

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

34 067

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

C10L 5/46 (2006.01)
C10L 5/48 (2006.01)
C02F 11/12 (2019.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2020-37510**
(22) Přihlášeno: **05.05.2020**
(47) Zapsáno: **09.06.2020**

- (73) Majitel:
Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., Praha 6,
Lysolaje, CZ
BRIKLIS, spol. s r. o., Malšice, CZ
REMA Systém, a.s., Praha 4, Krč, CZ
- (72) Původce:
Ing. Olga Šolcová, DSc., Praha 2, Nové Město, CZ
prof. Ing. Milan Čárský, CSc., Praha 10, Záběhlice,
CZ
Ing. Karel Soukup, Ph.D., Třeboň, Třeboň I, CZ
Ing. Pavel Topka, Ph.D., Nové Město nad Metují,
CZ
Ing. Vladimír Hejtmánek, CSc., Praha 8, Libeň, CZ
Aleš Svátek, Borotín, CZ
Ing. Miroslav Medek, Malšice, CZ
Ing. Václav Čabelka, Planá nad Lužnicí, CZ
Ing. David Beneš, Praha 4, Krč, CZ
Ing. Ondřej Rybyšar, Nučice, CZ
Tomáš Pešek, Hradec Králové, Slezské Předměstí,
CZ
- (74) Zástupce:
HARBER IP s.r.o., Dukelských hrdinů 567/52,
170 00 Praha 7, Holešovice

- (54) Název užitého vzoru:
**Palivo ve formě pelet a briket vyrobené z
čistírenských a papírenských kalů pro
spalování ve fluidních kotlích**

Palivo ve formě pelet a briket vyrobené z čistírenských a papírenských kalů pro spalování ve fluidních kotlích

5 Oblast techniky

Předkládané technické řešení se týká nového typu pevného paliva, zejména pro využití ve fluidních kotlích, ve formě pelet s vlhkostí 12 až 15 hmotn. %, vyrobeného z čistírenských kalů, případně ze směsi čistírenských a papírenských kalů, obsahujících v surovém stavu průměrnou vlhkost 80 %. Sušení kalů je prováděno v rotační peci na požadovanou vlhkost vhodnou pro výrobu pelet nebo briket, přičemž granulometrie připravených paliv splňuje požadavky pro fluidní spalování ve vrstvě inertního materiálu, především písku, s výhřevností nad 10 MJ/kg.

15 Dosavadní stav techniky

Podle odhadů International Energy Outlook (2017), celková světová spotřeba energie stoupne z $1,635 \times 10^{14}$ MJ v roce 2015 na $7,765 \times 10^{14}$ v roce 2040, tj. o 28 %. I když se předpokládá, že i v roce 2040 budou energie z fosilních zdrojů stále ještě přispívat 77 %, a je patrný útlum podílu uhlí, vzestup energie z obnovitelných zdrojů se předpokládá o 86 % vůči číslu z roku 2015. Využití obnovitelných energií roste více než 2 % každým rokem, ještě rychleji než využití nukleární energie. Významným zdrojem produkce elektrického proudu a tepla budou stále tuhá paliva, což při budoucí stagnaci spotřeby uhlí a stoupající potřebě energie bude nutné alespoň částečně nahradit tuhými alternativními zdroji, obsahujícími energeticky využitelný uhlík.

Možný alternativní zdroj tuhých paliv představuje odpadní biomasa, včetně odpadů pocházejících ze sektorů založených na lignocelulóзовé surovině (lesní a papírenský průmysl a celulózy, resp. textilu), a energeticky využitelný komunální odpad, který může být produkován lokálně, a tím odpadájí náklady na transport.

Jedním z nejvhodnějších způsobů energetického využití alternativních tuhých paliv je fluidní spalování, které je v současnosti rozšířené v celém světě. Spalování komunálního odpadu je dnes provozováno hlavně v Japonsku, kde je více než 100 spaloven tohoto typu; podobně jsou jednotky spaloven již provozovány i v ČR. Důležitý závěr je v tom, že fluidní spalování je flexibilní způsob, který může využívat různá alternativní paliva s vysokou účinností, přičemž významným palivem se může stát i čistírenský a/nebo papírenský kal.

Lze konstatovat, že aplikace alternativních tuhých paliv pro získávání energie je nadějná a zásoby surovin jsou dostatečné a obnovitelné. Výrobní cena elektrické energie z uhlí v České republice je kolem 4 Kč/kWh ([http://csve.cz/cz/clanky/celkove-naklady-\(v-kc-kwh\)-na-vyrodu-elektriny-dle-primarniho-zdroje:/523](http://csve.cz/cz/clanky/celkove-naklady-(v-kc-kwh)-na-vyrodu-elektriny-dle-primarniho-zdroje:/523)). Přestože ceny elektřiny lze obecně obtížně srovnávat, protože se do nich promítají různé služby, užití fluidních kotlů a alternativního paliva se zdá výhodné.

45 Podstata technického řešení

Technické řešení se týká paliva, které je ve formě pelet nebo briket a je vyrobeno z čistírenského kalu, papírenského kalu, nebo případně z jejich směsi. Jako vstupní surovinu lze použít kal z čistíren odpadních vod (ČOV) a vláknitý odpad z papírny. Oba druhy odpadního kalu obsahují cca 80 hmotn. % vody. Značný podíl vody se z kalu odstraní předsušením na volném prostranství. Obsah vody se tak sníží na hodnotu kolem 20 hmotn. %. Kaly se následně dosuší a zbaví patogenních mikroorganismů (hygienizace) v rotační peci, s výhodou při teplotě 140 °C po dobu 2 hodin. Dosušením vznikne zdravotně nezávadný materiál o vlhkosti 12 až 15 hmotn. %. Papírenské kaly sušením spečené do větších kusů se rozemelou na homogenní materiál (s výhodou o velikosti částic 2 až 5 mm), kaly z ČOV není nutno dále upravovat.

Předmětem předkládaného technického řešení je pevné palivo vhodné zejména pro spalování ve fluidních kotlích ve vrstvě inertního materiálu, zejména písku o velikosti částic 0,6 až 2 mm, a teplotě spalování 850 °C. Pevné palivo sestává z odpadního kalu z čistírenského a/nebo papírenského průmyslu, vysušeného na vlhkost v rozmezí od 12 do 15 hmotn. % a vykazuje spalné teplo v rozmezí od 12 do 15,5 MJ/kg a výhřevnost v rozmezí od 10,5 do 14,5 MJ/kg.

Ve výhodném provedení je pevné palivo podle předkládaného technického řešení vyrobitelné způsobem, kdy se kal z čistírny odpadních vod, a popřípadě vláknitý odpad z papírny, nejprve předsuší na vzduchu na obsah vody přibližně 20 hmotn. % a následně se dosuší v rotační peci při teplotě alespoň 140 °C na výsledný obsah vody 12 až 15 hmotn. %, popřípadě se výsledný materiál rozemele na částice o velikosti 2 až 5 mm.

V různých provedení obsahuje palivo podle předkládaného technického řešení kal z čistírny odpadních vod a vláknitý odpad z papírny v hmotnostních poměrech od 2:1 do 5:1, s výhodou 4:1.

Ve výhodném provedení jsou sušené kaly z ČOV, případně jejich směs s papírenským kalem (s výhodou v poměru 4:1 hm., kal ČOV: papírenský kal), převedeny do formy pelet (s výhodou průměr v rozmezí od 5 do 10 mm, výhodněji 6 mm, délka v rozmezí 10 až 15 mm) nebo briket (s výhodou průměr v rozmezí od 5 do 8 cm, výhodněji 6 cm, délka v rozmezí od 4 do 8 cm, výhodněji 8 cm) o hustotě s výhodou 1365 kg/m³.

Výše uvedené pelety mají spalné teplo v rozmezí od 12 do 14 MJ/kg a výhřevnost v rozmezí od 10,5 do 13,5 MJ/kg. Výše uvedené brikety vykazují spalné teplo v rozmezí od 12 do 15,5 MJ/kg a výhřevnost v rozmezí od 11 do 14,5 MJ/kg.

Spalné teplo je definováno jako takové množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením jednotkového množství paliva. Výhřevnost je definována jako vlastnost paliva, která udává, kolik energie se uvolní úplným spálením jedné jednotky. Proti spalnému teplu není v hodnotě zahrnuto měrné skupenské teplo páry, obsažené ve spalínách. Předpokládá se, že její teplo je nevyužitelné a uniká v plynném stavu se spalínami. Proto je hodnota spalného tepla vždy větší nebo rovna hodnotě výhřevnosti. Rovnost nastává, když spalováním nevzniká voda.

Pevné palivo podle předkládaného technického řešení ve formě pelet je určeno zejména pro fluidní spalování samostatně nebo v kombinaci s jiným pevným palivem o minimální výhřevnosti 10 MJ/kg, například uhlím, zemědělskou biomasou nebo dřevní štěpkou.

Pevné palivo podle předkládaného technického řešení ve formě briket je zejména určeno pro fluidní spalování po předchozím podrcení nebo pro spalování v kotlích s pevným roštem, buď samostatně nebo v kombinaci s jiným pevným palivem o minimální výhřevnosti 10 MJ/kg, například uhlím, zemědělskou biomasou nebo dřevní štěpkou.

45 Objasnění výkresů

Obr. 1: Pelety ze směsi čistírenského a papírenského kalu.

Obr. 2: Brikety ze směsi čistírenského a papírenského kalu.

50

Obr. 3: Experimentální stanovení minimální rychlosti fluidace frakce písku 0,6 až 1,5 mm.

Obr. 4: Minimální rychlosti fluidace frakce písku 0,6 až 1,5 mm s 5% obsahem pelet.

Příklady uskutečnění technického řešeníPříklad 1: *Výroba pevného paliva*

- 5 Pevné palivo podle předkládaného technického řešení bylo vyrobeno sušením a hygienizováním čistírenského kalu, papírenského kalu, nebo případně jejich směsi v rotační peci při teplotě 140 °C po dobu 2 hodin. Připravený zdravotně nezávadný materiál vykazoval obsah vody 12 až 15 hmotn. %. Papírenský kal agregovaný do větších kusů byl rozemlet na homogenní materiál (velikost částic 2 až 5 mm), čistírenský kal nebyl dále upravován. Čistírenský kal, případně jeho
10 směs s papírenským kalem (4:1 hmotn.), byl převeden do formy pelet (obr. 1, průměr 6 mm, délka 10 až 15 mm) nebo briket (obr. 2, průměr 6 cm, délka 8 cm). Výhřevnosti a spalná tepla vyrobených paliv jsou uvedena v tabulce 1 níže. Hodnoty výhřevnosti a spalného tepla stanovené kalorimetricky a hodnoty obsahu celkové vody (Zkušební laboratoř č.1045.1. Strojírenský zkušební ústav, s.p. Zkušební laboratoř, Hudcova 424/56b, 62100 Brno; Stanovení spalného tepla a výhřevnosti: ČSN EN ISO 18125; Stanovení obsahu celkové vody: ČSN EN ISO 18134-2) jsou
15 uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Spalné teplo a výhřevnost paliva z čistírenského a směsného kalu

Materiál	Forma	Spalné teplo [MJ/kg]	Výhřevnost [MJ/kg]	Obsah vody [%]
Čistírenské kaly	pelety	11,95	10,62	14,2
	brikety	12,09	10,77	11,7
Směsné kaly (čistírenské/papírenské v poměru 4:1)	pelety	11,94	10,61	17,2
	brikety	13,43	12,02	14,1

20

Výhřevnosti a spalná tepla čistírenského a papírenského kalu se příliš neliší, a proto není třeba je stanovovat pro různá složení obou kalů.

- 25 Pevné palivo podle předkládaného technického řešení ve formě pelet nebo briket má elementární složení uvedené v tabulce 2.

Tabulka 2: Prvkové složení pevného paliva ze směsi čistírenských a papírenských kalů stanovené na základě literatury (Prasad a Basu, 2017, Otero et al., 2011).

Prvek	C	H	S	N	O	Popel	Vlhkost
% hmotnostní	32,71	4,55	0,78	3,30	18,60	28,06	12,00

30

Po spálení pelet nebo briket je obsah těžkých kovů v popelu v rozmezí od 4 do 6 hmotn.%. Při očekávané redistribuci těžkých kovů při standartním uspořádání čištění spalin při fluidním spalování bude koncentrace těžkých kovů ve spalinách odpovídat normě (Karásek, 2010).

- 35 Příklad 2: *Výpočet stechiometrické spotřeby vzduchu při spalování*

Výpočet stechiometrické spotřeby suchého vzduchu na spálení 1 kg pelet se provede za následujících předpokladů:

- 40 1. Spalovací rovnice:





2. Tvorba NO_x je ignorována.
- 5 3. Výpočet je proveden za standartních podmínek: tlak 101,325 kPa, teplota 273,15 K, objem 1 kilomolu plynu = 22,41 m³.
- 10 4. Koncentrace kyslíku ve vzduchu je rovna 21 obj. %.
5. Obsah CO₂ v suchém vzduchu se pohybuje kolem 0,035 obj. %.
6. Obsah Ar v suchém vzduchu se pohybuje kolem 0,92 obj. %.
- 15 7. Průměrnou vlhkost vzduchu v České republice můžeme odhadnout na 50 obj. %.
8. Doporučený přebytek vzduchu: 10 až 50 obj. %.
9. Ve spalinách se očekává koncentrace kyslíku 5 až 6 obj. %.
- 20 10. Bez recyklace popílku je účinnost spalování přibližně 90%; avšak při jeho recyklaci může být až 99%. Pro jednoduchost uvažujme účinnost spalování 100%.
11. Rychlost fluidizačního vzduchu je doporučena 2 až 2,5 m/s.

25 Z hmotové bilance za těchto podmínek vypočteme stechiometrickou spotřebu kyslíku rovnou 0,0329 kmol, neboli 0,738 Nm³, což pro koncentraci 21 obj. % kyslíku ve vzduchu odpovídá 3,516 Nm³ suchého vzduchu. Při průměrné vlhkosti vzduchu 50 obj. % potom spotřeba vzduchu bude 3,527 Nm³.

30 Ve spalinách se bude vyskytovat CO₂ v množství 0,61 Nm³, SO₂ v množství 0,0054 Nm³, N₂ v množství 2,80 Nm³, Ar v množství 0,032 Nm³, a vodní pára v množství 0,665 Nm³; celkem tedy spaliny vlhké v množství 4,119 Nm³. Při přebytku vzduchu 45 % vycházejí skutečné spaliny 5,706 Nm³.

35 Při fluidním spalování je třeba sladit spotřebu vzduchu pro spalování s požadovaným množstvím fluidačního vzduchu, které závisí na velikosti částic fluidní vrstvy. Pro fluidní spalování pelet ve vrstvě písku při teplotě 850 °C lze navrhnout následující podmínky:

40 Písek: průměr částic: 2 mm, hustota: 2624 kg/m³

Čistírenské kaly: efektivní průměr pelet: 8,68 mm vypočtený jako průměr koule mající stejný objem jako peleta, hustota: 1365 kg/m³

45 Pro výpočet minimální fluidační rychlosti U_{mf} se použije korelace podle Broadhursta a Beckera (1975). Výsledky pro částice písku a pelet kalů jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Vlastnosti a provozní parametry částic paliva, písku a vzduchu.

U =rychlost, V =průtok, mf = podmínky při minimální fluidaci

50

Materiál	Písek	Palivo-pelety	Vzduch
Velikost částic, mm	2	8,68	
Hustota, kg/m ³	2623,53	1365	0,332
Teplota, °C	850	850	850

Viskozita, Pa.s			4,394x10 ⁻⁵
Tlak, kPa			107,325
U_{mf} , m/s	1,04	2,899	
U , m/s	2,626	2,626	
V , m ³ /s	35,449	35,449	
U/ U_{mf}	2,52	0,91	

Při fluidním spalování pelet podle předkládaného technického řešení ve vrstvě inertního materiálu (písku) se předpokládají následující parametry:

- 5 Inertní vrstva písku: velikost částic 0,6 až 2 mm, s minimální rychlostí fluidace určené experimentálně z průběhu tlakové ztráty fluidní vrstvy na mimovrstvové rychlosti vzduchu (viz obr. 3 a obr. 4) a ověřená výpočtem z korelace podle Broadhursta a Beckera (1975) je 0,768 m/s při teplotě vzduchu 25,5 °C a atmosférickém tlaku 101,1 kPa, a pro částice písku o velikosti 1 až 2 mm při stejných podmínkách vypočtené podle stejné korelace 0,776 m/s. Dávkování pevného paliva podle předkládaného technického řešení do horké fluidní vrstvy při fluidním spalování je takové, aby palivo tvořilo 5 až 10 % celkové hmoty fluidní vrstvy. Při takové koncentraci se zvýší minimální rychlost fluidace materiálu vrstvy na 0,87 až 0,88 m/s. Při této rychlosti fluidačního vzduchu je ovšem promíchávání fluidní vrstvy silně omezeno, a proto skutečná rychlost fluidačního vzduchu se zvýší na 2 až 2,7násobek minimální rychlosti fluidace.

15

Parametry elektrárenského fluidního kotle:

- Rošt o rozměrech 4,5 x 3 m, přívod vzduchu 6 Nm³/s, přívod paliva 1,428 kg/s, výhřevnost paliva 15 MJ/kg, teplota fluidní vrstvy 850 °C, koncentrace kyslíku ve spalinách 6 obj. %. Náš úkol je nahradit stávající palivo peletizovanou směsí čistírenského a papírenského kalu (délka 10 mm, průměr 6 mm), o průměrné vlhkosti 13,5 % a průměrné výhřevnosti 12 MJ/kg. Pro stejný tepelný výkon kotle tedy budeme potřebovat dávkování 1,785 kg/s pelet. Za použití stejných hmotových bilancí jako předtím vztažených na dávkování 1,785 kg/s pelet dostáváme:

- 25 Stechiometrická spotřeba kyslíku se rovná 0,0588 kmol/s, neboli 1,318Nm³/s, což odpovídá 6,275 Nm³/s suchého a 6,294 Nm³/s vlhkého vzduchu.

- Ve (stechiometrických) spalinách se bude vyskytovat CO₂ v množství 1,09 Nm³/s, SO₂ v množství 0,0097 Nm³/s, N₂ v množství 5 Nm³/s, Ar v množství 0,058 Nm³/s, a vodní pára v množství 1,188 Nm³/s; celkem tedy spaliny vlhké v množství 7,351 Nm³/s. Při přebytku vzduchu 45 % (odpovídajícímu 9,13 Nm³/s) vycházejí skutečné spaliny 10,183 Nm³/s a koncentrace kyslíku ve spalinách 5,82 %. Na základě výpočtů lze palivo použít pro fluidní spalování a zpracovat tak jinak odpadní materiál.

- 35 Použitá literatura

T.E. Broadhurst, H.A. Becker (1975): Onset of fluidization and slugging in beds of uniform particles. AIChE Journal 21, 238–247.

- 40 N.M. El Fishawi (1984): Roundness and sphericity of the delta coastal sands. Acta Mineralogica-Petrographical, Szeged, 26/21, 235–245.

International Energy Outlook 2017, Rep. No. DOE/EIA-0484.

- 45 R Karásek (2010): Transfer těžkých kovů při spalování odpadů. Doktorská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

M. Otero, C. Diez, L.F. Calvo, A.I. Garcia, A. Moran (2001): Analysis of the co-combustion of sewage sludge and coal by TG-MS. Biomass and Bioenergy, 22, 319–329.

5 L.S.V. Prasad, D. SheshuBabu (2017): Design Aspects of Bubbling Fluidised Bed Boiler for Municipal Solid Waste. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, 5, 1–14.

10 NÁROKY NA OCHRANU

- 10 1. Pevné palivo pro spalování ve fluidních kotlích, **vyznačené tím**, že sestává z odpadního kalu z čistírenského a/nebo papírenského průmyslu, vysušeného na vlhkost v rozmezí od 12 do 15 hmotn. %, jehož spalné teplo je v rozmezí od 12 do 15,5 MJ/kg a výhřevnost v rozmezí od 10,5 do 14,5 MJ/kg.
- 15 2. Pevné palivo podle nároku 1, **vyznačené tím**, že sestává z odpadního kalu z čistírenského a papírenského průmyslu v hmotnostním poměru v rozmezí od 2:1 do 5:1, s výhodou v hmotnostním poměru 4:1.
- 20 3. Pevné palivo podle nároku 1 nebo 2, **vyznačené tím**, že je ve formě pelet.
4. Pevné palivo podle nároku 1 nebo 2, **vyznačené tím**, že je ve formě briket.
5. Pevné palivo podle nároku 3, **vyznačené tím**, že délka pelet je v rozmezí od 10 do 15 mm
25 a jejich průměr je v rozmezí od 5 do 10 mm, s výhodou je jejich průměr 6 mm.
6. Pevné palivo podle nároku 5, **vyznačené tím**, že vykazuje spalné teplo v rozmezí od 12 do 14 MJ/kg a výhřevnost v rozmezí od 10,5 do 13,5 MJ/kg.
- 30 7. Pevné palivo podle nároku 4, **vyznačené tím**, že délka briket je v rozmezí od 40 do 80 mm a jejich průměr je v rozmezí od 50 do 80 mm, s výhodou je jejich průměr 65 mm.
8. Pevné palivo podle nároku 7, **vyznačené tím**, že vykazuje spalné teplo v rozmezí od 12 do 15,5 MJ/kg a výhřevnost v rozmezí od 11 do 14,5 MJ/kg.

35

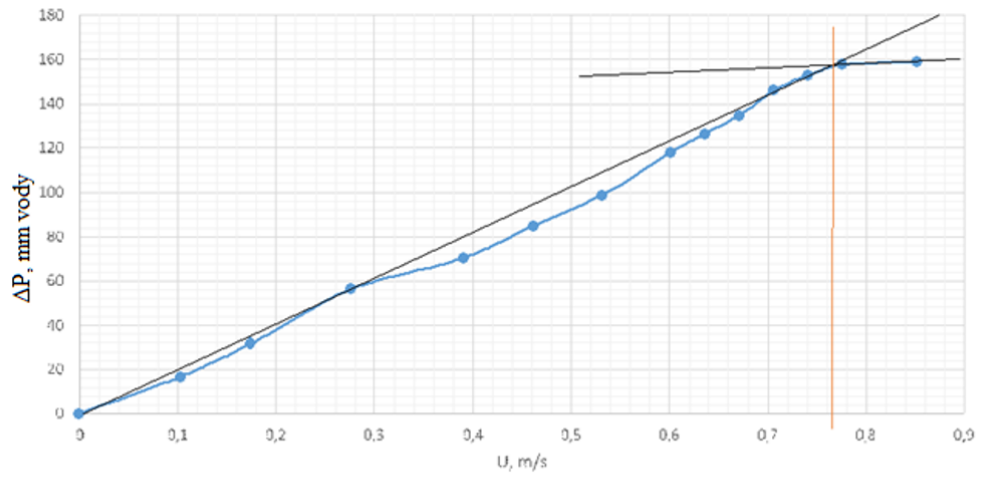
2 výkresy



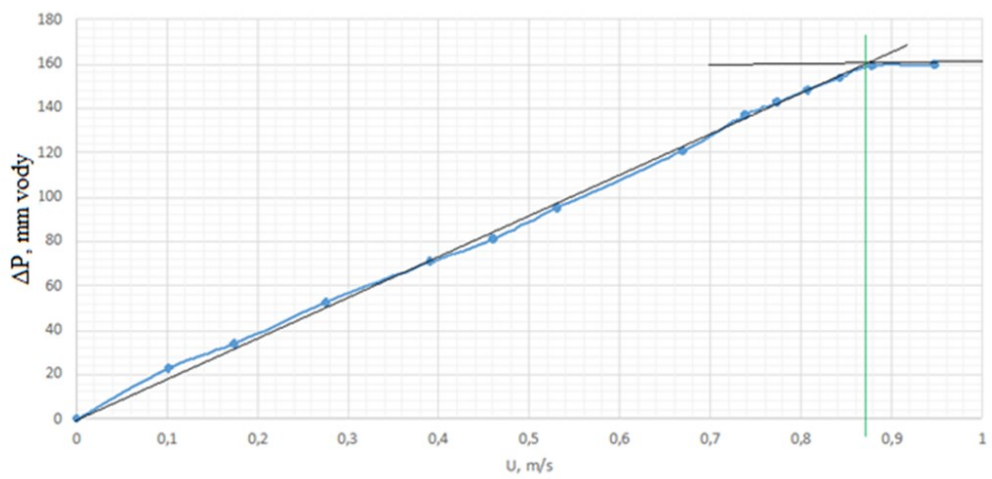
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4