

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

36 946

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

B01D 53/74 (2006.01)

B01D 53/64 (2006.01)

B03C 3/34 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2023-40735**
(22) Přihlášeno: **14.02.2023**
(47) Zapsáno: **27.03.2023**

- (73) Majitel:
GREEN ENERGY CONSULTING, s.r.o., Praha
10, Strašnice, CZ
Technická univerzita v Liberci, Liberec, Liberec I-
Staré Město, CZ
- (72) Původce:
Ing. Tomáš Špirek, Dobřejovice, CZ
RNDr. Milan Bouša, Ph.D., Liberec, Liberec I-
Staré Město, CZ
MSc. Baturalp Yalcinkaya, Ph.D., Mníšek, CZ
Ing. Vojtěch Růžek, Liberec, Liberec XII-Staré
Pavlovice, CZ
Ing. Katarzyna Ewa Buczkowska, Ph.D., Liberec,
Liberec XXX-Vratislavice nad Nisou, CZ
prof. Ing. Petr Louda, CSc., Dlouhý Most, CZ
- (74) Zástupce:
Dobroslav Musil a partneři s.r.o., Zábrdovická
917/11b, 615 00 Brno, Zábrdovice

- (54) Název užitného vzoru:
**Zařízení pro separaci těžkých kovů,
zejména rtuti, ze spalin**

CZ 36946 U1

Zařízení pro separaci těžkých kovů, zejména rtuti, ze spalin

Oblast techniky

5

Vynález se týká zařízení pro separaci těžkých kovů, zejména rtuti ze spalin.

Dosavadní stav techniky

10

Jako těžké kovy se označují kovové či polokovové prvky těžší než železo představující hrozbu pro lidské zdraví a životní prostředí kvůli své toxicitě i za nízkých koncentrací. Jejich hlavní nebezpečí spočívá ve faktické nemožnosti jejich odstranění či přeměně, neboť nemohou zdegradovat biologicky a jejich sloučeniny, například oxidy, jsou často též toxické. Další nebezpečí je v jejich bioakumulaci a biomagnifikaci, kdy jsou absorbovány živým organismem, který je následně není schopen vyloučit. Těžké kovy rovněž způsobují dlouhodobé zamoření půdy či vodních zdrojů a mohou kontaminovat i vzduch. Do životního prostředí jsou uvolňovány ve značné míře v důsledku spalování fosilních paliv či odpadů, metalurgie či v menší míře z dopravy, kde se jedná zejména o pozůstatky tetraethylolova, které se dříve přidávalo do benzínu jako aditivum bránící jeho samovolnému vznícení. Nejčastěji se vyskytujícími těžkými kovy jsou olovo, kadmium a rtuť, dále mezi ně patří například arzen, chrom či thalium. Velkým problémem u rtuti oproti ostatním těžkým kovům je její vysoká těkavost a výrazné riziko zamoření atmosféry především v blízkosti jejích zdrojů, tedy například tepelných elektráren či spaloven komunálního odpadu.

25

Z těchto důvodů je vhodné emise těžkých kovů co nejvíce omezit, a to především omezováním jejich použití, například přechodem na bezolovnatý benzin, omezováním spalování fosilních paliv, nebo alespoň zabránění uvolňování těžkých kovů do životního prostředí pomocí filtrace spalin, čištění odpadních vod apod.

30

V roce 2017 bylo přijato Nařízení Evropského parlamentu a Rady EU 2017/852 o rtuti. V tomto nařízení jde konkrétně o omezení použití rtuti v určitých výrobních procesech, včetně spalovacích procesů využívajících fosilní paliva. Vědecká studie Evropské agentury pro životní prostředí řadí Českou republiku díky výrobě energie spalováním hnědého uhlí a díky výrobě energií z likvidace komunálního odpadu spalováním a skládkováním mezi důležité znečišťovatele životního prostředí jedovatými těžkými kovy.

35

Jako nejrizikovější z těžkých kovů se jeví rtuť. V současnosti je nejčastější metodou zachytu rtuti nebo jejích sloučenin především zachyt nejrozličnějšími sorbenty, například na bázi aktivního uhlí, bromidů či vápníku. Dále lze používat metody zachytu pomocí adsorbérů či membrán. Hlavními nevýhodami těchto metod je například nutnost kombinace s jinými technologiemi. Například bromidový sorbent je nutné kombinovat s mokrým odsiřováním spalin kvůli riziku koroze. Další nevýhodou je často nutnost dávkování přímo do ohniště či před odlučovač popílku, což může být problematické pro velké spalovací zdroje. Další nevýhodou pak bývá jak vysoká investiční náročnost, tak i vysoká finanční náročnost provozu těchto řešení. Navíc tato řešení nemusí vždy stačit k dosažení přísnějších emisních limitů EU.

40

45

V současné době jsou v ČR známé pouze dvě realizace zachytu rtuti, a to na Elektrárně Mělník a na Elektrárně Trmice. Elektrárna Trmice řeší zachyt rtuti formou vyššího přebytku vápence do adsorbérů odsiřovacího zařízení a Elektrárna Mělník provádí zachyt rtuti na teflonové textilií, přičemž velikost otvorů této textilie je o 20 % menší, než je průměrná velikost atomů rtuti. Obě realizace jsou ve formě prototypů a dle veřejně dostupných dokumentů MŽP a ČIŽP prozatím neplní limity emise rtuti dle nařízení Rady EU 2017/852 o rtuti.

50

Cílem technického řešení je vytvořit zařízení schopné zachycovat a separovat těžké kovy ze spalin a snížit obsah těžkých kovů, zejména rtuti ve spalinách pod emisní limity stanovené nařízením Rady EU 2017/852.

5

Podstata technického řešení

Cíle technického řešení je dosaženo zařízením pro separaci těžkých kovů, zejména rtuti, ze spalin, jehož podstata spočívá v tom, že obsahuje ionizační komoru opatřenou vstupem spalin, proti němuž je uspořádán výstup spalin, přičemž v ionizační komoře jsou proti sobě uloženy kladná elektroda a otočná válcová záporná elektroda, mezi nimiž je příčně ke směru proudění spalin vytvořeno elektrické pole, přičemž nad ionizační komorou je nad elektrickým polem uspořádán zdroj RTG záření, jehož záření směřuje napříč elektrickým polem, přičemž k ionizační komoře je za otočnou válcovou zápornou elektrodou přiřazena záchytná komora těžkých kovů. V ionizační komoře dochází k interakci RTG záření s jednotlivými atomy proudících spalin. Záření je atomem pohlceno a dojde k vyrazení elektronu z atomu, takže vznikne kladný ion, který je přitahován na zápornou elektrodu, na níž se rekombinuje s elektronem a zpětně vzniká těžký kov.

Pro usnadnění průchodu RTG záření je horní stěna ionizační komory v místě zdroje RTG záření tvořena membránou prostupnou pro RTG záření a neprostupnou pro spaliny, což snižuje útlum RTG záření při průchodu do ionizační komory.

Pro lepší zachycování těžkých kovů na povrchu otočné válcové záporné elektrody jsou na povrchu vytvořeny prohlubně, které jsou ve výhodném provedení tvořeny kulovými plochami o průměru 100 až 2000 μm .

S cílem udržení rtuti v kapalném stavu je záporná elektroda chlazená, ve výhodném provedení je v záporné elektrodě vytvořena dutina, kterou protéká chladicí voda. Kapalná rtuť stéká do prohlubní na povrchu záporné elektrody a otáčením záporné elektrody je dopravována do záchytné komory.

Aby se zabránilo průchodu spalin do záchytné komory je mezi ionizační komorou a záchytnou komorou proti obvodu záporné elektrody uspořádáno těsnění, které přiléhá na zápornou elektrodu.

V záchytné komoře dochází ke snímání těžkých kovů z povrchu záporné elektrody. Pro zabezpečení dokonalého snímání je příslušné části záporné elektrody přiřazena vzduchová tryska, jejíž výstup je nasměrován k povrchu otočné válcové záporné elektrody.

Pro ukládání těžkých kovů v tuhém a kapalném skupenství je na dně záchytné komory vytvořena kumulační oblast.

Pro zachycování těžkých kovů v plynném skupenství je záchytná komora opatřena filtračním systémem uspořádaným v odtahu vzduchu ze záchytné komory.

45

Objasnění výkresů

Příkladné provedení zařízení podle předkládaného technického řešení je znázorněno na přiložených výkresech, kde představuje:

50

obr. 1 schéma zařízení pro separaci těžkých kovů; a

obr. 2 schéma ionizační komory.

Příklady uskutečnění technického řešení

Předkládané technické řešení je založeno na ionizaci atomů těžkých kovů pomocí rentgenového záření, následným odloučením iontů těžkých kovů pomocí elektromagnetického pole, záchytem iontů těžkých kovů a jejich následném oddělení.

Rentgenové záření (RTG) je spektrem fotonů s energiemi v rozsahu zhruba 0,1 až 200 keV. V ionizační komoře separátoru dochází k interakci záření s jednotlivými atomy proudících spalin. Pro tento rozsah energií je dominantním procesem tzv. fotoelektrický jev, při kterém je záření pohlceno atomem a dojde k vyražení elektronu z atomu. Vzniká tedy kladný ion a elektron s energií řádově jednotky keV. Tento energetický elektron může dále ionizovat okolní atomy a vytvářet „sekundární“ ionty a elektrony.

Při šíření záření ze zdroje dochází k jeho absorpci (útlumu) na atomech látky, kterými prochází, s tím, že nejsilněji jsou tlumeny fotony s nižší energií. Se vzdáleností od zdroje záření v řádu centimetrů dochází k ochuzování spektra energií zejména v oblasti 1 až 10 keV. Je potřeba zejména zabránit stínění záření v rozsahu energií 1 až 20 keV, což je energie maximální účinnosti ionizace rtuti. Pro maximální využití RTG záření je nutné jeho zdroj umístit co nejbližše reaktoru se spalinami. Důležitá je široká škálovatelnost intenzity záření tak, aby bylo možné zohlednit konkrétní parametry provozu, jako je například koncentrace těžkých kovů ve spalinách, rozměr komory či celkový průtok spalin komorou.

Srovnání účinnosti ionizace rtuti a jiných těžkých kovů RTG zářeními je uvedeno v tabulce 1.

25 Tabulka 1

Prvek	Atomové číslo	Molární hmotnost (g/mol)	Běžné oxidační stavy	Ionizační mez (eV)	Ionizační frekvence (10^{-6} s^{-1})	Normovaná ionizační účinnost
Co	27	58,93	(0), (+2), (+3)	7,88	3,09	0,19
As	33	74,92	(0), (+3), (+5)	9,79	3,26	0,20
Cd	48	112,41	(0), (+2)	8,99	6,44	0,40
Sb	51	121,76	(0), (+3), (+5)	8,61	7,78	0,49
Hg	80	303,49	(0), (+1), (+2)	10,44	16,0	1,00
Tl	81	204,38	(0), (+1), (+3)	6,11	16,3	1,02
Pb	82	207,20	(0), (+2), (+4)	7,42	16,6	1,04

Ionizační frekvence v tabulce 1 vyjadřuje kolikrát za sekundu (v průměru) dojde k ionizaci atomu těžkého kovu ozářeného RTG zářeními s daným spektrálním zářivým tokem a udává počet fotonů dané energie dopadající na jednotku plochy. Pro výpočet byl použit simulovaný spektrální zářivý tok rentgenky s W anodou (napětí 100 kV, proud 1 mA) ve vzdálenosti 1 cm a účinné průřezy pro ionizaci jednotlivých těžkých kovů fotonem v závislosti na jeho energii. Normovaná ionizační účinnost je podíl ionizační frekvence daného těžkého kovu a ionizační frekvence Hg. Vyjadřuje tedy, kolikrát častěji dojde k ionizaci daného prvku ve srovnání s atomem Hg, pokud by byly zastoupeny ve stejné atomární koncentraci, přičemž tato hodnota je nezávislá na celkové intenzitě RTG záření.

Příkladné provedení zařízení pro separaci těžkých kovů je schematicky znázorněno na obr. 1 a 2 a obsahuje ionizační komoru 1, ve které je uložena kladná elektroda 2, proti níž je otočně uložena záporná elektroda 9, která je tvořena válcem, přičemž elektrody 2, 9 jsou známým způsobem připojeny k neznázorněnému zdroji vysokého stejnosměrného napětí v rozsahu 100 V až 10 kV, což mezi nimi vytváří elektrické pole 15. Nad ionizační komorou 1 je v oblasti nad elektrickým polem 15 uspořádán zdroj 3 RTG záření, přičemž horní stěna ionizační komory 1 je v místě

zdroje 3 RTG záření tvořena membránou 4 prostupnou pro RTG záření a neprostupnou pro spaliny. Ionizační komora 1 je opatřena vstupem 6 spalin, proti němuž je uspořádán výstup 16 spalin, přičemž spaliny procházejí ionizační komorou 1 napříč elektrickým polem 15. Zdroj 3 RTG záření vydává RTG záření 5 v příčném směru k proudu 60 spalin a v příčném směru k elektrickému poli 15.

V důsledku ionizace atomů v ionizační komoře 1 dochází tedy ke vzniku slabě ionizovaného plazmatu. Vzhledem k tomu, že ionizované atomy se nacházejí v elektrickém poli 15, jsou kladné ionty přitahovány na zápornou elektrodu 9 a elektrony na kladnou elektrodu 2. Směr 7 usměrněných iontů je naznačen šipkami.

Ionty rtuti a dalších těžkých kovů obsažených ve spalinách 60 následně dopadají na záporně nabitou elektrodu 9, stejně jako ionty plynů, zejména dusíku a kyslíku, přičemž – dusíku je asi 70 % a kyslíku 8 % plynné složky. Na záporné elektrodě se ionty rekombinují s elektronem a znovu se přemění na neutrální atomy těžkých kovů nebo plynů. Povrch této záporné elektrody 9 je pokryt prohlubněmi 90, které jsou tvořeny kulovými plochami o průměru 100 až 2000 μm, ve kterých se zachycené těžké kovy koncentrují a jsou v nich přenášeny do navazující záchytné komory 12. Četnost prohlubní 90 by měla pokrývat efektivně plochu záporné elektrody 9, tedy poměrem volné plochy a prohlubní 1:1 až 1:2. Většina těžkých kovů po rekombinaci zůstane na záporné elektrodě 9 přichycena jako pevné částice, v případě rtuti jako kapalné částice nebo amalgámy, přičemž případné odpařování rtuti je minimalizováno chlazením záporné elektrody 9, takže rtuť na povrchu záporné elektrody 9 z kondenzuje. Chlazení záporné elektrody 9 je v příkladném provedení realizováno vodou protékající válcem záporné elektrody 9. Molekuly plynů (dusíku, kyslíku) na povrchu záporné elektrody 9 rovněž rekombinují a uvolňují se zpět do proudu spalin 60. Výhodou tohoto uspořádání je především možnost kontinuálního provozu.

Rotující válcová záporná elektroda 9 je uspořádána na rozhraní mezi ionizační komorou 1, kterou procházejí spaliny 60, a záchytnou komorou 12, ve které jsou zachycovány těžké kovy. Aby se zabránilo průniku plynů z ionizační komory 1 do záchytné komory 12 je na rozhraní mezi komorami v místě, kde je vzdálenost mezi stěnou ionizační komory 1 a válcovým povrchem záporné elektrody 9 nejmenší uspořádáno těsnění 10, které obě komory 1, 12 těsně odděluje a z důvodu zajištění těsnosti přiléhá na rotující válec záporné elektrody 9. Těsnění 10 může být vytvořeno například jako gumové nebo kartáčové.

Prohlubně 90 na povrchu záporné elektrody 9 slouží k zachycování těžkých kovů v pevném skupenství a rtuti ve skupenství kapalném, která steče do prohlubní 90, aby nebyla zachycena těsněním 10, nebo je rtuť těsněním 10 do prohlubní 90 z válcové části povrchu záporné elektrody 9 stírána. Proto musí být prohlubně 90 na povrchu záporné elektrody 9 výrazně menší, než je tloušťka předělu mezi ionizační komorou 1 a záchytnou komorou 12, aby se zabránilo komínovému efektu a úniku plynů spalin 60 do záchytné komory 12.

V záchytné komoře 12 je uspořádána vzduchová tryska 8, jejíž výstup je nasměrován k povrchu záporné elektrody 9. Proud vzduchu vystupující ze vzduchové trysky 8 sfoukne těžké kovy z povrchu záporné elektrody 9, jak je znázorněno šipkami 11, do záchytné komory 12. V záchytné komoře 12 se pak v důsledku gravitace ukládají těžké kovy v tuhém skupenství v kumulační oblasti 14 vytvořené na jejím dně. Vzduch přiváděný do záchytné komory 12 vzduchovou tryskou 8 pro ofukování povrchu záporné elektrody 9 je ze záchytné komory 12 odváděn odtahem 13, který je opatřen filtračním systémem 130 sloužícím k zachycení odpařené rtuti a jiných plynů.

Odvádění těžkých kovů shromážděných v kumulační oblasti 14 na dně záchytné komory 12 není znázorněno, ale bude realizováno odsáváním přes neznázorněný filtr z chitosanových vláken, který se pro filtraci těžkých kovů používá.

Průmyslová využitelnost

5 Toto zařízení lze využít pro separaci rtuti a jiných těžkých kovů z plyných zplodin, spalin apod., a to ve všech zařízeních, ve kterých dochází k uvolňování těžkých kovů, například v tepelných elektrárnách či spalovnách komunálního odpadu. Dále lze toto zařízení využít v chemickém průmyslu pro čištění plynů a kapalin.

10 Toto technické řešení nemá nedostatky současných zařízení pro separaci těžkých kovů a zároveň je finančně realizovatelné, což z něj dělá vhodného kandidáta pro sériovou výrobu a komerční využití pro plnění emisních limitů s relativně nízkými investičními náklady. Největší výhodou je fakt, že technologie je bezodpadová a vedlejší produkty lze dále využít, nebo je alespoň bezpečně izolovat za účelem následné fixace.

15 V tepelných elektrárnách, spalovnách komunálního odpadu i dalších aplikacích se tento separátor umísťuje na konci procesu čištění spalin, tedy především za filtrem či odlučovačem pevných částic, odsiřovacím systémem a denitrifikačním systémem, jinak by mohlo například docházet k rychlému zanášení systému odletovým popílkem, což by znemožňovalo kontinuální provoz kvůli nutnosti častého čištění.

NÁROKY NA OCHRANU

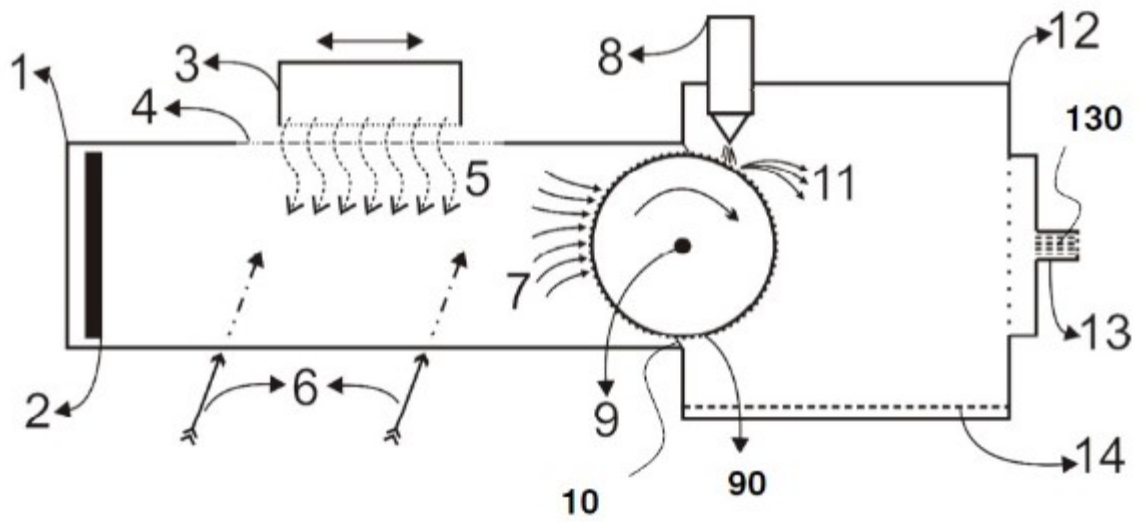
- 5 1. Zařízení pro separaci těžkých kovů, zejména rtuti, ze spalin, **vyznačující se tím**, že obsahuje ionizační komoru (1) opatřenou vstupem (6) spalin, proti němuž je uspořádán výstup (16) spalin, přičemž v ionizační komoře (1) jsou proti sobě uloženy kladná elektroda (2) a otočná válcová záporná elektroda (9), mezi nimiž je příčně ke směru proudění spalin (60) vytvořeno elektrické pole (15), přičemž nad ionizační komorou (1) je nad elektrickým polem (15) uspořádán zdroj (3) RTG záření, jehož záření směřuje napříč elektrickým polem (15), přičemž k ionizační komoře je za otočnou válcovou zápornou elektrodou (9) přiřazena záchytná komora (12) těžkých kovů.
- 10 2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že horní stěna ionizační komory (1) je v místě zdroje RTG záření tvořena membránou propustnou pro RTG záření a nepropustnou pro spalinu (60).
3. Zařízení podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že otočná válcová záporná elektroda (9) je na povrchu opatřena prohlubněmi (90).
- 15 4. Zařízení podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že prohlubně (90) jsou tvořeny kulovými plochami o průměru 100 až 2000 μm.
5. Zařízení podle libovolného z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že záporná elektroda (9) je chlazená.
6. Zařízení podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že v záporné elektrodě je vytvořena dutina, která je připojena ke zdroji chladicí vody.
- 20 7. Zařízení podle libovolného z předcházejících nároků 1 až 6, **vyznačující se tím**, že mezi ionizační komorou (1) a záchytnou komorou (12) je proti obvodu záporné elektrody (9) uspořádáno těsnění (10), které přiléhá na zápornou elektrodu (9).
- 25 8. Zařízení podle libovolného z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že v záchytné komoře (12) je příslušné části otočné válcové záporné elektrody (9) přiřazena vzduchová tryska (8), jejíž výstup je nasměrován k povrchu otočné válcové záporné elektrody (9).
9. Zařízení podle nároku 8, **vyznačující se tím**, že na dně záchytné komory je vytvořena kumulační oblast (14) pro ukládání těžkých kovů v tuhém a kapalném skupenství.
- 30 10. Zařízení podle nároku 8 nebo 9, **vyznačující se tím**, že záchytná komora (12) je opatřena odtahem (13) s filtračním systémem (130) sloužícím pro zachycení těžkých kovů v plynném skupenství.

2 výkresy

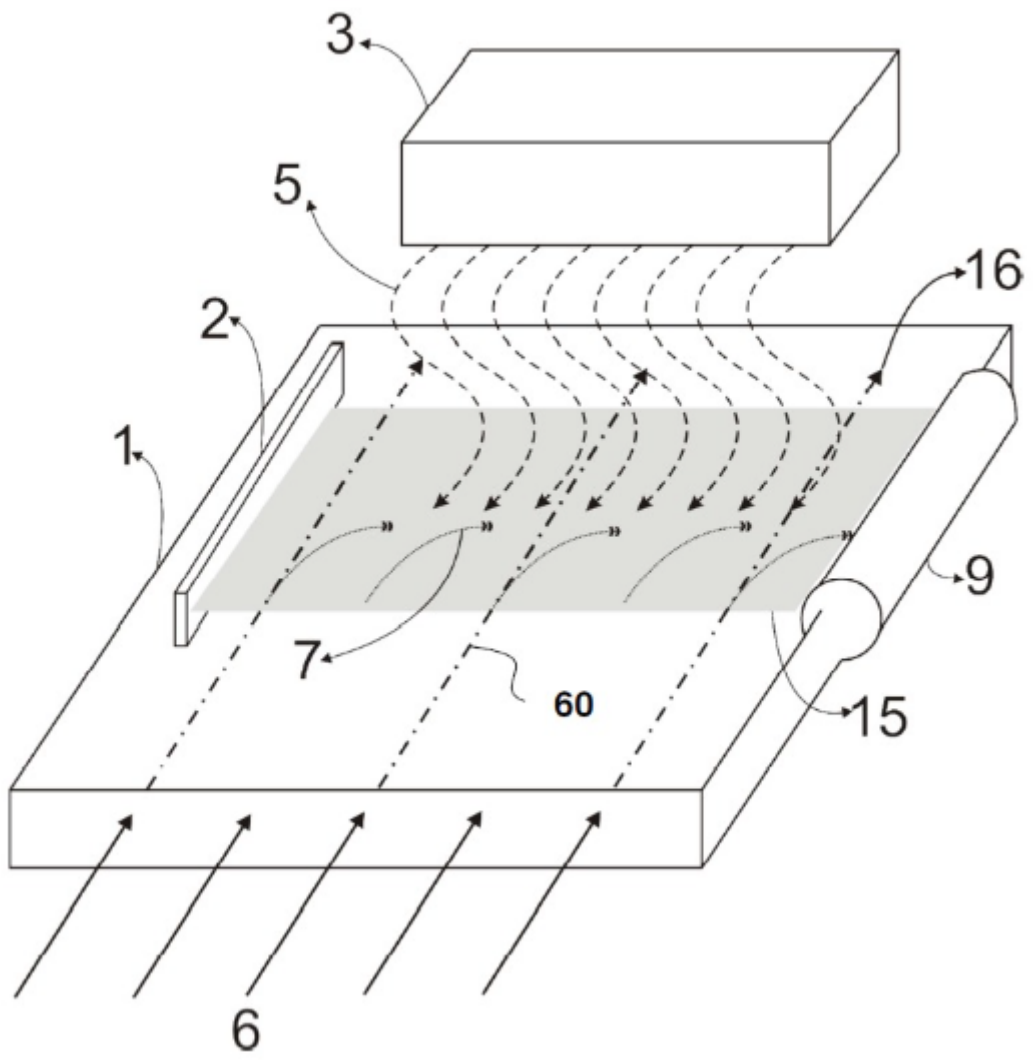
Seznam vztahových značek:

- 1 ionizační komora
- 2 kladná elektroda
- 3 zdroj RTG záření
- 4 membrána propustná pro RTG záření
- 5 RTG záření
- 6 vstup spalin
- 60 proud spalin
- 7 směr usměrněných iontů

- 8 vzduchová tryska
- 9 otočná válcová záporná elektroda
- 90 prohlubně na povrchu záporné elektrody
- 10 těsnění
- 11 šipky označující směr sfouknutí těžkých kovů ze záporné elektrody
- 12 záchytná komora
- 13 odtah vzduchu ze záchytné komory
- 130 filtrační systém
- 14 kumulační oblast záchytné komory
- 15 elektrické pole
- 16 výstup spalin



Obr. 1



Obr. 2