

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 28 424

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

**G01F 1/56** (2006.01)

**G01N 27/22** (2006.01)

**G01R 27/26** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2015-30889**

(22) Přihlášeno: **15.12.2014**

(47) Zapsáno: **07.07.2015**

(73) Majitel:  
Vysoká škola báňská - Technická univerzita  
Ostrava, Ostrava- Poruba, CZ

(72) Původce:  
Ing. David Žurovec, Fryčovice, CZ  
Ing. Daniel Gelnar, Ostrava-Poruba, CZ  
prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc., Ludgeřovice, CZ  
Ing. Jan Nečas, Ph.D., Ostrava- Hrabová, CZ

(54) Název užitého vzoru:  
**Validační skladovací zařízení k měření  
tokových procesů tomografickou metodou**

**CZ 28424 U1**

## Validační skladovací zařízení k měření tokových procesů tomografickou metodou

### Oblast techniky

Řešení se týká konstrukčního uspořádání validačního skladovacího zařízení, sloužícího k měření a sledování tokových procesů v jeho vnitřních prostorech pomocí tomografické metody.

### 5 Dosavadní stav techniky

Tomografická metoda se již používá v mnoha oblastech techniky, jako je například zdravotnictví, chemický průmysl, strojírenský průmysl apod. V každé této oblasti se tomografická metoda využívá pro jiné účely. Např. v patentové přihlášce RU 2008146843 je popsán vynález, který se týká způsobu a zařízení pro měření vícefázového průtoku látek.

10 V patentové přihlášce WO 03/004978 je popsán vynález, který se týká ultrazvukového tomografu sloužícího k měření prostorových a časových charakteristik pohybu látek, jako je vzduch a voda.

CN 10 2156 225 jsou popsána čidla pro měření průtoku prášku v potrubí, zejména metodou kapacitní tomografie.

15 V patentové přihlášce CN 10 2156 225 je popsán způsob měření tomografickou metodou, ale pouze pro měření rychlosti v potrubních systémech.

Měření tokových procesů pomocí tomografické metody uvnitř skladovacích zařízení a validace těchto procesů s využitím validačních zařízení však nikde popsány nejsou.

### Podstata technického řešení

20 Podstatou řešení je zařízení pro sledování a modelování mechanických skladovacích procesů sypkých hmot probíhajících uvnitř skladovacích zařízení. Při monitorování chování sypké hmoty uvnitř skladovacích zařízení se v průběhu nasypávání a následného vysypávání sypké hmoty důsledkem gravitace nebo cíleným tlakem sleduje, jak se materiál pohybuje, jak se chová při různých podmínkách, kde vznikají poruchy toku apod. Dále je možné sledovat veličiny, jako jsou teplota okolního prostředí, teplota a tlak sypkého materiálu v různých místech uvnitř skladovacího zařízení, vlhkost materiálu a také lze měřit vlastní frekvence konstrukce skladovacího zaří-  
25 zení, popřípadě vlastní frekvence sypké hmoty. Do sledovaného prostoru (zásobníku a výsypky) lze vkládat i jiné látky, než jsou sypké hmoty, například různé kapaliny. Dění ve sledovaném prostoru je také možno ovlivňovat působením energií, např. tepelné, tlakové, ultrazvukové apod. Sledované vlastnosti sypké hmoty a/nebo snímané informace se zaznamenávají pro další zpracování, s výhodou pro srovnávání se simulačním modelem.  
30

Cílem je zvýšení efektivity optimalizace skladování za účelem úspory energie a celkových nákladů na výrobu, a to i z hlediska časového v rámci vývoje nového prototypu či modifikovaného typu spolu se zajištěním funkčnosti zařízení.

35 V popisu uvedené optimalizační a validační metody využívají k simulaci nejčastěji metody MKP (Metoda konečných prvků), DEM (Discreet element method) nebo CFD (Computational fluid dynamics) a jako vyhodnocovací software nejčastěji programy ANSYS, EDEM nebo FLUENT.

V předkládaném řešení je užita simulační metoda DEM v kombinaci s vyhodnocovacím programem EDEM. Kombinací těchto metod lze značně zvýšit efektivnost jak skladování hmoty v systému, tak i snížit finanční náročnost systému, a to jak na vývoj, tak na provoz.

40 DEM simulace je moderní způsob 4D virtuálního návrhu, u kterého je možno na 3D zmodelovaném zařízení nebo situaci nasimulovat dynamický tok sypké hmoty. Vstupní zadávané hodnoty pro použití této metody jsou mechanicko-fyzikální vlastnosti materiálu, jako je zrnitost (granulometrie), vlhkost, sypná hmotnost, sypný úhel, počáteční soudržné napětí, úhel vnitřního a vnějšího tření, valivý odpor, koeficient restituace atd.

Aby bylo možno vytvořit simulaci dynamického procesu, je třeba nadefinovat a vymodelovat dopravovaný materiál. U částic sypké hmoty se nastaví rozměr a mechanicko-fyzikální vlastnosti. Ty jsou pak v programu EDEM programovány v procesech podle naměřené granulometrie a dalšího souboru vstupních naměřených hodnot a vytvoří se tak reálná směs pro dynamickou simulaci.

Další podmínkou k uskutečnění simulace je tvorba pracovního prostředí. Zde se nabízejí dvě možnosti. První je modelování situace nebo zařízení v externích 3D modelovacích programech jako jsou Autodesk Inventor, Solidworks, Catia, ProEngineer a jiné. Takto vytvořené modely je nutné převést na příslušný formát, který se pak importuje do aplikace pro simulace DEM. Další možnost je modelace zařízení přímo v programu EDEM, což je ovšem z hlediska složitosti ovládání při tvorbě modelu náročnější. Popsané technické řešení využívá obou těchto možností.

Z praxe je známo, že i ten sebelepší software prozatím nedokáže úplně nahradit skutečnost. I tyto simulace je třeba validovat a kalibrovat v jednoduchých procesech, aby při použití ve složitějších procesech na skladovacích zařízeních byly stejné, nebo s co nejmenší odchylkou se blížily reálné situaci. Každé skladovací zařízení je něčím specifické a dynamické procesy chování materiálu na těchto zařízeních také. Je třeba tyto simulace validovat a kalibrovat přímo na příslušném zařízení, které s touto problematikou souvisí. V tomto řešení je využíváno zařízení, které je určeno přímo ke kalibraci a validaci těchto dynamických procesů na skladovacím zařízení. Kalibrace se provádí tak, že na vytipovaných místech zkušebních zařízení, na kterých se výrazně mění dynamický tok materiálu, se měří mechanicko-fyzikální vlastnosti metodou přímou i nepřímou. Těmi jsou pak validovány a korigovány výpočetní modely v metodě DEM.

Pokud jsou základní dynamické procesy pro daný materiál validovány a kalibrovány všemi nutnými zkouškami, je možno začít s vyhodnocením dynamiky simulace při procesu skladování.

V 3D modelu zařízení se naprogramují příslušné rychlosti plnění či vyprazdňování zásobníku, dále se nastaví množství materiálu vstupujícího do systému a čas trvání simulace. Po ukončení výpočtu se nastaví barevné spektrum rychlostí, momentů, silového rozhraní, energií a je možno přímo na simulaci sledovat změny vlastností sypké hmoty v daném okamžiku. Všechny tyto hodnoty je možno v závislosti na čase uložit do grafů, simulací, obrázků a následně je možno je využít k optimalizaci celého skladovacího systému. Výstupními hodnotami jsou tedy tabulky, grafy, a diagramy které blíže popisují problémy a negativní účinky na systém.

Pomocí DEM lze ověřit správnost postupů v návrhu jak zařízení, tak i procesu samotného skladování. Nelze však tak učinit bez znalostí chování skladovaného materiálu.

V dalším kroku je nutné mít srovnání s reálným procesem skladování, kde se zkoušky provádějí nejčastěji snímáním pomocí tomografického zařízení. Podstatou kalibrace hmoty v DEM je dosahnout stavu chování jak je tomu u skutečné hmoty. Jinak řečeno, konečnou simulaci v DEM je zapotřebí ještě ověřit na reálném modelu. K tomu se používají základní validační experimenty vedoucí ke kalibraci simulace pomocí vstupních naměřených parametrů, které se získávají laboratorním měřením. Tyto hodnoty nejsou absolutní, ale vždy se pohybují v určitých mezích, které se využijí pro kalibraci modelu v DEM. Po dosažení žádané shody kalibračního DEM modelu s reálným experimentem pomocí volby vstupních parametrů DEM, lze užít tyto vstupy do další složitější simulace popisující proces při skladování hmoty. Výstupem ze simulací DEM jsou hodnoty rychlostních polí, kinetické a potenciální energie, či například hodnoty rychlostí unášeného materiálu. Získané výsledky nemají žádnou hodnotu, pokud nejsou nijak srovnávány s reálnými experimenty.

Pro optimalizaci systému je tedy nutno najít potřebné optimalizační parametry pro řešení problematiky spojené s daným skladovacím systémem, které se získají měřením na reálných modelech či skladovacích systémech. Pomocí získaných parametrů lze poté optimalizovat (validovat) skladovací systém pomocí DEM na virtuálně vytvořeném 3D modelu. Pomocí získaných parametrů je možno vytvořit řadu virtuálních měření, která v průběhu vyhodnocování lze korigovat a tak optimalizovat systém. Při optimalizaci s využitím matematického modelování a simulace procesů, kde není nutno fyzické výroby prototypů, stačí pouze vytvořit virtuální model systému či

- skladovacího úseku a podle potřeby měnit a optimalizovat prvky přímo v daném virtuálním modelu.
- Konstrukčně je validační skladovací zařízení řešeno tak, že sledovaný prostor (zásobník s výsypkou), kde probíhá měření, umožňuje úpravu velikosti a tvaru zásobníku a výsypky, což umožňuje měření materiálu v různých stavech skladování.
- Validační skladovací zařízení je tvořeno nosným rámem, na němž je připevněn zásobník, opatřený výsypkou s výpustným uzávěrem. Zařízení je opatřeno nejméně jedním vlhkostním čidlem a/nebo nejméně jedním teplotním čidlem a/nebo nejméně jedním tlakovým čidlem a/nebo nejméně jedním váhovým čidlem. Validační skladovací zařízení je dále po obvodu osazeno tomografickými senzory, které jsou napojeny na tomografické zařízení. Tomografické senzory jsou ve sledovaném prostoru rozmístěny do několika sledovacích rovin, které je možné měnit na základě změny konstrukčního rozložení skladovacího zařízení. Jsou rozmístěny tak, aby bylo zajištěno kontinuální získávání co nejpřesnějších výsledků v důležitých oblastech celého skladovacího zařízení.
- Tomografické senzory jsou připojeny pomocí vodičích kabelů a konektorů k tomografickému zařízení. Tomografické zařízení měří vodivost/permitivitu v každé zapojené rovině, za použití klasických měřících technik. Tomografické zařízení je pak napojeno na vyhodnocovací zařízení, které obsahuje vyhodnocovací a zobrazovací software.
- Tvar výsypky může nabývat běžných tvarů, např. může být rovný, deskovitý, jehlanovitý apod.
- Tokovými procesy je podle řešení myšleno chování sypkých materiálů při skladování, nasypávání a nejrozličnějších způsobech vysypávání.
- Skladovacími procesy jsou myšleny krátkodobé nebo dlouhodobé skladování, nasypávání materiálu a různé způsoby vysypávání. Všechny tyto procesy mohou být prováděny při různých provozních podmínkách.
- Elektrickými signály jsou myšleny všechny měřitelné hodnoty, např. údaje o hodnotě odporu, elektrického proudu, napětí apod.
- Vyhodnocovacím zařízením podle řešení je myšleno zařízení, které vyhodnocuje údaje ze senzorů a čidel, ukládá je do paměti, vysílá povely do řídicí jednotky, zpracovává povely z řídicí jednotky a validuje je s pomocí simulační metody. Vyhodnocovacím zařízením může být PC, tablet apod.
- Řídicí jednotkou podle řešení je myšleno zařízení, které otevírá a zavírá vstupy a výstupy látek (například kohouty, ventily) ovlivňujících mechanicko-fyzikální vlastnosti, zapíná a vypíná pohyby a natáčení pasivních prvků. Z řídicí jednotky vystupují povely pro vstupy a výstupy látek ovlivňujících mechanicko-fyzikální vlastnosti a povely pro vyhodnocovací zařízení.
- Zařízení je možno provozovat jako „cirkulační“, kdy je sypká hmota poté, co opustí validační zařízení dopravena z místa výstupu (výsypu) opět na místo vstupu (násypu) pomocí externího dopravního zařízení, nebo jako „průtokové“, kde jsou na vstupu a výstupu (násypu a výsypu) zásobníky. Při „průtokovém“ zapojení je možno také průběžně zjišťovat, jakým způsobem se materiál změnil (zda degradoval apod.).
- Další možností, jak upravovat mechanicko-fyzikální vlastnosti materiálu během skladování, plnění či vyprazdňování, může být přidávání energií a/nebo látek. Z tohoto důvodu může být na validačním skladovacím zařízením v různých místech umístěn jeden nebo více vstupů a jeden nebo více výstupů pro energie a látky.
- Pro změnu mechanicko-fyzikálních vlastností může být dále ve validačním skladovacím zařízením umístěn jeden nebo více pasivních prvků ve tvaru krychle, kvádra, koule, jehlanu, elipsoidu, paraboloidu, hyperboloidu nebo jejich kombinace. Na pasivních prvcích je umístěno nejméně jedno čidlo, pro měření mechanicko-fyzikálních vlastností. Pasivní prvky setrvávají během měření v klidu nebo konají přímočarý, křivočarý, kruhový, rotační, rovnoměrný, nerovnoměrný, zrychlený, zpomalený, spojitý nebo přerušovaný pohyb.

Pojmem pasivní prvek podle řešení je myšlen element, který svým tvarem a pohybem narušuje nebo odklání tok skladovaného materiálu a vytváří tak nové podmínky toku. Např. materiál při nárazu na pasivní prvek degraduje nebo komprimuje. Pasivní prvky tak napomáhají vytvářet nové situace při skladování a toku skladované sypké hmoty např. při plnění nebo vyprazdňování, které by bez použití tohoto komponentu normálně nenastaly.

Při umístění pasivního prvku dovnitř validačního skladovacího zařízení je možno měnit směr toku a/nebo ovlivňovat rotaci alespoň některých částic sypké hmoty, sledovat např. obtékání sypké hmoty kolem pasivního prvku při vyprazdňování skladovacího zařízení. Pasivní prvek může být ve sledovaném prostoru uložen volně nebo se může nacházet na jakékoli jeho stěně.

Do validačního skladovacího zařízení se umístí sypká hmota, případně se hmota též spojitě či přerušovaně doplňuje buď přímo, nebo ze vstupního zásobníku.

Sypká hmota ve validačním skladovacím zařízení setrvává v klidu nebo se pohybuje směrem od vstupního zásobníku nebo vstupního otvoru v zásobníku validačního zařízení přes výsypku až k výpustnému uzávěru, případně až do výstupního zásobníku.

Během procesu skladování, plnění či vyprazdňování validačního zařízení jsou pomocí čidel a tomografických senzorů zjišťovány hodnoty mechanicko-fyzikálních veličin a elektrických signálů. Tyto naměřené hodnoty zpracovává vyhodnocovací zařízení, které je se sledovaným prostorem spojeno prostřednictvím řídicí jednotky.

Validuje se tvar výsypky, počet, tvar a velikost otvorů ve výsypce, degradace či růst částic (změna velikosti, hmotnosti a tvaru částic), promíchávání částic v závislosti na zadání vstupních mechanicko-fyzikálních parametrů jak u reálného validačního zařízení a reálných vstupních materiálů, tak u modelu zařízení a materiálu v simulaci DEM.

Po provedení validačního měření se naměřené a uložené hodnoty z tomografických senzorů a z čidel vynesou do srovnávacích tabulek a grafů tak, aby časově korespondovaly s vygenerovanými hodnotami ze simulační metody DEM. Po srovnání hodnot se zkoriguje výpočet metody DEM úpravou vstupních parametrů, provede se nový výpočet, a pokud se vygenerované hodnoty blíží naměřeným hodnotám z reálného validačního zařízení, je možno hodnoty uložit do knihoven dynamického pohybu sypké hmoty, kde jsou připraveny pro optimalizaci vývoje nebo skladovacích zařízení pomocí metody DEM. Pokud se generované hodnoty z metody DEM neblíží reálným hodnotám z validačního zařízení, tak se korekce a výpočet opakuje.

Souhrnně lze říci, že pro návrh nového nebo optimalizaci stávajícího skladovacího zařízení se použije simulační metoda, podle tohoto řešení metoda DEM. Simulační metody je třeba ověřit, např. matematickými metodami, podle tohoto řešení pomocí programu EDEM. K ověřování a validaci je však nutno postavit fyzický model (prototyp) skladovacího zařízení, který je předmětem předkládaného řešení. Toto ověřovací zařízení slouží k validaci matematických metod, aby bylo možno potvrdit, že výsledky simulace odpovídají realitě a tyto výsledky jsou v praxi použitelné. Při této simulaci prostředí zařízení se provádí snímání mechanických veličin elektronickou cestou (tlak, spotřeba energie, tření apod.). Oblastí zájmu jsou především oblasti, kde se výrazně mění dynamický tok sypké hmoty, což jsou především místa plnění a vyprazdňování zařízení. Sleduje se jak hmota skladovaná, tak i materiál, ze kterého je skladovací zařízení vyrobeno. Snímání se provádí přímými metodami - na zařízení jsou umístěna čidla (teplotní, vlhkostní, váhová, tlaková) i nepřímými metodami pomocí tomografických senzorů. Poté se pomocí vyhodnocovací jednotky provede porovnání matematického modelu s měřicím zařízením. Výsledkem je optimalizace matematického modelu, tzn. obecný validační princip na posuzování skladovacího zařízení.

Výhodou je možnost mapování vlivu mechanicko-fyzikálních vlastností a konkrétního množství materiálu ve skladovacím zařízení pro různé zátěže a možnost zjišťování tokových procesů uvnitř skladovacích zařízení bez fyzického zásahu do skladovacího prostoru. Dalším přínosem je studie, výzkum a vývoj chování sypkých materiálů uvnitř skladovacích zařízení a jejich validace se simulací prováděnou v modelovém zobrazení pomocí metody DEM. Výhodou technického řešení je také to, že umožňuje globální pohled na jednotlivě vyřešená dílčí opatření, která po spojení

- v celek, mohou poskytnout objektivní obraz řešení konkrétního problému při skladovacích procesech ve skladovacích zařízeních. Další výhodou tohoto řešení je, že jeho využití umožní předem ověřit, zda bude zařízení fungovat s konkrétním sypkým materiálem, a to bez výroby prototypu a bez následného odzkoušení. Výhodou použití výsledků získaných ze simulací na zařízení podle tohoto řešení je u provozních zařízení zlepšení ekonomiky provozu a snížení spotřeby energie potřebné pro pohony, dále snížení hlučnosti a snížení opotřebení funkčních částí zařízení.

- Na základě sledování a vyhodnocování dynamických procesů partikulární hmoty pomocí DEM simulací, dojde v procesech vývoje ke zkvalitnění, urychlení a zlevnění navrhovaných zařízení. Opravy a neplánované odstávky problémových zařízení se pomocí této metodiky návrhu omezí na minimum.

Pro lepší ilustraci jsou vztahy mezi vstupními a výstupními veličinami jak z reálného, tak simulačního prostředí, a vztahy mezi tím co lze optimalizovat a validovat shrnuty v níže uvedené tabulce:

#### Vstupní parametry

| Vstupy do reálného zařízení                                                                                                                                           | Optimalizace                                                  | Vstupy do simulačního prostředí                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| koeficient vnitřního tření mat.<br>koeficient vnějšího tření mat.<br>koeficient valivého tření mat.<br>koeficient statického tření mat.<br>koeficient restituace mat. | lze optimalizovat<br>kontaktní<br>vlastnosti<br>materiálů     | koeficient valivého tření mat.<br>koeficient statického tření mat.<br>koeficient restituace mat. |
| Poissonova konstanta<br>modul pružnosti ve smyku                                                                                                                      | lze optimalizovat<br>sílové parametry                         | Poissonova konstanta<br>modul pružnosti ve smyku                                                 |
| velikost částic<br>tvar částic<br>objemová hmotnost<br>sypaná hmotnost<br>vlhkost materiálu                                                                           | lze optimalizovat<br>vlastnosti<br>dopravovaného<br>materiálu | velikost částic<br>tvar částic<br>objemová hmotnost                                              |

#### Výstupy z měření

| Výstupy z reálného zařízení                                                                                                                                                                                                           | Validace | Výstupy ze simulačního prostředí                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| rychlost dop. materiálu<br>hmotnost dop. materiálu<br>tlak dop. materiálu na konstrukci<br>teplota dop. materiálu<br>vlhkost dop. materiálu<br>tokové profily<br>2D zobrazení jednotlivých rovin<br>3D zobrazení sledovaného prostoru | ↔        | rychlost dop. materiálu<br>hmotnost dop. materiálu<br>tlak dop. materiálu na konstrukci<br>teplota dop. materiálu<br>vlhkost dop. materiálu<br>tokové profily<br>2D zobrazení jednotlivých rovin<br>3D zobrazení sledovaného prostoru |

Vyhodnocení výsledků a validace

Přehled obrázků na výkresech

Řešení je blíže osvětleno s pomocí obrázků, kde:

Obrázek 1 znázorňuje podélný řez validačním skladovacím zařízením,

Obrázek 2 znázorňuje podélný řez validačním skladovacím zařízením s umístěným pasivním  
5 prvkem a

Obrázek 3 blokové schéma validačního skladovacího zařízení.

Příklad uskutečnění technického řešení

Validační skladovací zařízení sypkých materiálů podle obrázků 1 až 3 sestává z nosného rámu 1, na němž je připevněn zásobník 2, opatřený výsypkou 3 s výpustným uzávěrem 4. Zásobník 2  
10 a výsypka 3 tvoří sledovaný prostor. Validační skladovací zařízení je opatřeno nejméně jedním vlhkostním čidlem 15 a/nebo nejméně jedním teplotním čidlem 16 a/nebo nejméně jedním tlakovým čidlem 17 a/nebo nejméně jedním váhovým čidlem 18 a dále je opatřeno tomografickými senzory 5. Tomografické senzory 5 jsou umístěny rovnoměrně po obvodu zásobníku 2 a výsypky 3 v několika rovinách nad sebou a jsou připojeny pomocí vodičích kabelů 9 a konektorů 8  
15 k tomografickému zařízení 6. Tomografické zařízení 6 je pak napojeno na vyhodnocovací zařízení 7, které obsahuje vyhodnocovací a zobrazovací software.

Validační skladovací zařízení může být opatřeno jedním nebo více vstupními zásobníky 13 a/nebo jedním nebo více výstupními zásobníky 14, kde vstupní zásobník 13 je umístěn nad vstupním otvorem do zásobníku 2 a výstupní zásobník 14 je umístěn pod výpustným uzávěrem 4.

20 Na validačním skladovacím zařízení může být umístěn jeden nebo více vstupů 11 a jeden nebo více výstupů 19 pro látky ovlivňující mechanicko-fyzikální vlastnosti. Látkami jsou konkrétně myšleny plynné nebo kapalné látky, např. vzduch nebo voda. Energie a látky vstupující a vystupující do validačního skladovacího zařízení slouží k ovlivňování mechanicko-fyzikálních vlastností skladovaného materiálu, např. při vyprazdňování nebo plnění. Pro změnu mechanicko-fyzikálních vlastností může být dále ve validačním skladovacím zařízení umístěn jeden nebo více  
25 pasivních prvků 10 ve tvaru krychle, kvádrů, koule, jehlanu, elipsoidu, paraboloidu, hyperboloidu nebo jejich kombinace. Na pasivních prvcích 10 je umístěno nejméně jedno čidlo (15, 16, 17, 18) pro měření fyzikálních vlastností. Pasivní prvky 10 setrvávají během měření v klidu nebo konají přímočarý, křivočarý, kruhový, rotační, rovnoměrný, nerovnoměrný, zrychlený, zpomalený, spojitý nebo přerušovaný pohyb. Pro ověřování a validaci celého spektra skladovacích zařízení je konstrukce validačního skladovacího zařízení rozměrově upravitelná. Díky rozebíratelnému stavebnicovému systému je možno validaci přizpůsobit na daný problém, či materiál.

Do validačního skladovacího zařízení se umístí sypká hmota, případně se hmota též spojitě či přerušovaně doplňuje buď přímo, nebo ze vstupního zásobníku 13.

35 Hmota ve validačním zařízení setrvává v klidu nebo se pohybuje směrem od vstupního zásobníku 13 nebo vstupního otvoru v zásobníku 2 přes výsypku 3 až k výpustnému uzávěru 4, případně až do výstupního zásobníku 14. Přitom je možno do validačního zařízení dodávat pomocí vstupů 11 látky nebo je ze zařízení pomocí výstupů 19 odebírat.

Pomocí čidel (15, 16, 17, 18) jsou zjišťovány hodnoty fyzikálních veličin.

40 Zároveň tomografické zařízení 6 prostřednictvím tomografických senzorů 5 vysílá a přijímá elektrické signály, které zjišťují aktuální informace o dění ve sledovaném prostoru v každé zapojené rovině a to v každém krokovém okamžiku. Signály přijaté tomografickým zařízením 6 a hodnoty z čidel (15, 16, 17, 18) jsou dále vedeny do vyhodnocovacího zařízení 7, které provede jejich zpracování. Výsledkem je grafické zobrazení a přehled údajů o aktuálním stavu uvnitř  
45 skladovacího zařízení, které se dále validuje se simulací prováděnou v modelovém provedení pomocí metody DEM.

Validuje se tvar zásobníku 2 a/nebo výsypky 3, počet, tvar a velikost otvorů ve výsypce 2, degradace či růst částic (změna velikosti, hmotnosti a tvaru částic), promíchávání částic v závislosti na zadání vstupních mechanicko-fyzikálních parametrů jak u reálného validačního zařízení a reálných vstupních materiálů, tak u modelu zařízení a materiálu v simulaci DEM.

- 5 Po provedení validačního měření se naměřené a uložené hodnoty z tomografických senzorů a z čidel vynesou do srovnávacích tabulek a grafů tak, aby časově korespondovaly s vygenerovanými hodnotami ze simulační metody DEM.

- Po srovnání hodnot se zkoriguje výpočet metody DEM úpravou vstupních parametrů, provede se nový výpočet, a pokud se vygenerované hodnoty blíží naměřeným hodnotám z reálného validačního zařízení, je možno hodnoty uložit do knihoven dynamického pohybu materiálu, kde jsou připraveny pro optimalizaci vývoje nebo úprav skladovacích zařízení pomocí metody DEM. Pokud se generované hodnoty z metody DEM neblíží reálným hodnotám z validačního zařízení, tak se korekce a výpočet opakuje.

#### Průmyslová využitelnost

- 15 Řešení lze využít všude tam, kde dochází k modelování mechanických procesů sypkých hmot a tam, kde se optimalizují stávající a vyvíjejí nová skladovací zařízení, zejména v průmyslu těžebním, dopravním, farmaceutickém, při dopravě materiálů, pigmentů apod.

### N Á R O K Y   N A   O C H R A N U

- 20 1. Validační skladovací zařízení pro měření tokových procesů tomografickou metodou, jehož tělo zahrnuje nosný rám, k němuž je připevněn zásobník zakončený výsypkou a výpustným uzávěrem, kde zásobník a výsypka tvoří sledovaný prostor, **vyznačující se tím**, že zařízení je opatřeno nejméně jedním vlhkostním čidlem (15) a/nebo nejméně jedním teplotním čidlem (16) a/nebo nejméně jedním tlakovým čidlem (17) a/nebo nejméně jedním váhovým čidlem (18), sledovaný prostor je opatřen nejméně jedním tomografickým senzorem (5), kde tomografické senzory (5) jsou připojeny k tomografickému zařízení (6), přičemž validační skladovací  
25 zařízení je prostřednictvím řídicí jednotky (12) a prostřednictvím tomografického zařízení (6) obousměrně spojeno s vyhodnocovacím zařízením (7).

- 30 2. Validační skladovací zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že tomografické senzory (5) jsou umístěny rovnoměrně po obvodu zásobníku (2) a výsypky (3) v rovinách nad sebou.

3. Validační skladovací zařízení podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že je dále opatřeno nejméně jedním vstupem (11) a nejméně jedním výstupem (19) pro látky ovlivňující mechanicko-fyzikální vlastnosti.

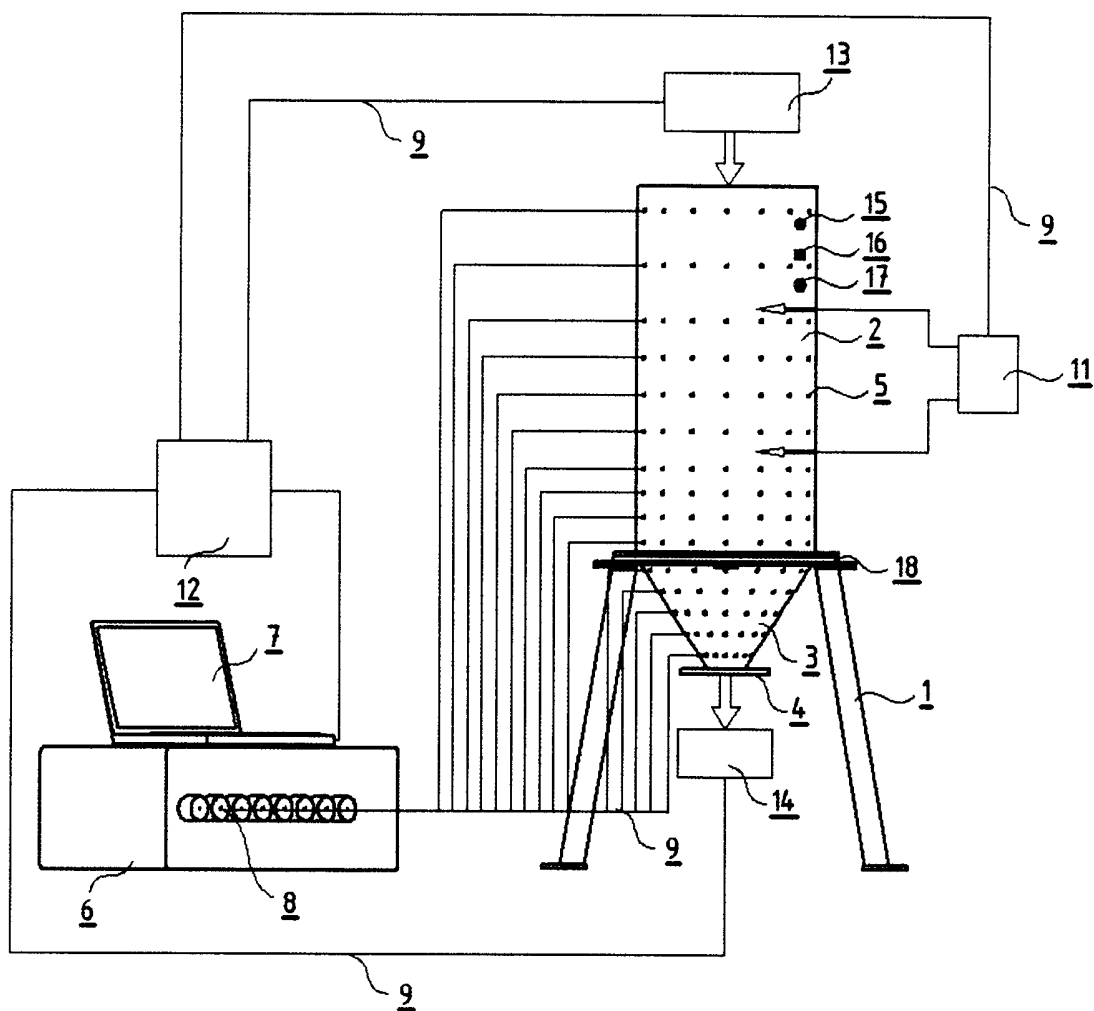
- 35 4. Validační skladovací zařízení podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že ve sledovaném prostoru je dále umístěn nejméně jeden plný a/nebo děrovaný pasivní prvek (10) ve tvaru krychle, kvádra, koule, jehlanu, elipsoidu, paraboloidu, hyperboloidu nebo jejich kombinace.

- 40 5. Validační skladovací zařízení podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že na pasivních prvcích (10) je umístěno nejméně jedno čidlo (15, 16, 17, 18) pro měření mechanicko-fyzikálních vlastností.

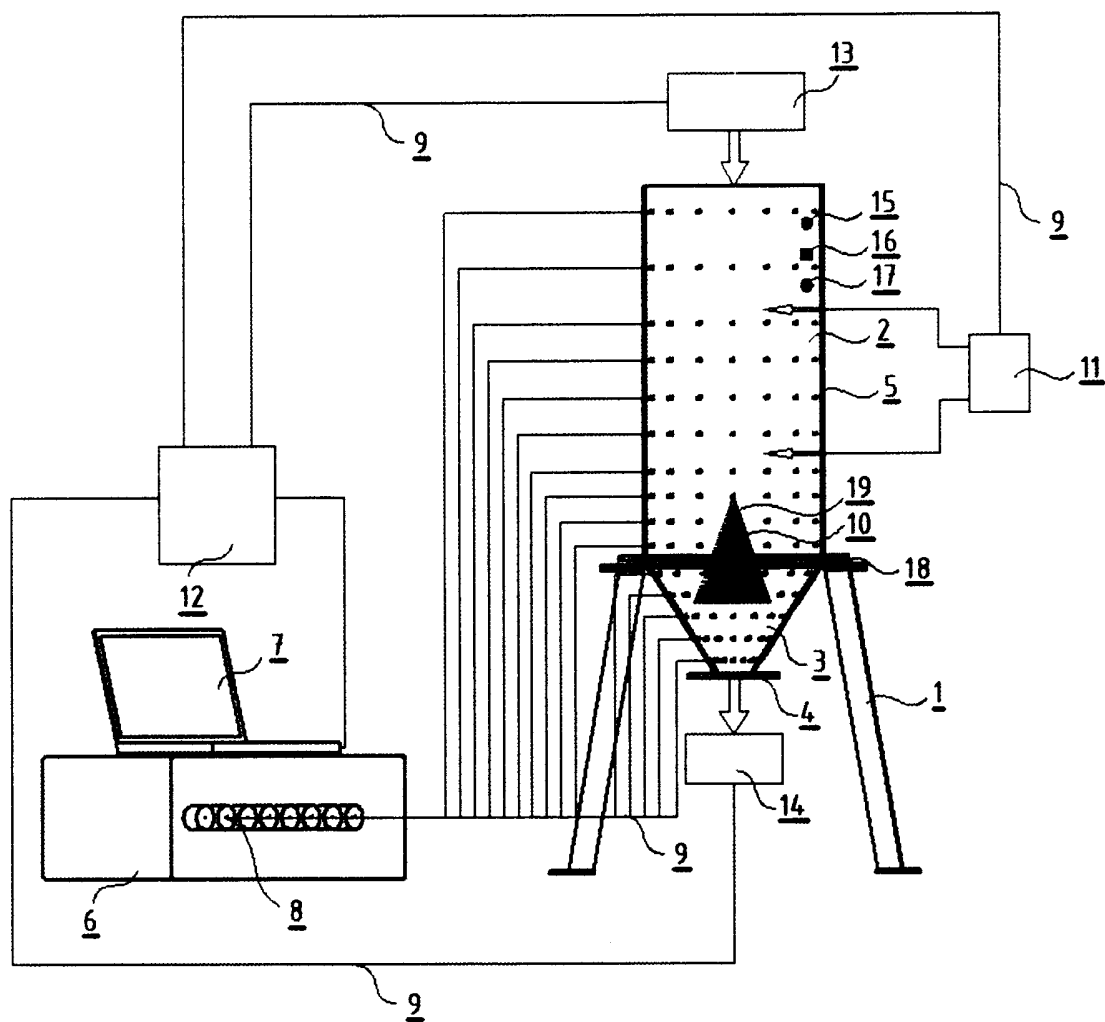
6. Validační skladovací zařízení podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že je dále opatřeno minimálně jedním vstupním zásobníkem (13) a minimálně jedním výstupním zásobníkem (14).

## Seznam vztahových značek:

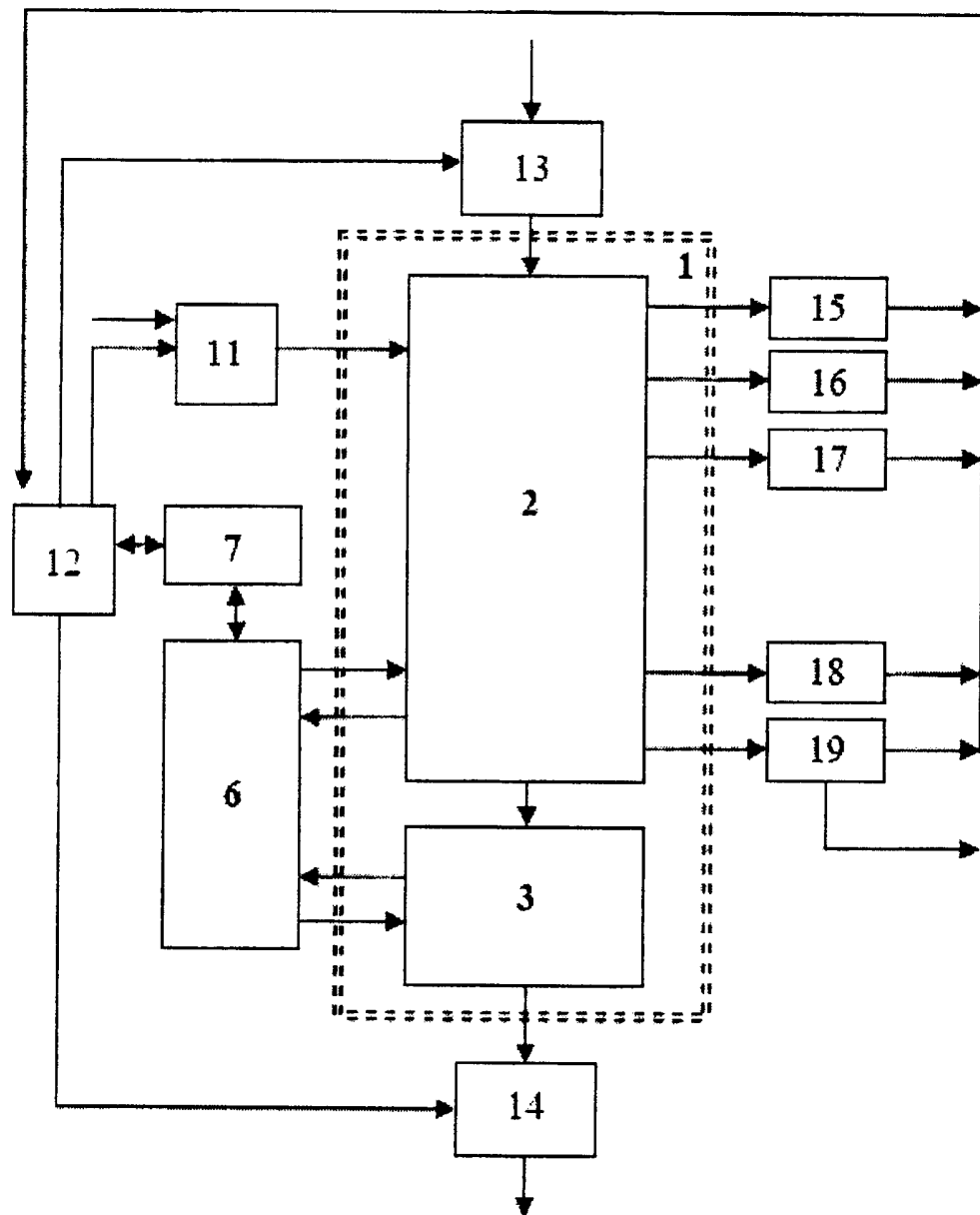
|    |    |                                                                        |
|----|----|------------------------------------------------------------------------|
|    | 1  | Nosný rám                                                              |
|    | 2  | Zásobník                                                               |
|    | 3  | Výsypka                                                                |
| 5  | 4  | Výpustný uzávěr                                                        |
|    | 5  | Tomografické senzory                                                   |
|    | 6  | Tomografické zařízení                                                  |
|    | 7  | Vyhodnocovací zařízení                                                 |
|    | 8  | Konektory                                                              |
| 10 | 9  | Vodící kabely                                                          |
|    | 10 | Pasivní prvek                                                          |
|    | 11 | Vstupy energií a látek                                                 |
|    | 12 | Řídicí jednotka                                                        |
|    | 13 | Vstupní zásobník nebo dopravní zařízení                                |
| 15 | 14 | Výstupní zásobník nebo dopravní zařízení                               |
|    | 15 | Vlhkostní čidlo                                                        |
|    | 16 | Teplotní čidlo                                                         |
|    | 17 | Tlakové čidlo                                                          |
|    | 18 | Váhové čidlo                                                           |
| 20 | 19 | Výstupy energií a látek ovlivňujících mechanicko-fyzikální vlastnosti. |



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3