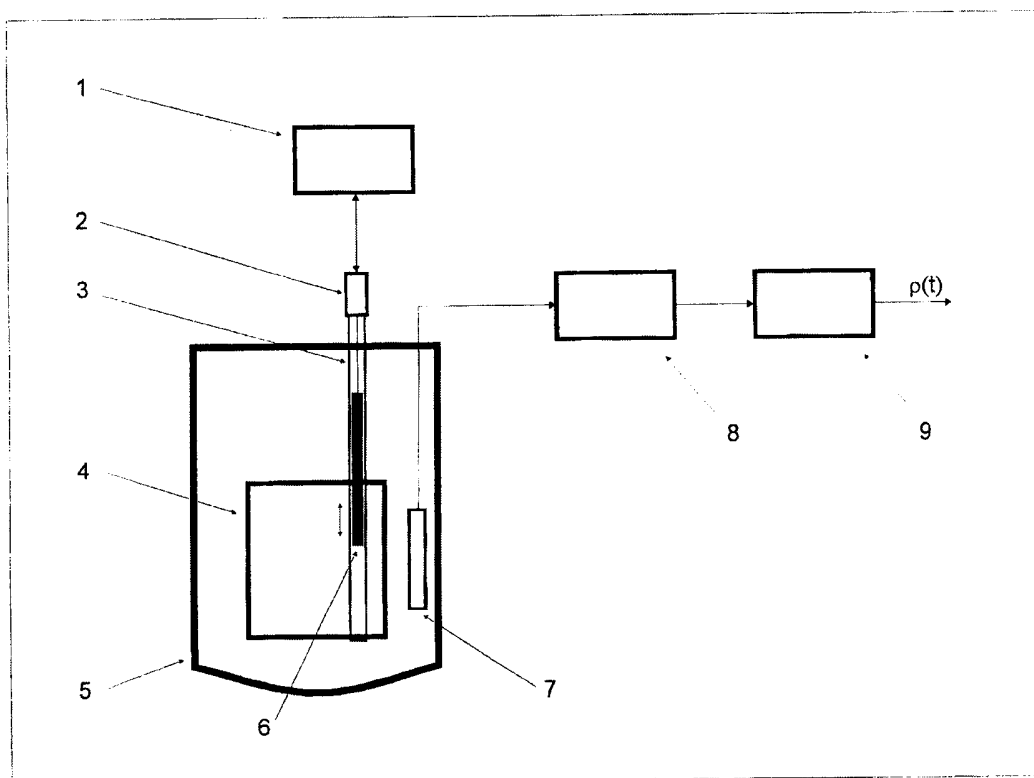
5     **2.** Způsob podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že časový interval ( $\Delta t_1$ ) při pádu regulačního prvku je 1 ms.

**3.** Způsob podle nároku 1 nebo 2, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že časový interval ( $\Delta t_2$ ) při zasouvání regulačního prvku je 100 ms.

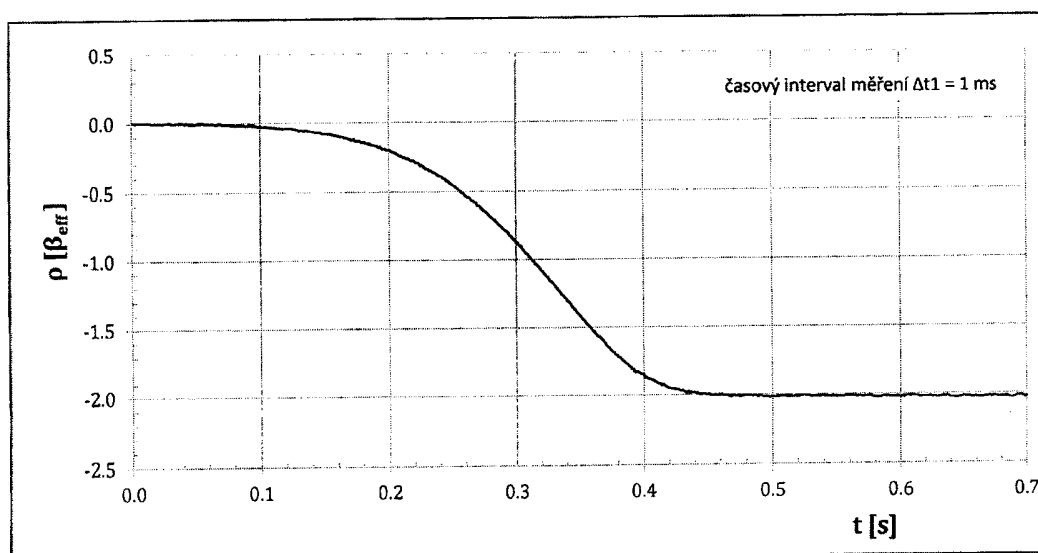
10

4 výkresy

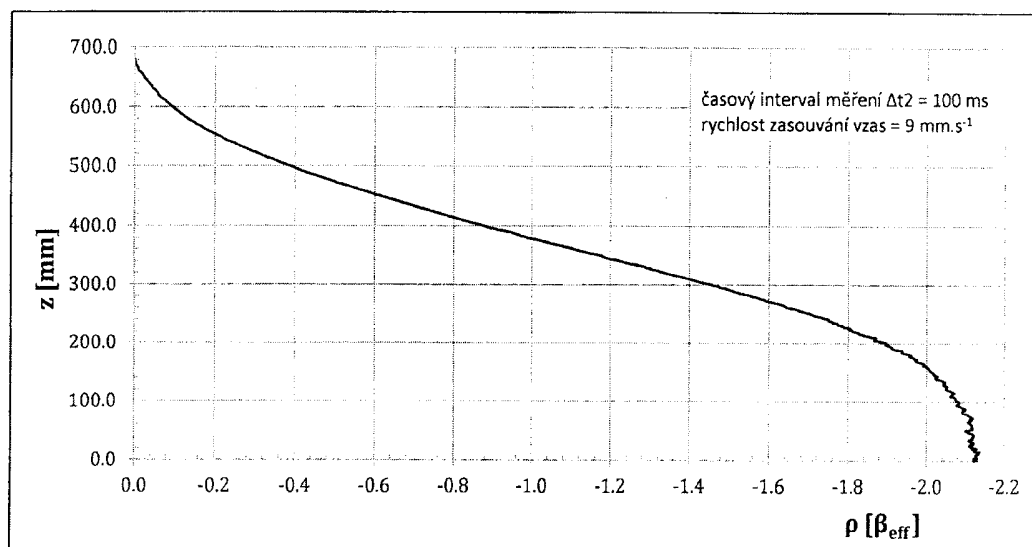
15



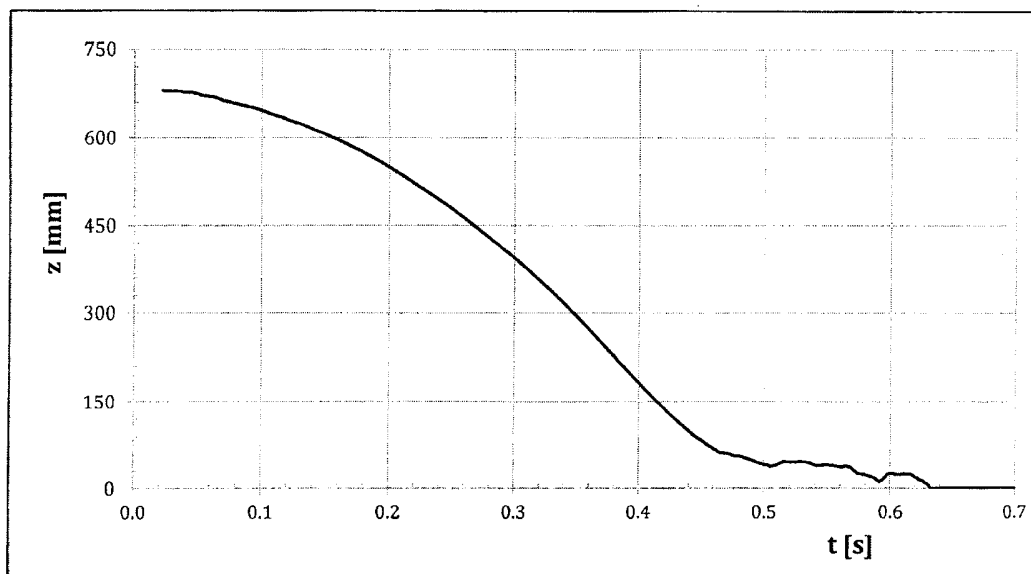
Obr.1



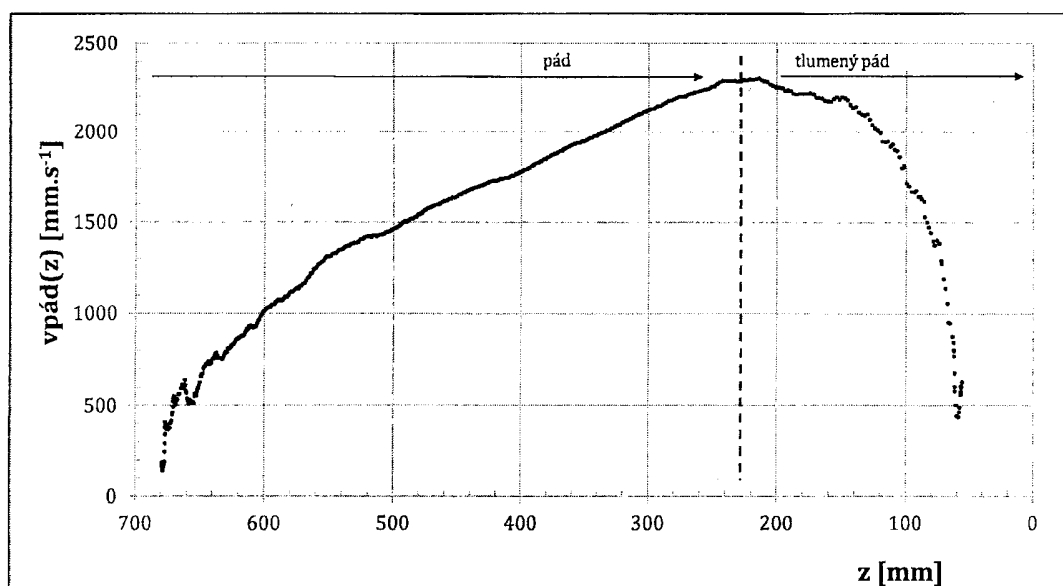
Obr.2



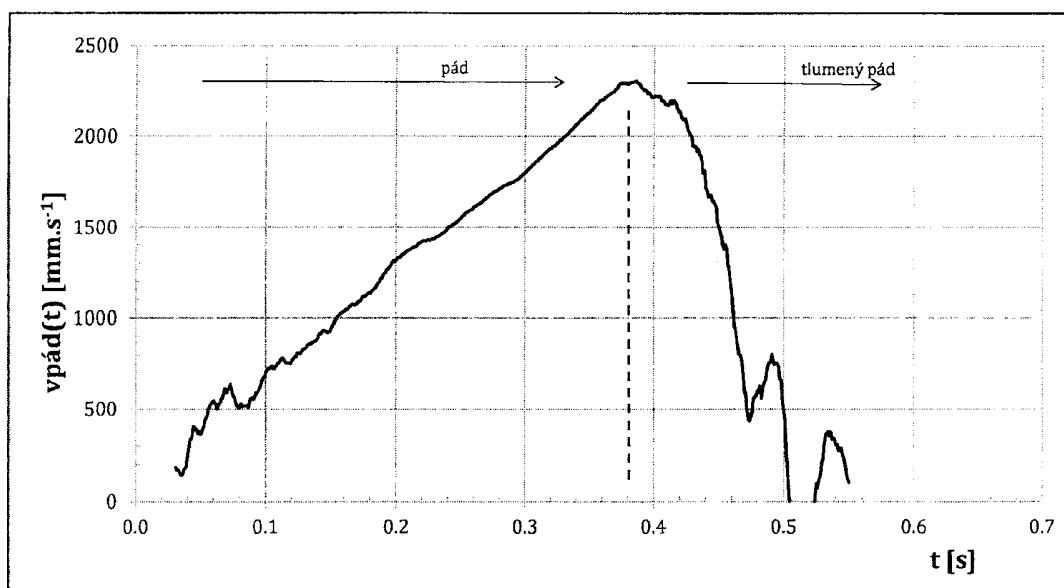
Obr.3



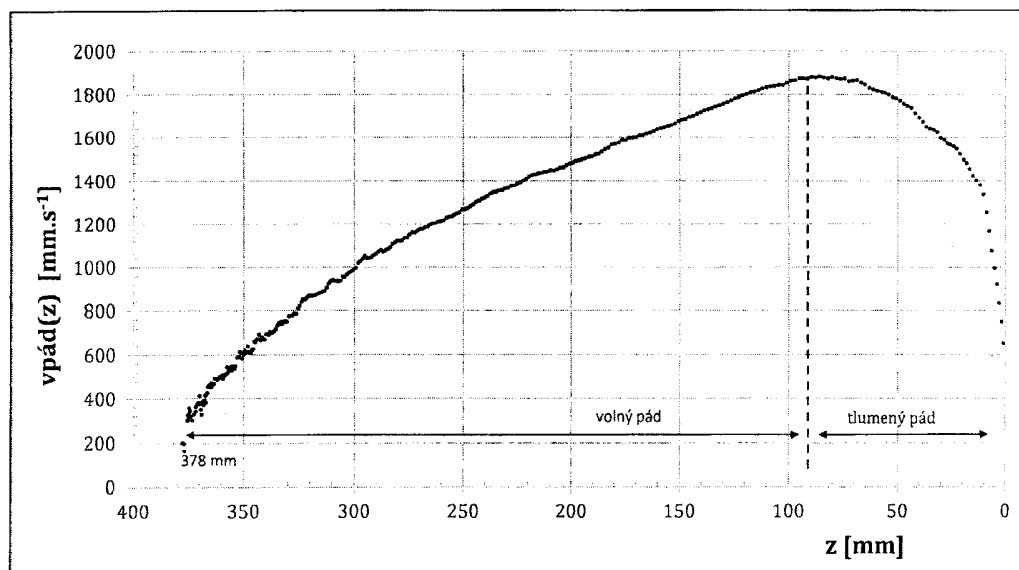
Obr.4



Obr.5



Obr.6



Obr.7

---

Konec dokumentu

---