(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 600 765 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
08.06.2022 Patentblatt 2022/23

(21) Anmeldenummer: **17716813.5**

(22) Anmeldetag: **31.03.2017**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B24C 7/00 *(2006.01)* ***B24C 1/04*** *(2006.01)*

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B24C 7/0007; B24C 1/045

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2017/057786

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2018/177559 (04.10.2018 Gazette 2018/40)

(54) **WASSER-ABRASIV-SUSPENSIONS-SCHNEIDANLAGE UND VERFAHREN ZUM WASSER-ABRASIV-SUSPENSIONS-SCHNEIDEN**

WATER ABRASIVE SUSPENSION CUTTING SYSTEM AND METHOD FOR WATER ABRASIVE SUSPENSION CUTTING

INSTALLATION ET PROCÉDÉ DE DÉCOUPE PAR JET D'EAU CHARGÉE D'ABRASIF EN SUSPENSION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
05.02.2020 Patentblatt 2020/06

(73) Patentinhaber: **ANT Applied New Technologies AG**
23560 Lübeck (DE)

(72) Erfinder: **LINDE, Marco**
23562 Lübeck (DE)

(74) Vertreter: **Patentanwälte Vollmann Hemmer Lindfeld**
Partnerschaft mbB
Wallstraße 33a
23560 Lübeck (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 514 945
EP-A1- 1 208 944
EP-B1- 2 755 802
WO-A1-2013/120524
WO-A1-2015/149867
CN-A- 103 100 984
US-A- 5 722 801
US-A1- 2016 339 560
US-B1- 6 276 993

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 3 600 765 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen und ein Verfahren zum Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneiden gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10. Eine derartige Schneidanlage und ein derartiges Verfahren sind aus dem Dokument EP 1 208 944 A bekannt.

[0002] Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlagen werden zum Schneiden von Materialien mittels eines Hochdruck-Wasserstrahls verwendet, welchem ein Abrasivmittel zugesetzt ist. Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlagen sind zu unterscheiden von Wasser-Abrasiv-Injektions-Schneidanlagen, bei denen das Abrasivmittel erst in oder an einer Austrittsdüse in das bereits sehr stark beschleunigte Wasser eingeführt wird. Bei Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlagen wird zunächst das unter Hochdruck stehende Wasser mit dem Abrasivmittel gemischt und dann die Wasser-Abrasivmittel-Suspension in der Austrittsdüse beschleunigt. Bei Wasser-Abrasiv-Injektions-Schneidanlagen besteht zwar nicht das Problem, das Abrasivmittel unter Hochdruck mit dem Wasser zu mischen, da das Abrasivmittel erst an der Austrittsdüse zugeführt wird, allerdings ist das Abrasivmittel-Wasser-Verhältnis bei Wasser-Abrasiv-Injektions-Schneidanlagen stark beschränkt und damit dessen Schneidkraft. Außerdem führen Lufteinschlüsse bei Wasser-Abrasiv-Injektions-Schneidanlagen zur Schneidleistungsminderung durch uneffektives Beschleunigen der Abrasivmittelpartikel beim Einsaugen in den Wasserstrahl sowie hohe Luftanteile im Schneidstrahl. Bei Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlagen hingegen kann das Abrasivmittel-Wasser-Verhältnis höher gewählt und eine höhere Schneidkraft erzielt werden, da das Wasser unter Hochdruck stromaufwärts der Austrittsdrüse ohne Lufteinschlüsse mit dem Abrasivmittel gesteuert gemischt wird. So kann beispielsweise ein Teil des Wasserstroms durch einen Abrasivmittelbehälter geführt werden, welcher als Druckbehälter ausgebildet ist. Eine solche Anlage ist z. B. aus der EP 1 199 136 bekannt. Eine technische Herausforderung bei diesen Anlagen ist das Nachfüllen des Abrasivmittels, da dazu die Anlage außer Betrieb genommen werden muss, der Abrasivmittel behälter in einen drucklosen Zustand gebracht werden muss und erst dann befüllt werden kann. Bei industriellen Anwendungen ist jedoch oft ein kontiniuierliches Schneiden erwünscht, bei dem die Anlage für das Befüllen des Abrasivmittels nicht außer Betrieb genommen werden muss.

[0003] Die EP 2 755 802 B1 und WO 2015/149867 A1 beschreiben Schleusenlösungen, um einen kontinuierlichen Betrieb der Anlage sicherzustellen. Wegen der besonders hohen Drücke von teilweise über 2.000 bar ist das zyklische Be- und Entdrucken einer Schleusenkammer allerdings eine technische Herausforderung. Insbesondere gestaltet sich die Einstellung eines gewünschten Mischungsverhältnisses zwischen Wasser und Abrasivmittel im Schneidstrahl mit den bekannten Anlagen als schwierig.

[0004] Die hierin offenbarte Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage gemäß dem unabhängigen Anspruch 1 und das hierin offenbarte Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidverfahren gemäß dem unabhängigen Anspruchs 10 hat gegenüber den bekannten Lösungen den Vorteil, dass ein gewünschtes Mischungsverhältnis zwischen Wasser und Abrasivmittel im Schneidstrahl gezielt eingestellt und nach Bedarf geändert werden kann. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Offenbarung sind in den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung und den Zeichnungen angegeben.

[0005] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung wird eine Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage bereitgestellt mit

- einer Hochdruckquelle zum Bereitstellen von Wasser unter Hochdruck,
- einer mit der Hochdruckquelle verbundenen Hochdruckleitung, und
- einem Druckbehälter zum Bereitstellen einer unter Hochdruck stehenden Abrasivmittelsuspension, wobei

der Druckbehälter über eine regelbare Drossel mit der Hochdruckleitung fluidverbunden ist, wobei die Drossel eingangsseitig vom Druckbehälter angeordnet ist und dazu eingerichtet ist, abhängig von mindestens einer Regelgröße den Zufluss in den Druckbehälter aus der Hochdruckleitung zu regeln.

[0006] Mit dieser Anlage kann ein gewünschtes Mischungsverhältnis zwischen Wasser und Abrasivmittel im Schneidstrahl eingestellt werden. Die eingangsseitig vom Druckbehälter angeordnete und regelbare Drossel wird von klarem Wasser ohne Abrasivmittel durchflossen und verschleißt dadurch erheblich weniger als wenn sie ausgangsseitig angeordnet wäre. Die regelbare Drossel kann auch als Regelventil bezeichnet werden, das vorzugsweise den Zufluss ggf. komplett absperren kann.

[0007] Optional kann stromabwärts oder stromaufwärts von der Drossel ein Absperrventil angeordnet sein, um den Abrasivmittelfluss aus dem Druckbehälter vollständig zu stoppen. Beispielsweise kann mittels eines Sensorsignals dem Absperrventil signalisiert werden, den Druckbehälter von der Hochdruckleitung abzusperren. Dies kann ggf. dann erfolgen, wenn ein minimaler Füllstand erreicht ist, der nicht unterschritten werden soll.

[0008] Optional kann die mindestens eine Regelgröße ein Sensorsignal und/oder einen Betriebsparameter der Hochdruckquelle aufweisen. Die Regelgröße kann mehrere Parameter, Kombinationen von Paramefern bzw. Berechnungen aus einem oder mehreren Parametern aufweisen. "Aufweisen" heißt in diesem Sinne, dass die mindestens eine Regelgröße von dem Sensorsignal bzw. dem Parameter abhängt oder das Sensorsignal bzw. der Parameter in die Regelgröße mit eingeht.

[0009] Optional weist die mindestens eine Regelgröße

einen Abrasivmittelstrom aus dem Druckbehälter oder einen für einen Abrasivmittelstrom aus dem Druckbehälter charakteristischen Parameter auf. Beispielsweise kann die Anlage einen ersten Füllstandssensor zur Signalisierung mindestens eines ersten Füllstands von Abrasivmittel im Druckbehälter aufweisen. Die mindestens eine Regelgröße kann dann eine zeitliche Veränderung des ersten Füllstands aufweisen.

[0010] Optional kann die Anlage einen ersten Füllstandssensor zur Signalisierung mindestens eines ersten Füllstands von Abrasivmittel im Druckbehälter und einen zweiten Füllstandssensor zur Signalisierung mindestens eines zweiten Füllstands von Abrasivmittel im Druckbehälter aufweisen, wobei die mindestens eine Regelgröße eine Zeitdifferenz zwischen dem ersten Füllstand und dem zweiten Füllstand aufweisen kann. Beispielsweise können die Füllstandssensoren Ultraschallsensoren oder optische Sensoren sein, die an unterschiedlichen vertikalen Positionen am Druckbehälter angeordnet sind und einen bestimmten Füllstand signalisieren können. Bei bekannter Geometrie des Druckbehälters und bekanntem vertikalen Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten Füllstandssensor ist die Zeitdifferenz für einen Abrasivmittelentnahmefluss charakteristisch, nach dem der Zufluss zum Druckbehälter geregelt werden kann.

[0011] Optional kann die Anlage einen ausgangsseitig vom Druckbehälter angeordneten Abrasivmittelflusssensor zum Signalisieren eines Abrasivmittelentnahmeflusses aufweisen, nach dem der Zufluss zum Druckbehälter geregelt werden kann. Der Abrasivmittelflusssensor kann beispielsweise durch eine ausgangsseitige Abrasivmittelleitung laufende Abrasivmittelpartikel zählen oder anderweitig den Abrasivmittelfluss messen. Dies kann z.B. optisch, induktiv über ferromagnetische Marker im Abrasivmittel oder über eine Körperschallmessung stattfinden.

[0012] Optional kann die Regelgröße eine Drehzahl und/oder Leistungs- bzw. Stromaufnahme der Hochdruckquelle aufweisen. Über die Drehzahl und/oder Leistungs- bzw. Stromaufnahme der Hochdruckquelle kann auf den Wasserfluss durch die Hochdruckleitung geschlossen werden, der das Mischungsverhältnis im Schneidstrahl mitbestimmen kann. Daher können vorzugsweise diese oder andere Betriebsparameter der Hochdruckleitung in die mindestens eine Regelgröße mit eingehen. Alternativ oder zusätzlich kann ein Durchflusssensor einen Wasserfluss durch die Hochdruckleitung messen bzw. signalisieren, sodass dieser in die mindestens eine Regelgröße eingehen kann.

[0013] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung wird ein Verfahren zum Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneiden mit den Schritten bereitgestellt:

- Bereitstellen von Wasser unter Hochdruck in einer Hochdruckleitung mittels einer Hochdruckquelle,
- Bereitstellen einer unter Hochdruck stehenden Abrasivmittelsuspension in einem Druckbehälter,
- Schneiden eines Materials mittels eines Hochdruckstrahls, der zumindest teilweise die Abrasivmittelsuspension enthält, unter Entnahme der Abrasivmittelsuspension aus dem Druckbehälter, und
- Regeln eines Zuflusses in den Druckbehälter aus der Hochdruckleitung mittels einer eingangsseitig mit dem Druckbehälter fluidverbundenen und regelbaren Drossel in Abhängigkeit von einer Regelgröße.

[0014] Optional wird das Regeln in Abhängigkeit von einem Sensorsignal und/oder einem Betriebsparameter der Hochdruckquelle durchgeführt. Beispielsweise kann das Regeln in Abhängigkeit von einem Abrasivmittelstrom aus dem Druckbehälter durchgeführt werden. Alternativ oder zusätzlich kann das Regeln in Abhängigkeit von einer zeitlichen Veränderung eines ersten Füllstands von Abrasivmittel im Druckbehälter durchgeführt werden, wobei der erste Füllstand von einem ersten Füllstandssensor signalisiert wird.

[0015] Optional kann das Regeln in Abhängigkeit von einer Zeitdifferenz zwischen einem ersten Füllstand von Abrasivmittel im Druckbehälter und einem zweiten Füllstand von Abrasivmittel im Druckbehälter erfolgen, wobei der erste Füllstand von einem ersten Füllstandssensor und der zweite Füllstand von einem zweiten Füllstandssensor signalisiert wird. Alternativ oder zusätzlich kann das Regeln in Abhängigkeit von einem Abrasivmittelfluss durchgeführt wird, wobei der Abrasivmittelfluss von einem ausgangsseitig vom Druckbehälter angeordneten Abrasivmittelflusssensor signalisiert wird. Das Regeln kann alternativ oder zusätzlich auch in Abhängigkeit von einer Drehzahl oder einer Leistungs- bzw. Stromaufnahme der Hochdruckquelle erfolgen.

[0016] Die Offenbarung ist nachfolgend anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Schaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;
Fig. 2 ein schematisches Schaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;
Fig. 3 ein schematisches Schaltbild eines dritten Ausführungsbeispiels der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;
Fig. 4 ein schematisches Schaltbild eines vierten Ausführungsbeispiels der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;
Fig. 5 ein schematisches Schaltbild eines fünften Ausführungsbeispiels der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;
Fig. 6a-c schematische Teilschaltbilder dreier unterschiedlicher Ausführungsformen einer Förderhilfe der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;
Fig. 7a-c schematische Teilschaltbilder dreier unter-

schiedlicher Ausführungsformen einer Abrasivmittelstromsteuerung der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;

Fig. 8-12 schematische Schaltbilder fünf unterschiedlicher Ausführungsformen einer Abrasivmittelnachfuhreinrichtung der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;

Fig. 13 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneiden;

Fig. 14 Druck-Zeit-Diagramme in einer Schleusenkammer, in einem Druckspeicher und in einer Hochdruckleitung gemäß der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;

Fig. 15a-b Querschnitte in einer xz-Ebene durch ein Nachfüllventil in zwei verschiedenen Offnungsstellungen gemäß der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;

Fig. 16a-b Querschnitte in einer xz-Ebene durch ein Nachfüllventil in zwei verschiedenen Schließstellungen gemäß der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage;

Fig. 17a-b Querschnitte in einer yz-Ebene durch ein Nachfüllventil in Schließstellung gemäß zweier unterschiedlicher Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlagen;

Fig. 18a-b perspektivische Ansichten auf ein Nachfüllventil gemäß der hierein offenbarten Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage; und

Fig. 19a-b Querschnitte durch ein Absperrventil in Form eines Nadelventils gemäß zwei verschiedener Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlagen; in einer Öffnungsstellung.

[0017] Die in Fig. 1 gezeigte Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage 1 weist eine Hochdruckquelle 3 auf, die in einer Hochdruckleitung 5 Wasser unter einem Hochdruck po von etwa 1.500 bis 4.000 bar zur Verfügung stellt. Die Hochdruckleitung 5 ist mit einer Austrittsdüse 7 verbunden, aus der das unter Hochdruck stehende Wasser mit sehr hoher Geschwindigkeit in einem Strahl 9 austritt. Damit der Strahl 9 effektiv als Schneidstrahl zum Schneiden von Material verwendet werden kann, ist die Hochdruckleitung 5 derart verzweigt, dass zumindest ein Teil des Durchflusses durch die Hochdruckleitung 5 durch einen Druckbehälter 11 geführt wird, in dem sich eine Wasser-Abrasivmittel-Suspension 13 befindet. Über ein Absperrventil 15 kann das Zuführen der Wasser-Abrasivmittel-Suspension 13 zur Austrittsdüse ein- und ausgeschaltet werden. Der Anteil der Wasser-Abrasivmittel-Suspension 13 im Strahl 9 kann über eine Drossel 17 eingestellt werden, indem die Durchflussmenge in dem durch den Druckbehälter 11 geführten Nebenstrang der Hochdruckleitung 5 gedrosselt wird. Die Drossel 17 ist regelbar, wobei ein für den Abrasivmittelentnahmestrom charakteristisches Signal, das aus einem Sensor oder einem zur Verfügung stehenden Betriebsparameter gewonnen werden kann, als Regelgröße zur Regelung der Öffnung der Drossel 17 verwendet wird (siehe Fig. 7a-c). Vorzugsweise kann die Drossel 17 vollständig den Zufluss in den Druckbehälter 11 absperren, sodass auf das Absperrventil 15 verzichtet werden kann.

[0018] Beim Schneiden wird dem Druckbehälter 11 Wasser-Abrasivmittel-Suspension 13 entnommen und Wasser unter Hochdruck zugeführt, wobei also das im Druckbehälter 11 befindliche Abrasivmittel verbraucht wird. Es muss daher der Druckbehälter 11 kontinuierlich oder sequenziell mit Abrasivmittel nachgefüllt werden. Dazu ist oberhalb des Druckbehälters 11 ein Nachfüllventil 19 in Form eines Kugelhahns angeordnet. Das Nachfüllventil 19 verbindet eine über dem Nachfüllventil 19 angeordnete Schleusenkammer 21 mit dem Druckbehälter 11. Über der Schleusenkammer 21 ist wiederum ein Befüllventil 23 angeordnet, das einen über der Schleusenkammer 21 angeordneten Nachfülltrichter 25 mit der Schleusenkammer 21 verbindet. Das Befüllventil 23 kann im Wesentlichen baugleich zum Nachfüllventil 19 in Form eines Kugelhahns ausgestaltet sein.

[0019] Der Nachfülltrichter 25 steht nicht unter Druck, sodass von oben trockenes, feuchtes oder nasses Abrasivmittel oder eine Wasser-Abrasivmittel-Suspension eingefüllt werden kann (siehe Figuren 8-12). Dies kann zumindest teilweise ein aus dem Schneidstrahl 9 wiederaufbereitetes Abrasivmittel sein, das über eine Fördereinrichtung (siehe Figuren 8-12) in trockener, nasser, gefrorener, pelletierter oder suspendierter Form von oben in den Nachfülltrichter 25 eingefüllt werden kann. Wenn das Nachfüllventil 19 geschlossen ist, kann die Schleusenkammer 21 zeitweise drucklos sein. Beispielsweise kann ein Druck in der Schleusenkammer 21 über ein Druckablassventil 27 in Form eines Nadelventils in einen Ablauf 29 abgelassen werden. Bei druckloser Schleusenkammer 21 kann das Befüllventil 23 geöffnet sein, sodass Abrasivmittel aus dem Nachfülltrichter 25 in die Schleusenkammer 21 fällt. Dieses schwerkraftbedingte Füllen der Schleusenkammer 21 mit Abrasivmittel kann unterstützt und beschleunigt werden durch eine Pumpe 31. Die Pumpe 31 kann saugseitig mit der Schleusenkammer 21 verbunden sein und druckseitig mit dem Nachfülltrichter 25. Damit kann die Pumpe 31 Abrasivmittel in die Schleusenkammer 21 saugen. Dies ist vor allem dann besonders sinnvoll, wenn Abrasivmittel im verjüngten unteren Bereich des Nachfülltrichters 25 bzw. am Befüllventil 23 verstopft. Durch ein Absaugen des Abrasivmittels nach unten durch die Pumpe 31 kann eine Verstopfung aufgelöst oder das Entstehen einer Verstopfung verhindert werden. Damit die Pumpe 31 nicht für Hochdruck ausgelegt werden muss, ist es vorteilhaft, wenn die Pumpe 31 mittels eines Pumpenabsperrventils 33 in Form eines Nadelventils von der Schleusenkammer 21 absperrbar ist. Das Pumpenabsperrventil 33 kann dabei durchspülbar ausgestaltet sein, um den Ventilsitz und den Ventilkörper, z.B. in Form einer Ventilnadel, von Abrasivmittel freizuspülen (siehe Figuren 19a-b). Dadurch wird zum einen ein dichtes Schließen des Pumpenab-

sperrventils 33 gewährleistet und der Materialverschleiß im Ventil verringert. Die Pumpe 31 kann mittels eines vorgelagerten Filters und/oder Abscheiders (beides nicht gezeigt) vor Abrasivmittel weitestgehend geschützt werden.

[0020] Das Pumpenabsperrventil 33 wird lediglich dann geöffnet, wenn die Schleusenkammer 21 bereits drucklos ist. Daher kann für das Pumpenabsperrventil 33 eine erste Ausführungsform des Nadelventils gemäß Fig. 19a verwendet werden, bei der ein seitlicher Spüleinlass und ein gegenüberliegender seitlicher Spülauslass vorgesehen ist. Für das Druckablassventil 27 hingegen ist die zweite Ausführungsform des Nadelventils gemäß Fig. 19b vorteilhafter, bei der ein Rückschlagventil am Spüleinlass vorgesehen ist. Da das Druckablassventil 27 bei Hochdruck geöffnet wird, verhindert das Rückschlagventil einen Druckablass in Richtung des Spüleinlasses. Der Spülauslass kann in den Ablauf 29 münden, sodass sowohl der Druckablass als auch der Spülmittelablass ausschließlich zum Ablauf 29 hin stattfindet und nicht zum Spüleinlass.

[0021] Sobald die Schleusenkammer 21 nun beispielsweise mit 1kg Abrasivmittel gefüllt ist, kann das Befüllventil 23 geschlossen werden. Außerdem werden nun das Druckablassventil 27 und das Pumpenabsperrventil 33 geschlossen. Die Schleusenkammer 21 weist in einem unteren Bereich einen Bedruckungseingang 35 auf, über den die Schleusenkammer 21 bedruckbar ist. Der Bedruckungseingang 35 ist in dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 über ein Bedruckungsventil 37 in Form eines Nadelventils absperrbar mit einem Druckspeicher 39 und über Drosseln 41, 42 mit der Hochdruckleitung 5 verbunden. Der Druckspeicher 39 weist zwei Druckspeichereinheiten in Form von Federspeichern auf, die parallel mit dem Eingang des Bedruckungsventils 37 verbunden sind. Der Druckspeicher 39 ist über die Drossel 41 mit der Hochdruckleitung 5 verbunden. Die Drosseln 41, 42 können statisch, beispielsweise in Form von Lochblenden, oder einstellbar bzw. regelbar ausgestaltet sein. Sind die Drosseln 41, 42 einstellbar bis zu einem Grad, bei dem die Verbindung zwischen der Hochdruckleitung 5 und dem Bedruckungseingang 35 vollständig abgesperrt werden kann, kann ggf. auf das Bedruckungsventil 37 verzichtet werden. Der Druckspeicher 39 ist voll druckbeladen, bevor die Schleusenkammer 21 bedruckt wird. Sobald das Bedruckungsventil 37 geöffnet wird, druckentlädt sich der Druckspeicher 39 in die Schleusenkammer 21 und bedruckt diese somit schnell auf etwa 40% des Hochdrucks po, der in der Hochdruckleitung 5 als nomineller Hochdruck von der Hochdruckquelle 3 bereitgestellt wird. Durch diese schnelle Teilbedruckung wird ein Druckimpuls von unten in die Schleusenkammer 21 eingeleitet, der das Abrasivmittel auflockert. Dies ist für das spätere Ablassen des Abrasivmittels in den Druckbehälter 11 vorteilhaft. Da auch die Hochdruckleitung 5 über die Drossel 41 mit der Schleusenkammer 21 verbunden ist, findet mit der Öffnung des Bedruckungsventils 37 parallel auch eine gedrosselte, d.h. langsamere, Bedruckung durch die Hochdruckleitung 5 statt. Sobald der Druckspeicher 39 druckentladen ist, wird der restliche benötigte Druck in der Schleusenkammer 21 von etwa 60% des nominellen Hochdrucks po ausschließlich über die gedrosselte, d.h. langsamere, Bedruckung aus der Hochdruckleitung 5 aufgebaut. Damit wird die Amplitude des Druckabfalls in der Hochdruckleitung 5 auf ein Minimum beschränkt.

[0022] In der in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsform wird der Druckspeicher 39 sofort ab dem Moment wieder druckbeladen, in dem er sich druckentladen hat. In diesem Fall bedruckt die Hochdruckleitung 5 sowohl die Schleusenkammer 21 mit dem Restdruck als auch den Druckspeicher 39. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn das Druckbeladen des Druckspeichers 39 so zeitintensiv ist, dass die Nachfülldurchgangrate von der Druckladezeit des Druckspeichers 39 abhängt.

[0023] In der in Fig. 2 gezeigten zweiten Ausführungsform ist der Druckspeicher 39 mit einem Druckspeicherventil 43 in Form eines Nadelventils absperrbar. In dem Moment, in dem sich der Druckspeicher 39 druckentladen hat, kann das Druckspeicherventil 43 abgesperrt werden, um die Hochdruckleitung 5 während der Bedruckung der Schleusenkammer 21 nicht zusätzlich mit dem Druckbeladen des Druckspeichers 39 zu belasten. Eine solche Belastung könnte einen Druckabfall in der Hochdruckleitung 5 verursachen, der negativen Einfluss auf die Schneidleistung an der Austrittsdüse 7 haben könnte. Es ist daher vorteilhaft, das Druckspeicherventil 43 erst dann zu öffnen, wenn die Schleusenkammer 21 vollständig bedruckt ist und das Bedruckungsventil 37 geschlossen, damit der Druckspeicher 39 über die Drossel 41 aus der Hochdruckleitung 5 druckbeladen werden kann. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn das Druckbeladen des Druckspeichers 39 nicht so zeitintensiv ist, dass die Nachfülldurchgangrate von der Druckladezeit des Druckspeichers 39 abhängt. Das Befüllen der Schleusenkammer 21 und das Nachfüllen des Druckbehälters 11 können zumeist länger dauern als das Druckbeladen des Druckspeichers 39. Die Drossel 41 kann so eingestellt sein, dass das Bedrucken des Druckspeichers 39 möglichst langsam abläuft, aber noch schnell genug, damit vor dem nächsten Durchgang zur Bedruckung der Schleusenkammer 21 der Druckspeicher 39 vollständig druckbeladen ist.

[0024] In einer dritten Ausführungsform gemäß Fig. 3 wird ganz auf den Druckspeicher 39 verzichtet und die Schleusenkammer 21 ausschließlich über die Drossel 41 aus der Hochdruckleitung 5 bedruckt. Dies ist dann vorteilhaft, wenn die Hochdruckquelle 3 beispielsweise über eine Servopumpensteuerung so schnell auf einen anfänglichen Druckabfall reagieren und die Pumpenleistung entsprechend schnell anpassen kann, dass es gar nicht erst zu einer großen Amplitude eines Druckabfalls kommt. Über Drucksensoren kann der Hochdruckquelle 3 ein anfänglicher Druckabfall mitgeteilt werden, sodass die Hochdruckquelle 3 mit einer Leistungssteigerung bzw. Drehzahlerhöhung einem weiteren Druckabfall

schnell gegensteuern kann. Über die Drossel 41 kann bereits der anfängliche Druckabfall abgemildert werden, sodass es zu keinem Zeitpunkt zu einem Druckabfall kommt, der die Schneidleistung signifikant beeinträchtigt.

[0025] Sobald nun die Schleusenkammer 21 vollständig bedruckt ist, kann das Nachfüllventil 19 geöffnet werden, damit schwerkraftbedingt oder -unterstützt Abrasivmittel aus der Schleusenkammer 21 durch das Nachfüllventil 19 in den Druckbehälter 11 strömen kann, um diesen nachzufüllen. Vorzugsweise ist eine Förderhilfe 45, beispielsweise in Form einer Pumpe, vorgesehen, die saugseitig mit dem Druckbehälter 11 und druckseitig mit der Schleusenkammer 21 verbunden ist. Die Förderhilfe 45 unterstützt bzw. erzeugt den Abrasivmittelstrom aus der Schleusenkammer 21 nach unten in den Druckbehälter 11. Sie kann Verstopfungen von Abrasivmittel verhindern oder lösen und den schwerkraftbedingten bzw. -unterstützten Nachfüllvorgang beschleunigen. Im Unterschied zur Pumpe 31 am Nachfülltrichter 25 arbeitet die Förderhilfe 45 am Druckbehälter 11 mit Wasser unter dem nominellen Hochdruck po. Sie muss daher für den Hochdruckbetrieb ausgelegt sein. Beispielsweise kann sie, wie in Fig. 6b gezeigt, lediglich ein induktiv angetriebenes Schaufelrad im Hochdruck aufweisen, sodass die Anzahl der beweglichen Teile, die unter Hochdruck stehen, minimiert ist. Ein Förderhilfeabsperrventil 47 ist zwischen der Förderhilfe 45 und der Schleusenkammer 21 angeordnet, wobei das Förderhilfeabsperrventil 47 in Form eines Nadelventils die Pumpe 47 gegenüber der Schleusenkammer 21 absperren kann, wenn die Schleusenkammer 21 nicht oder nicht vollständig bedruckt ist. Vorzugsweise ist das Förderhilfeabsperrventil 47 ein spülbares Nadelventil gemäß Fig. 19b mit einem Rückschlagventil am Spüleinlass, da es unter Hochdruck betätigt wird.

[0026] Fig. 6a-c zeigen verschiedene alternative Ausführungsformen für die Förderhilfe 45. Die Förderhilfe 45 kann beispielsweise einen über eine Welle von außen angetriebenen Impeller aufweisen (siehe Fig. 6a) oder einen induktiv angetriebenen Impeller (siehe Fig. 6b). Die Förderhilfe 45 kann auch über einen Kolbenhub das Nachfüllen von Abrasivmittel in den Druckbehälter 11 unterstützen (siehe Fig. 6c). Die Förderhilfe 45 kann kontinuierlich pumpen bzw. fördern oder zeitlich begrenzt bzw. gepulst. Es kann ggf. ausreichen, wenn der Abrasivmittelfluss in den Druckbehälter 11 nur anfänglich unterstützt wird und dann schwerkraftunterstützt allein schnell genug weiterläuft. Alternativ oder zusätzlich kann der Abrasivmittelfluss in den Druckbehälter 11 kontinuierlich unterstützt bzw. erzeugt werden.

[0027] Das Nachfüllventil 19 weist neben einem oberen Ventileingang 49 und einem unteren Ventilausgang 51 auch einen seitlichen Druckeinlass 53 auf. Über den Druckeinlass 53 kann ein Ventilraum, in dem sich ein beweglicher Ventilkörper befindet, bedruckt werden. Ohne Bedruckung des Ventilraums kann es nämlich sein, dass bei Inbetriebnahme der Anlage die sehr hohen Drücke auf den Ventileingang 49 und den Ventilausgang 51 den Ventilkörper so stark in den Ventilsitz pressen, dass sich der Ventilkörper nicht mehr bewegen lässt. Über den seitlichen Druckeinlass 53 kann ein Druckausgleich im Nachfüllventil 19 hergestellt werden, sodass der Ventilkörper nach Inbetriebnahme beweglich ist.

[0028] In dem in Fig. 4 und 5 gezeigten vierten bzw. fünften Ausführungsbeispiel ist eine Spülung für das Nachfüllventil 19 vorgesehen. Dazu kann eine Spülquelle 55 absperrbar mit dem Druckeinlass 53 verbunden sein (siehe Fig. 4). Vorzugsweise sind drei Spülventile 57, 59, 61 dazu vorgesehen, die Spülung ein- und ausschalten zu können bzw. vom Hochdruck zu trennen. Ein erstes Spülventil 57 in Form eines Nadelventils ist zwischen der Förderhilfe 45 und dem Druckeinlass 53 angeordnet. Ein zweites Spülventil 59, hier auch als Spülauslassventil 59 bezeichnet, ist in Form eines Nadelventils zwischen einem seitlichen Spülauslass 63 und einem Ablauf 65 angeordnet. Ein drittes Spülventil 61 in Form eines Nadelventils ist zwischen der Spülquelle 55 und dem Druckeinlass 53 angeordnet.

[0029] Um nun das Nachfüllventil 19 mit Wasser oder einer Wasser-Spülmittel-Mischung durchzuspülen, damit ein Ventilraum des Nachfüllventils 19 von Abrasivmittelresten befreit werden kann, ist das Nachfüllventil 19 vorzugsweise geschlossen. Das erste Spülventil 57 wird ebenfalls geschlossen, damit vom Druckeinlass 53 Druck abgelassen werden kann, ohne den Druck an der Förderhilfe 45 abzulassen. Das zweite Spülventil 59 wird zum Ablauf 65 hin geöffnet, sodass der ggf. bestehende Hochdruck aus dem Ventilraum abgelassen werden kann. Wird nun das dritte Spülventil 61 geöffnet, so fließt Wasser bzw. eine Wasser-Spülmittel-Mischung durch den Ventilraum zum Ablauf 65 und spült diesen somit von Abrasivmittelresten frei. Vorzugsweise wird das Spülen des Nachfüllventils 19 bei vollständig druckloser Anlage 1 als Serviceprozedur durchgeführt, um den Ventilraum vollständig ausspülen zu können und ggf. den Ventilkörper dabei bewegen zu können.

[0030] Alternativ zur vierten Ausführungsform gemäß Fig. 4 kann in einer fünften Ausführungsform nach Fig. 5 ein Spüleinlass 66 separat vom Druckeinlass 53 vorgesehen (siehe auch Fig. 15a-b und 17a-b). Der Druckeinlass 53 kann koaxial zu einer Servomotorwelle 86 und dieser gegenüberliegend angeordnet sein, wobei der Spüleinlass 66 und der Spülauslass 63 quer zur Servomotorwelle 86 koaxial zueinander und an sich jeweils gegenüberliegenden Seiten angeordnet sein können.

[0031] Das Spülen wird durch Schließen der drei Spülventile 57, 59, 61 in umgekehrter Reihenfolge wieder beendet, d.h. das dritte Spülventil 61 wird zunächst geschlossen, sodass der Spülfluss gestoppt wird. Dann wird das zweite Spülventil 59 geschlossen, um den Ventilraum gegenüber dem Ablauf 65 abzuschließen. Schließlich kann das erste Spülventil 57 geöffnet werden, damit der Ventilraum mit Hochdruck bedruckt wird. Das Bedrucken des Ventilraums ist vorteilhaft, da ein Ventilkörper im Nachfüllventil 19 durch die hohe Druckdifferenz

zwischen dem Ventilausgang 51 oder Ventileingang 49 und dem Ventilraum so stark in einen Ventilsitz gepresst werden kann, dass sich dieser nicht mehr bewegen lässt. Das Bedrucken des Ventilraums schafft dagegen einen Druckausgleich, sodass der Ventilkörper im Nachfüllventil 19 beweglich bleibt.

[0032] In den Teilschaltbildern gemäß Fig. 7a-c wird eine bevorzugte Regelung des Abrasivmittelentnahmeflusses verdeutlicht. Zur Beimengung von Abrasivmittel in den Schneidstrahl 9 ist eine Abzweigung der Hochdruckleitung 5 durch den mit Abrasivmittelsuspension 13 gefüllten Druckbehälter 11 geführt. Eine im unteren Bereich des Druckbehälters 11 angeordnete Entnahmestelle 68 ist über eine Abrasivmittelleitung 70 mit der Austrittsdüse 7 verbunden, und eine Abzweigung der Hochdruckleitung 5 ist über ein Regelventil bzw. regelbare Drossel 17 in einen oberen Bereich des Druckbehälters 11 geführt. Stromabwärts vom Druckbehälter 11 wird die Abrasivmittelleitung vor der Austrittsdüse 7 wieder mit der Hochdruckleitung 5 zusammengeführt, sodass der Schneidstrahl beispielsweise in einem Mischungsverhältnis von 1:9 Abrasivmittelsuspension und Wasser enthält. Das Mischungsverhältnis ist dabei über das eingangsseitig mit dem Druckbehälter 11 verbundene Drossel bzw. Regelventil 17 regelbar. Bei maximaler Öffnungsstellung des Regelventils 17 ist der Abrasivmittelentnahmefluss maximal und das Mischungsverhältnis maximal. Bei minimaler Öffnungsstellung bzw. Schließstellung (siehe Fig. 7b oder 7c) des Regelventils 17 ist der Abrasivmittelentnahmefluss minimal bzw. null und das Mischungsverhältnis entsprechend gering bzw. enthält der Schneidstrahl 9 dann ausschließlich Wasser.

[0033] Es ist nun aus verschiedenen Gründen vorteilhaft, den tatsächlichen Abrasivmittelentnahmefluss zu messen und zu regeln. Zum einen kann für das Schneiden bestimmter Materialien, Werkstücke oder Werkstückabschnitte ein bestimmtes Mischungsverhältnis optimal sein, bei dem nur so viel Abrasivmittel zum Erzielen der Schneidleistung wie nötig entnommen wird. Bei inhomogenen Werkstücken kann die Schneidleistung über das Mischungsverhältnis während des Schneidens angepasst werden. Zum anderen kann das Nachfüllen des Druckbehälters 11 mit Abrasivmittel entsprechend dem Abrasivmittelentnahmefluss so gesteuert werden, dass ständig genügend Abrasivmittelsuspension 13 im Druckbehälter 11 für ein kontinuierliches Schneiden vorhanden ist. In Fig. 7a-c sind jeweils vier verschiedene Füllstände des Abrasivmittels im Druckbehälter 11 durch gestrichelte Kegel angedeutet. Zwischen einem maximalen Füllstandskegel F_{max} und einem minimalen Füllstandskegel F_{min} sind zwei weitere Füllstandskegel F_1 und F_2 gezeigt, wobei $F_{max}>F_1>F_2>F_{min}$. Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass die gesamte Anlage 1 und insbesondere der Druckbehälter 11 vollständig luftfrei sind. Das heißt, dass sich die Füllstandskegel in hochbedrucktem Wasser befinden. Der maximale Füllstandskegel F_{max} ist dadurch definiert, dass sich bei weiterer Nachfüllung mit Abrasivmittel in den Druckbehälter 11 ein Rückstau in das Nachfüllventil 19 ergeben würde. Der minimale Füllstandskegel F_{min} ist dadurch definiert, dass sich bei weiterer Abrasivmittelentnahme der Abrasivmittelanteil der Abrasivmittelsuspension in der ausgangsseitigen Abrasivmittelleitung 70 abnehmen würde.

[0034] Wie in Fig. 7a und 7b gezeigt, können Füllstandssensoren 72, 74, 76 am Druckbehälter 11 angeordnet sein, um das Erreichen eines Füllstandskegels zu signalisieren. Die Füllstandssensoren 72, 74, 76 können beispielsweise Ultraschallsensoren, optische Sensoren bzw. Schranken, elektro-magnetische Sensoren oder Sensoren anderer Art sein. Hier sind die Füllstandssensoren 72, 74, 76 Ultraschallsensoren, die ein Erreichen eines Füllstandskegels über eine Veränderung des Körperschalls signalisieren können. Ein oberer Füllstandssensor 72 kann beispielsweise das Erreichen des Füllstandskegels F_1 signalisieren und einen Zeitnehmer starten bzw. einen Zeitpunkt t_1 definieren. Ein unterer Füllstandssensor 74 kann beispielsweise das Erreichen des Füllstandskegels F_2 signalisieren und einen Zeitnehmer nach Δt stoppen bzw. einen Zeitpunkt t_2 definieren. Über die bekannte Geometrie des Druckbehälters 11 und den vertikalen Abstand der Füllstandssensoren 72, 74 kann ein mittlerer Abrasivmittelentnahmefluss ermittelt werden als $\Delta V/\Delta t$ bzw. $\Delta V/(t_2-t_1)$. Der dritte unterste Füllstandssensor 76 kann den minimalen Füllstandskegel F_{min} signalisieren und sofort eine Absperrung des Absperrventils 15 bewirken, um ein Leersaugen des Druckbehälters 11 zu verhindern. Gemäß Fig. 7b können auch andere Betriebsparameter wie etwa die Pumpendrehzahl der Hochdruckquelle 3 zur Bestimmung des Abrasivmittelentnahmeflusses und dessen Regelung als Regelgröße für das Regelventil 17 herangezogen werden. Wie in Fig. 7c gezeigt, kann der Abrasivmitteldurchfluss bzw. das Mischungsverhältnis mittels eines entsprechenden Sensors 79 auch an der Abrasivmittelleitung 70 bzw. vor der Austrittsdüse 7 bestimmt und als Regelgröße für das Regelventil 17 benutzt werden.

[0035] Die Füllstandssensoren 72, 74 können auch dazu genutzt werden, die Nachfüllzyklen zu steuern bzw. zu takten. Beispielsweise kann über dem oberen Füllstandssensor 72 zwischen dem Füllstandskegel F_1 und dem maximalen Füllstandskegel F_{max} eine Füllung der Schleusenkammer 21 passen. Sinkt der Füllstandskegel unter Fi, kann der obere Füllstandssensor 72 ein Befüllen der Schleusenkammer 21 auslösen, damit diese vollständig befüllt ist, wenn der untere Füllstandssensor 74 den Füllstandskegel F_2 signalisiert und damit ein Nachfüllen aus der befüllten Schleusenkammer 21 in den Druckbehälter 11 auslösen kann. Damit wird verhindert, dass der Füllstandskegel bis auf den minimalen Füllstandskegel F_{min} absinkt. Zwischen dem minimalen Füllstandskegel F_{min} und dem Füllstandskegel F_2 kann ebenfalls mindestens eine Füllung der Schleusenkammer 21 als Puffer passen. Alternativ zu einem Auslösen des Befüllens der Schleusenkammer 21 bei einem bestimmten Füllstand kann die Schleusenkammer 21 automatisch immer sofort wieder befüllt werden sobald das

Nachfüllen des Druckbehälters 11 beendet ist. Dann braucht nur bei dem Füllstandskegel F_2 das Nachfüllen aus der Schleusenkammer 21 ausgelöst werden. Der vertikale Abstand zwischen dem oberen Füllstandssensor 72 und dem unteren Füllstandssensor 74 kann relativ kurz gewählt werden, beispielsweise so kurz, dass ein Absinken zwischen F_1 und F_2 kürzer dauert als ein Befüllvorgang der Schleusenkammer 21. Mit einem kürzeren vertikalen Abstand kann der mittlere Abrasivmittelentnahmefluss $\Delta V/\Delta t$ bzw. $\Delta V/(t_2-t_1)$ häufiger ermittelt werden und damit genauer den aktuellen Abrasivmittelentnahmefluss dV/dt wiedergeben.

[0036] Fig. 8 bis 12 zeigen verschiedene Möglichkeiten, Abrasivmittel in trockener, nasser, feuchter, suspendierter, gefrorener, pelletierter oder anderer Form in den Nachfülltrichter 25 bzw. direkt in das Befüllventil 23 zu geben. In Fig. 8 ist ein Vorladebehälter 78 vorgesehen, aus dem mittels einer Pumpe 80 Abrasivmittelsuspension in den Nachfülltrichter 25 gefördert wird. Über einen Überlauf 82 am Nachfülltrichter kann beim Beladen des Nachfülltrichters 25 Wasser ablaufen, das durch das absinkende Abrasivmittel verdrängt wird.

[0037] In Fig. 9 ist ein Vorladebehälter 78 vorgesehen, aus dem mittels einer Förderschnecke 84 und/oder eines Förderbands 85 trockenes pulverförmiges oder feuchtes klumpiges Abrasivmittel in den Nachfülltrichter 25 gefördert wird. Über den Überlauf 82 am Nachfülltrichter 25 kann auch hier beim Beladen des Nachfülltrichters 25 Wasser ablaufen, das durch das absinkende Abrasivmittel verdrängt wird. Das Abrasivmittel kann beispielsweise nach einem Schneidprozess aus dem Abwasser des Schneidstrahls 9 wiedergewonnen und aufbereitet sein, sodass es für einen weiteren Schneidprozess benutzbar ist. Der Vorteil dieser Anlage gegenüber bekannten Wasser-Abrasiv-Injektions-Schneidanlagen ist, dass solch ein wiederaufbereitetes Abrasivmittel nicht getrocknet werden muss und in feucht-klumpiger oder beliebiger Form in die Anlage gefüllt werden kann.

[0038] In Fig. 10 ist kein Überlauf 82 vorgesehen, sondern ein Kreislauf zwischen dem Nachfülltrichter 25 und dem Vorladebehälter 78, wobei die Pumpe 80 ausgangsseitig vom Nachfülltrichter 25 den Kreislauf zur Befüllung des Nachfülltrichter 25 mit Abrasivmittel antreibt. Der Nachfülltrichter 25 ist in diesem Fall vorzugsweise geschlossen, sodass die Pumpe 80 Abrasivmittelsuspension aus dem Vorladebehälter 78 saugen kann. Vorteilhaft ist hierbei, dass die Pumpe 80 relativ sauberes Wasser fördert und keine gesättigte Abrasivmittelsuspension wie in Fig. 8. Dadurch wird der Verschleiß in der Pumpe 80 reduziert. Außerdem ist ein Ansaugen der Abrasivmittelsuspension weniger verstopfungsanfällig als ein Drücken. Wie in Fig. 11 gezeigt, kann allerdings auch eine Förderschnecke 84 eingangsseitig zum Nachfülltrichter 25 angeordnet sein, um Abrasivmittel in den Nachfülltrichter 25 zu fördern. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn keine Abrasivmittelsuspension im Vorladebehälter 78 ist, sondern Abrasivmittel als trockenes Pulver oder in feucht-klumpiger Form.

[0039] Es kann sogar vollständig auf den Nachfülltrichter 25 verzichtet werden (siehe Fig. 12), wenn das Fördern über eine Förderschnecke 84 oder eine Pumpe 80 schnell genug und kontrolliert direkt in das Befüllventil 23 stattfindet. Über das Pumpenabsperrventil 33 kann das beim Befüllen der Schleusenkammer 21 durch das Abrasivmittel verdrängte Wasser aus der Schleusenkammer 21 in den Nachfülltrichter 25 zurückgeführt werden. Dies kann auch mit einer Pumpe 31 gemäß Fig. 1 bis 5 unterstützt werden, um Abrasivmittel zusätzlich aktiv in die Schleusenkammer 21 zu saugen.

[0040] Das Nachfüllen des Abrasivmittels in den Druckbehälter 11 erfolgt gemäß einem Ausführungsbeispiel portioniert und zyklisch während ein zu bearbeitendes Werkstück kontinuierlich mit dem Schneidstrahl 9 geschnitten werden kann. Fig. 13 illustriert die Verfahrensschritte im zeitlichen Ablauf. In einem ersten Schritt 301 wird Wasser unter hohem Druck in der Hochdruckleitung 5 mittels der Hochdruckquelle 3 bereitgestellt. Damit wird dann auch eine unter Druck stehende Abrasivmittelsuspension in dem Druckbehälter 11 bereitgestellt 303. Damit kann dann bereits ein Werkstück mittels des Hochdruckstrahls 9, der zumindest teilweise die Abrasivmittelsuspension enthält, unter Entnahme der Abrasivmittelsuspension aus dem Druckbehälter 11 geschnitten werden 305. Die Schritte 307 bis 311 dienen dem portionierten und zyklischen Nachfüllen des Druckbehälters 11 mit Abrasivmittel während des kontinuierlichen Scheidens 305. Zunächst wird die unbedruckte Schleusenkammer 21 mit Abrasivmittel oder einer Abrasivmittelsuspension befüllt 307. Während des Befüllens ist die Förderhilfe 45 durch das Förderhilfeabsperrventil 47 von der unbedruckten Schleusenkammer 21 abgesperrt. Sodann wird die Pumpe 31 von der Schleusenkammer 21 abgesperrt 308. Danach wird die Schleusenkammer zumindest teilweise durch Druckentladen des Druckspeichers 39 bedruckt 309, und schließlich der Druckbehälter 11 mit Abrasivmittel oder einer Abrasivmittelsuspension über das Nachfüllventil 19 aus der bedruckten Schleusenkammer 21 nachgefüllt 311. Beim Nachfüllen 311 ist die Förderhilfe 45 über das geöffnete Förderhilfeabsperrventil 47 mit der bedruckten Schleusenkammer 21 fluidverbunden. Nach dem Nachfüllen 311 werden das Förderhilfeabsperrventil 47 sowie das Bedruckungsventil 37 und das Nachfüllventil 19 abgesperrt, um die Schleusenkammer 21 über das Druckablassventil 27 in den Ablauf 29 für den nächsten Befüllschritt druckentlasten zu können.

[0041] Während des Befüllens 307 der Schleusenkammer 21 oder während des Nachfüllens 311 des Druckbehälters 11 kann der Druckspeicher über die Drossel 41 aus der Hochdruckleitung 5 druckbeladen werden 313. Zeitgleich startend mit dem Bedrucken 309 der Schleusenkammer 21 aus dem Druckspeicher 39 kann die Schleusenkammer 21 zumindest teilweise über die Drossel 41 aus der Hochdruckleitung 5 bedruckt werden 315. Dieses langsame gedrosselte Bedrucken 315 aus der Hochdruckleitung 5 kann länger andauern als

das schnelle Bedrucken 309 durch das Druckentladen des Druckspeichers 39. Mit anderen Worten kann das Bedrucken 309 der Schleusenkammer 21 durch Druckentladen eines Druckspeichers 39 während eines ersten Zeitfensters A und das Bedrucken 315 der Schleusenkammer 21 der Hochdruckleitung 5 während eines zweiten Zeitfensters B erfolgen, wobei sich das erste Zeitfenster A und das zweite Zeitfenster B zumindest teilweise überschneiden, vorzugsweise an ihrem Beginn.

[0042] Das Bedrucken 309 der Schleusenkammer 21 durch Druckentladen des Druckspeichers kann derart schnell erfolgen, dass in der Schleusenkammer 21 befindliches Abrasivmittel durch einen Druckstoß aufgelockert wird. Dabei erfolgt das Bedrucken 309 der Schleusenkammer durch Druckentladen des Druckspeichers 39 vorzugsweise in einen unteren Bereich der Schleusenkammer 21, da etwaige Verstopfungen von Abrasivmittel in einem unteren Bereich wahrscheinlicher sind als in einem oberen Bereich.

[0043] Optional ist der Bedruckungseingang 35 der Schleusenkammer 21 vom Druckspeicher 39 und/oder der Hochdruckleitung 5 während des Befüllens 307 und des Nachfüllens 311 abgesperrt. Das Druckbeladen 313 der Druckspeicher 39 kann somit während des Befüllens 307 und/oder des Nachfüllens 311 erfolgen. Dabei kann Energie über eine Feder- oder Fluidkompression im Druckspeicher 39 gespeichert werden, der beispielsweise als Feder- oder Blasenspeicher ausgestaltet sein kann. Das Befüllen 307, das Bedrucken 309 und das Nachfüllen 311 können zyklisch ablaufen während das Schneiden 305 kontinuierlich durchgeführt werden kann.

[0044] Optional kann der Druckspeicher 39 nach dem Bedrucken 309 der Schleusenkammer 21 durch Druckentladen des Druckspeichers 39 von der Hochdruckleitung 5 zunächst mittels des Druckspeicherventils 43 abgesperrt werden. Das Druckspeicherventil 43 kann vorzugsweise erst dann zum Druckbeladen des Druckspeichers 39 wieder geöffnet werden, wenn die Schleusenkammer 21 über die Drossel 41 aus der Hochdruckleitung 5 bedruckt wurde.

[0045] Fig. 14 verdeutlicht einen beispielhaften Verlauf des Drucks p über die Zeit t in der Schleusenkammer 21 (oben), im Druckspeicher 39 (mittig) und in der Hochdruckleitung 5 (unten). Der Druck in der unbedruckten Schleusenkammer 21 ist zunächst der Umgebungsdruck, der hier auf der Nulllinie liegt. Die Schleusenkammer 21 kann in dieser unbedruckten Phase vor dem Start des Bedruckens 309 zum Zeitpunkt to befüllt werden 307.

[0046] Das Bedrucken 309, 315 beginnt zum Zeitpunkt to. Während des ersten kurzen Zeitfensters $A=t_1-t_0$ wird nun die Schleusenkammer 21 auf bis zu 40% des nominellen Hochdrucks po aus der Druckentladung des Druckspeichers 39 bedruckt 309. Der Druckspeicher 39 ist dann bei t_1 bis auf ein Minimum entladen und wird danach über das Druckspeicherventil 43 gemäß dem zweitem Ausführungsbeispiel in Fig. 2 abgesperrt. Die Schleusenkammer 21 wird allerdings langsam innerhalb des zweiten längeren Zeitfensters $B=t_2-t_0$ weiter über die Drossel 41 aus der Hochdruckleitung 5 bedruckt 315 bis der nominelle Hochdruck po bei t_2 erreicht ist. Das Bedrucken 309, 315 der Schleusenkammer 21 kann 5 bis 10 Sekunden dauern. Sobald der nominelle Hochdruck po in der Schleusenkammer 21 bei t_2 erreicht ist, kann das Nachfüllen 311 beginnen und der Druckbehälter 39 gleichzeitig wieder druckbeladen 313 werden. In der Ausführungsform gemäß Fig. 3 ohne Druckspeicher 39 wird die Schleusenkammer 21 komplett über die Drossel 41 über das Zeitfenster B hinweg aus der Hochdruckleitung 5 bedruckt.

[0047] Zwischen t_2 und t_3 ist das Nachfüllventil 19 geöffnet, sodass Abrasivmittel in den Druckbehälter 11 strömen kann. Zum Zeitpunkt t_3 ist das Abrasivmittel vollständig aus der Schleusenkammer 21 in den Druckbehälter 11 geströmt und der Nachfüllschritt 311 abgeschlossen. Zum Befüllen 307 kann der Druck aus der Schleusenkammer 21 relativ schnell über das Druckablassventil 27 in den Ablauf 29 abgelassen werden bis bei t_4 wieder Niederdruck in der Schleusenkammer 21 herrscht. Dann kann ein neuer Nachfüllzyklus beginnend mit dem Befüllen 307 der Schleusenkammer 21 starten. Der Druckspeicher 39 wird vorzugsweise möglichst langsam und gedrosselt von t_2 an aus der Hochdruckleitung 5 wieder druckbeladen, um bei to wieder für das Bedrucken 309 voll druckgeladen zu sein. Der untere Graph zeigt den Druckabfall in der Hochdruckleitung 5 beim Öffnen des Bedruckungsventils 37 bei to bzw. des Druckspeicherventils 43 bei t_2. Die Amplitude des Druckabfalls ist jeweils über die Drossel 41 auf ein Maß reduziert, bei dem die Schneidleistung des Schneidstrahls 9 nicht signifikant beeinträchtigt ist.

[0048] In Figuren 15a und 15b ist das Nachfüllventil 19 im Querschnitt detaillierter in jeweils unterschiedlichen Öffnungsstellungen gezeigt. Da das Nachfüllventil 19 unter Hochdruck auf dem Ventileingang 49 und dem Ventilausgang 51 betätigt werden muss, ist das störungsfreie Betätigen des Nachfüllventils 19 eine technische Herausforderung. Das zuverlässige Öffnen und Schließen des Nachfüllventils 19 wird nun durch vier Unteraspekte gewährleistet, die jeder für sich allein oder in beliebiger Kombination von zwei, drei oder allen vier Unteraspekten dazu beitragen, dass das Nachfüllventil 19 nicht verstopft oder durch das Abrasivmittel blockiert.

[0049] Das Nachfüllventil 19, das vorzugsweise als Kugelhahn ausgebildet ist, hat eine vertikale Durchflussrichtung D von oben nach unten und weist einen zentral angeordneten und um eine zur Durchflussrichtung D senkrechte Drehachse R drehbaren Ventilkörper 67 mit sphärischen Außenflächen auf. Der Ventilkörper 67 weist eine zentrische Durchbrechung 69 auf, die in den in Fig. 15a und Fig. 15b gezeigten Öffnungsstellungen parallel zur Durchflussrichtung D und senkrecht zur Drehachse R verläuft. Die erste Öffnungsstellung gemäß Fig. 15a unterscheidet sich von der zweiten Öffnungsstellung gemäß Fig. 15b dadurch, dass der Ventilkörper 67 um 180° bezüglich der Drehachse R gedreht ist. Der Ventilkörper 67 sitzt in einem Ventilraum 71 zwischen einem oberen

Ventilsitz 73 und einem unteren Ventilsitz 75. Der obere Ventilsitz 73 bildet den Ventileingang 49 und der untere Ventilsitz 75 den Ventilausgang 51. Der obere Ventilsitz 73 und der untere Ventilsitz 75 sind koaxial zueinander und zur vertikalen Durchflussrichtung D angeordnet. Der Ventilraum 71 ist über den lateralen Spüleinlass 66 und über den diametral dem Spüleinlass 66 gegenüberliegenden Spülauslass 63, vorzugsweise bei vollständig drucklosem Nachfüllventil 19, durchspülbar.

[0050] Gemäß dem ersten Unteraspekt ist das Nachfüllventil 19 dazu in der Lage, eine erste Schließstellung (Fig. 16a), eine erste Öffnungsstellung (Fig. 15a) und eine zweite Öffnungsstellung (Fig. 15b) einzunehmen, wobei in der ersten Schließstellung (Fig. 16a) die Schleusenkammer 21 vom Druckbehälter 11 fluidgetrennt ist und in der ersten sowie der zweiten Öffnungsstellung (Fig. 15a-b) die Schleusenkammer 21 mit dem Druckbehälter 11 fluidverbunden ist. Die erste Öffnungsstellung und die zweite Öffnungsstellung sind wegen der Symmetrie des Ventilkörpers 67 im Wesentlichen kaum unterscheidbar. Der Ventilkörper 67 kann beliebig weit in eine Richtung um die Drehachse R gedreht werden, sodass eine Umkehr der Drehrichtung prinzipiell nicht nötig ist und der Ventilkörper 67 ausschließlich in eine Drehrichtung betätigt werden kann, sofern das dafür benötigte Drehmoment einen bestimmten Schwellenwert nicht überschreitet. Die erste Schließstellung aus Fig. 16a liegt hier bei 90° zwischen der ersten Öffnungsstellung und der zweiten Öffnungsstellung. In diesem Fall gibt es auch eine zweite Schließstellung (siehe Fig. 16b), die gegenüber der ersten Schließstellung um 180° um die Drehachse R gedreht ist. Die Durchbrechung 69 verläuft in den in Fig. 16a und Fig. 16b gezeigten Schließstellungen sowohl senkrecht zur Durchflussrichtung D als auch senkrecht zur Drehachse R, sodass der Ventilkörper 67 den Ventileingang 49 am oberen Ventilsitz 73 abdichtet und den Ventilausgang 51 am unteren Ventilsitz 75. Hier sind der optionale Spüleinlass 66 und Spülauslass 63 nicht gezeigt, können aber vorgesehen sein. Damit bestehen also für den Ventilkörper 67 immer zwei Möglichkeiten zur Bewegungsrichtung, das Nachfüllventil 19 entweder zur ersten Öffnungsstellung/Schließstellung oder zur zweiten Öffnungsstellung/Schließstellung hin zu öffnen bzw. zu schließen, falls eine Bewegungsrichtung momentan ein zu hohes Drehmoment erfordert. Ist also eine Bewegungsrichtung verstopft oder blockiert, so kann der Ventilkörper 67 in die andere Bewegungsrichtung bewegt werden und das Ventil 19 in die andere Öffnungsstellung/Schließstellung gebracht werden. Dabei kann durch die Umkehrung als positiver Nebeneffekt die Verstopfung bzw. Blockade aufgelöst werden, sodass bei der nächsten Betätigung die zuvor blockierte Bewegungsrichtung wieder frei ist. Das Nachfüllventil 19 kann auch durch mehrmaliges Hin- und Herdrehen freigerüttelt werden, beispielsweise falls der Ventilkörper 67 in beide Bewegungsrichtungen nur schwer zu betätigen ist.

[0051] Gemäß dem zweiten Unteraspekt ist der Ventilraum 71 in einer Schließstellung des Ventilkörpers 67 bedruckbar. Gemäß Fig. 17a-b weist der Ventilraum 71 dazu den Druckeinlass 53 auf, über den der Ventilraum 71 in einer Schließstellung des Ventilkörpers 67 bedruckbar ist. Der Druckeinlass 53 ist hier in der yz-Ebene koaxial zu einer Servomotorwelle 86 dieser gegenüberliegend angeordnet. Alternativ dazu kann der Druckeinlass 53 auch in der dazu senkrechten xz-Ebene liegen und ggf. je nach Bedarf als Spüleinlass 66 verwendet werden. Über die Servomotorwelle 86 wird der Ventilkörper 67 um die Drehachse R gedreht. Bei Inbetriebnahme bzw. Wiederinbetriebnahme der zunächst drucklosen Anlage 1 ist der Ventilraum 71 anfänglich drucklos. Wird der Druckbehälter 11 und die Schleusenkammer 21 dann auf etwa 2.000 bar bedruckt, kann der Ventilkörper 67 von den Ventilsitzen 73, 75 wegen des eingangsseitigen sowie ausgangsseitigen Hochdrucks bei gleichzeitigem Niederdruck im Ventilraum 71 eingeklemmt werden und nur schwer oder gar nicht mehr beweglich sein. Mittels des Druckeinlasses 53 kann die Druckdifferenz zwischen dem Ventilraum 71 und dem Ventileingang 49 bzw. dem Ventilausgang 51 bei Inbetriebnahme weitgehend reduziert werden, sodass der Ventilkörper 67 nicht durch den hohen Druck eingeklemmt wird. In Fig. 17b ist der obere Ventilsitz 73 gemäß dem vierten Unteraspekt über eine Einstellvorrichtung einstellbar gezeigt. Der obere Ventilsitz 73 ist dabei über ein Außengewinde mittels einer Drehung um die Durchflussrichtung D in z-Richtung positionierbar. Die Drehung kann durch von außen in Angriffsflächen 77 angreifende Hebel 88 manuell oder motorgetrieben durchgeführt werden.

[0052] Gemäß dem dritten Unteraspekt ist der Ventilraum wie beispielsweise in Fig. 15a-b gezeigt durchspülbar. Dabei weist das Nachfüllventil den Spüleinlass 66 und den Spülauslass 63 auf, über welche der Ventilraum 71 durchspülbar ist. Der Druckeinlass 53 kann dabei wahlweise als Spüleinlass 66 dienen. Dies ist besonders vorteilhaft in Kombination mit dem zweiten Unteraspekt eines Druckeinlasses 53, da ein Spüldurchgang bei drucklosem Ventilraum 71 bzw. vollständig druckloser Anlage 1 durchgeführt werden kann und danach bei Wiederinbetriebnahme der Anlage 1 der Ventilraum 71 über den Druckeinlass 53 wieder bedruckt werden kann, damit der Ventilkörper 67 vom hohem Druck nicht eingeklemmt wird.

[0053] Gemäß dem vierten Unteraspekt weist das Nachfüllventil den eingangsseitigen oberen Ventilsitz 73 und den ausgangsseitigen unteren Ventilsitz 75 auf, wobei mindestens einer der Ventilsitze 73, 75 verstellbar ist, sodass der Abstand der Ventilsitze 73, 75 zueinander einstellbar ist. Somit kann das Nachfüllventil 19 optimal eingestellt werden, um einerseits dicht zu sein und andererseits nicht zu blockieren. Es kann bei Inbetriebnahme der Anlage, bei Temperaturschwankungen, einer hartnäckigen Blockade durch Abrasivmittel und/oder materialverschleißbedingt ein Nachjustieren des Abstands der Ventilsitze 73, 75 zueinander vorteilhaft sein. Um dafür die Anlage nicht abschalten und auseinander bauen zu müssen, kann wie in Fig. 18a gezeigt eine Werkzeug-

öffnung 90 vorgesehen sein, durch die ein Werkzeug in Form eines Hebels 88 greifen kann, um den mindestens einen verstellbaren Ventilsitz 73 einzustellen. Vorzugsweise wird allerdings das Einstellen des Ventilsitzes 73 in einer Serviceprozedur bei druckloser Anlage 1 durchgeführt. In diesem Beispiel ist der obere eingangsseitige Ventilsitz 73 über ein Außengewinde axial entlang der Durchflussrichtung D verstellbar. Hebel 88 können von außen an umfangseitig angeordnete Angriffsflächen 77 (siehe Fig. 18b) angesetzt werden, um den Ventilsitz 73 zu drehen. Das Nachfüllventil 19 muss also nicht von der Anlage 1 getrennt oder abgebaut werden. Die bedienende Person kann somit manuell sofort eingreifen, um einen kontinuierlichen Betrieb sicherzustellen, oder die Anlage 1 abschalten und entdrucken, um das Einstellen des Ventilsitzes 73 als Serviceprozedur durchzuführen. Alternativ oder zusätzlich kann das Nachjustieren auch automatisch gesteuert und/oder geregelt über einen Motor erfolgen.

[0054] Der Ventilkörper 67 wird vorzugsweise über einen nicht gezeigten Servomotor kontrolliert um die Drehachse R gedreht. Dabei kann das ggf. gemessene Drehmoment oder die Leistungsaufnahme des Motors überwacht werden, sodass bei Überschreitung eines Schwellenwertes die Drehrichtung zur anderen Öffnungsstellung oder Schließstellung hin umgestellt werden kann. Alternativ oder zusätzlich können Drehmoment- oder Leistungsspitzen über einen bestimmten Zeitraum aufgezeichnet werden und basierend auf dieser Aufzeichnung ein Fehler- oder Wartungsfall signalisiert werden. Beispielsweise kann der Bedarf für ein Nachjustieren des Ventilsitzes 73 angezeigt werden.

[0055] Fig. 19a-b zeigen zwei Ausführungsformen von spülbaren Nadelventilen, die beispielsweise als eines oder mehrere der Absperrventile 15, 27, 33, 37, 47 oder an anderer Stelle in der Anlage 1 verwendet werden können. Das Nadelventil gemäß Fig. 19a wird vorzugsweise dort eingesetzt, wo das Nadelventil nicht unter Hochdruck öffnen oder schließen muss, z.B. als Pumpenabsperrventil 33 im Kreislauf zur Unterstützung der Befüllung der Schleusenkammer 21. Das Pumpenabsperrventil 33 weist dabei einen Hochdruckeingang 92 auf, der mit einer zum Hochdruckeingang 92 koaxial angeordneten und axial positionierbaren Nadel 94 bezüglich eines Niederdruckausgangs 95 absperrbar ist. Die Nadel 94 weist an einem dem Hochdruckeingang 92 zugewandten Ende eine konische Schließfläche 96 auf, die zum Absperren gegen einen Ventilsitz 98 gedrückt werden kann. Sobald der Hochdruckeingang 92 abgesperrt ist, kann auf den Hochdruckeingang 92 Hochdruck gegeben werden, ohne dass dieser über den Niederdruckausgang 95 entweicht. Wenn kein Hochdruck am Hochdruckeingang 92 herrscht, kann das Pumpenabsperrventil 33 geöffnet werden, um einen Durchfluss bei Niederdruck vom Hochdruckeingang 92 zum Niederdruckausgang 95 zuzulassen.

[0056] Das Nadelventil gemäß Fig. 19a-b weist auch einen Spüleinlass 100 auf, über den das geöffnete Nadelventil durchgespült werden kann, wobei Spülflüssigkeit, d.h. Wasser oder Wasser mit Reinigungszusätzen, über den Niederdruckausgang 95 ausfließen kann. Durch diesen Durchfluss von Spülflüssigkeit kann insbesondere der Ventilsitz 98 und die Schließfläche 96 von Abrasivmittelresten befreit werden, um ein sauberes Schließen unter möglichst wenig Materialverschleiß zu gewährleisten. Vorzugsweise kann das Nadelventil kurz vor einem Schließvorgang des Nachfüllventils 19 gespült werden. Fig. 19b zeigt ein Nadelventil mit einem Rückschlagventil 102 am Spüleinlass 100. Das Rückschlagventil 102 verhindert einen Rückfluss in den Spüleinlass 100 und lässt nur einen Durchfluss von Spülflüssigkeit in Richtung des Nadelventils zu. Dies ist dann sinnvoll, wenn das Nadelventil beispielsweise als eines oder mehrere der Absperrventile 15, 27, 37, 47 verwendet wird, da dort das Ventil geöffnet wird, wenn am Hochdruckeingang 92 Hochdruck herrscht. Dieser Hochdruck würde sich ohne das Rückschlagventil 102 zumindest teilweise in den Spüleinlass 100 entladen und zu einem Rückfluss in den Spüleinlass 100 führen. Dies verhindert das Rückschlagventil 102 und ermöglicht somit einen sauberen Druckablass über den Niederdruckausgang 95. Der Niederdruckausgang 95 kann in diesem Fall auch ein Hochdruckausgang 95 sein. Beispielsweise ist der Niederdruckausgang 95 im Falle des Druckablassventils 27 mit einem Ablauf 29 verbunden. Im Falle des Bedruckungsventils 37 ist der Hochdruckausgang 95 jedoch mit dem Bedruckungseingang 35 der Schleusenkammer 21 verbunden, um diese mit Hochdruck zu beaufschlagen.

[0057] Vorzugsweise sind die Nadelventile pneumatisch über einen Anpressteller (nicht gezeigt) betrieben. Um dem auf die Nadelspitze in Form der konischen Schließfläche 96 wirkenden Hochdruck entgegenzuwirken, kann ein Luftdruck auf den sehr viel größeren Anpressteller gegeben werden, sodass mit wenigen bar Luftdruck das Nadelventil geschlossen und gegen einen Hochdruck von 1.500 bar und mehr dicht gehalten werden kann.

[0058] Die nummerierten Bezeichnungen der Bauteile oder Bewegungsrichtungen als "erste", "zweite", "dritte" usw. sind hierin rein willkürlich zur Unterscheidung der Bauteile oder Bewegungsrichtungen untereinander gewählt und können beliebig anders gewählt werden. Es ist damit kein Bedeutungsrang verbunden.

Bezugszeichenliste

[0059]

1 - Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage
3 - Hochdruckquelle
5 - Hochdruckleitung
7 - Austrittsdüse
9 - Schneidstrahl
11 - Druckbehälter
13 - Wasser-Abrasivmittel-Suspension

15 - Absperrventil
17 - Drossel
19 - Nachfüllventil
21 - Schleusenkammer
23 - Befüllventil
25 - Nachfülltrichter
27 - Druckablassventil
29 - Ablauf
31 - Pumpe
33 - Pumpenabsperrventil
35 - Bedruckungseingang
37 - Bedruckungsventil
39 - Druckspeicher
41 - Drossel
42 - Drossel
43 - Druckspeicherventil
45 - Förderhilfe
47 - Förderhilfeabsperrventil
49 - Ventileingang
51 - Ventilausgang
53 - Druckeinlass
55 - Spülquelle
57 - erstes Spülventil
59 - zweites Spülventil bzw. Spülauslassventil
61 - drittes Spülventil
63 - Spülauslass
65 - Ablauf
66 - Spüleinlass
67 - Ventilkörper
68 - Entnahmestelle
69 - Durchbrechung
70 - Abrasivmittelleitung
71 - Ventilraum
72 - Füllstandssensor
73 - eingangsseitiger Ventilsitz
74 - Füllstandssensor
75 - ausgangsseitiger Ventilsitz
76 - Füllstandssensor
77 - Angriffsflächen
78 - Vorladebehälter
80 - Pumpe
82 - Überlauf
84 - Förderschnecke
85 - Förderband
86 - Servomotorwelle
88 - Hebel
90 - Werkzeugöffnung
92 - Hochdruckeingang
94 - Nadel
95 - Niederdruckausgang/Hochdruckausgang
96 - konische Schließfläche
98 - Ventilsitz
100 - Spüleinlass
102 - Rückschlagventil
301 - Bereitstellen von Wasser unter hohem Druck in der Hochdruckleitung
303 - Bereitstellen einer unter Druck stehenden Abrasivmittelsuspension in dem Druckbehälter
305 - Schneiden eines Materials mittels eines Hochdruckstrahls
307 - Befüllen einer unbedruckten Schleusenkammer mit Abrasivmittel oder einer Wasser-Abrasivmittel-Suspension
308 - Absperren der Pumpe von der Schleusenkammer
309 - Bedrucken der Schleusenkammer durch Druckentladen des Druckspeichers
311 - Nachfüllen des Druckbehälters mit Abrasivmittel
313 - Druckbeladen des Druckspeichers
315 - Bedrucken der Schleusenkammer über die Drossel aus der Hochdruckleitung
A - erstes Zeitfenster
B - zweites Zeitfenster
R - Drehachse
D - Durchflussrichtung
F_1 - Füllstandskegel
F_2 - Füllstandskegel
F_{max} - maximaler Füllstandskegel
F_{min} - minimaler Füllstandskegel

Patentansprüche

1. Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage (1) mit

- einer Hochdruckquelle (3) zum Bereitstellen (301) von Wasser unter Hochdruck,
- einer mit der Hochdruckquelle (3) verbundenen Hochdruckleitung (5), und
- einem Druckbehälter (11) zum Bereitstellen (303) einer unter Hochdruck stehenden Abrasivmittelsuspension (13), **dadurch gekennzeichnet, dass**

der Druckbehälter (11) über eine regelbare Drossel (17) mit der Hochdruckleitung (5) fluidverbunden ist, wobei die Drossel (17) eingangsseitig vom Druckbehälter (11) angeordnet ist und dazu eingerichtet ist, abhängig von mindestens einer Regelgröße den Zufluss in den Druckbehälter (11) aus der Hochdruckleitung (5) zu regeln.

2. Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage (1) nach Anspruch 1, wobei stromabwärts oder stromaufwärts von der Drossel (17) ein Absperrventil (15) angeordnet ist.

3. Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage (1) nach Anspruch 2, wobei das Absperrventil (15) dazu ausgestaltet ist, abhängig von mindestens einem Sensorsignal den Druckbehälter (11) von der Hochdruckleitung (5) abzusperren.

4. Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage (1)

nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Regelgröße ein Sensorsignal und/oder einen Betriebsparameter der Hochdruckquelle (3) aufweist.

5. Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Regelgröße einen Abrasivmittelstrom aus dem Druckbehälter (11) oder einen für einen Abrasivmittelstrom aus dem Druckbehälter (11) charakteristischen Parameter aufweist.

6. Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einem ersten Füllstandssensor (72) zur Signalisierung mindestens eines ersten Füllstands (F_1) von Abrasivmittel im Druckbehälter (11), wobei die mindestens eine Regelgröße eine zeitliche Veränderung des ersten Füllstands (F_1) aufweist.

7. Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einem ersten Füllstandssensor (72) zur Signalisierung mindestens eines ersten Füllstands (F_1) von Abrasivmittel im Druckbehälter (11) und mit einem zweiten Füllstandssensor (74) zur Signalisierung mindestens eines zweiten Füllstands (F_2) von Abrasivmittel im Druckbehälter (11), wobei die mindestens eine Regelgröße eine Zeitdifferenz zwischen dem ersten Füllstand (F_1) und dem zweiten Füllstand (F_2) aufweist.

8. Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einem ausgangsseitig vom Druckbehälter (11) angeordneten Abrasivmittelflusssensor (79), wobei die mindestens eine Regelgröße einen vom Abrasivmittelflusssensor (79) signalisierten Abrasivmittelfluss aufweist.

9. Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Regelgröße eine Drehzahl und/oder Leistungs- bzw. Stromaufnahme der Hochdruckquelle (3) aufweist.

10. Verfahren zum Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneiden mit den Schritten:

- Bereitstellen (301) von Wasser unter Hochdruck in einer Hochdruckleitung (5) mittels einer Hochdruckquelle (3),
- Bereitstellen (303) einer unter Hochdruck stehenden Abrasivmittelsuspension (13) in einem Druckbehälter (11), und
- Schneiden (305) eines Materials mittels eines Hochdruckstrahls (9), der zumindest teilweise die Abrasivmittelsuspension enthält, unter Entnahme der Abrasivmittelsuspension (13) aus dem Druckbehälter (11),
- **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren auch den Schritt aufweist:
Regeln eines Zuflusses in den Druckbehälter (11) aus der Hochdruckleitung (5) mittels einer eingangsseitig mit dem Druckbehälter (11) fluidverbundenen und regelbaren Drossel (17) in Abhängigkeit von mindestens einer Regelgröße.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei das Regeln in Abhängigkeit von einem Sensorsignal und/oder einem Betriebsparameter der Hochdruckquelle (3) erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei das Regeln in Abhängigkeit von einem Abrasivmittelstrom aus dem Druckbehälter (11) erfolgt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei das Regeln in Abhängigkeit von einer zeitlichen Veränderung eines ersten Füllstands (F_1) von Abrasivmittel im Druckbehälter (11) erfolgt, wobei der erste Füllstand (F_1) von einem ersten Füllstandssensor (72) signalisiert wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei das Regeln in Abhängigkeit von einer Zeitdifferenz zwischen einem ersten Füllstand (F_1) von Abrasivmittel im Druckbehälter (11) und einem zweiten Füllstand (F_2) von Abrasivmittel im Druckbehälter (11) erfolgt, wobei der erste Füllstand (F_1) von einem ersten Füllstandssensor (72) und der zweite Füllstand (F_2) von einem zweiten Füllstandssensor (74) signalisiert wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, wobei das Regeln in Abhängigkeit von einem Abrasivmittelfluss erfolgt, wobei der Abrasivmittelfluss von einem ausgangsseitig vom Druckbehälter (11) angeordneten Abrasivmittelflusssensor (79) signalisiert wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, wobei das Regeln in Abhängigkeit von einer Drehzahl und/oder einer Leistungs- bzw. Stromaufnahme der Hochdruckquelle (3) erfolgt.

Claims

1. A water-abrasive suspension cutting facility (1), with

- a high-pressure source (3) for providing (301) water at a high pressure,
- a high-pressure conduit (5) which is connected to the high-pressure source (3), and

- a pressure tank (11) for providing (303) an abrasive agent suspension (13) which is at a high pressure, **characterised in that**

the pressure tank (11) is fluid-connected to the high-pressure conduit (5) via a regulatable throttle (17), wherein the throttle (17) is arranged at the entry side of the pressure tank (11) and is configured to regulate the feed flow into the pressure tank (11) from the high-pressure conduit (5) in dependence on at least one control variable.

2. A water-abrasive suspension cutting facility (1) according to claim 1, wherein a shut-off valve (15) is arranged upstream or downstream of the throttle (17).

3. A water-abrasive suspension cutting facility (1) according to claim 2, wherein the shut-off valve (15) is designed to shut off the pressure tank (11) from the high-pressure conduit (5) in dependence on at least one sensor signal.

4. A water-abrasive suspension cutting facility (1) according to one of the preceding claims, wherein the at least one control variable comprises a sensor signal and/or an operating parameter of the high-pressure source (3).

5. A water-abrasive suspension cutting facility (1) according to one of the preceding claims, wherein the at least one control variable comprises an abrasive agent flow out of the pressure tank (11) or a parameter which is characteristic of an abrasive agent flow out of the pressure tank (11).

6. A water-abrasive suspension cutting facility (1) according to one of the preceding claims, with a first filling level sensor (72) for signalising at least one first filling level (F1) of abrasive agent in the pressure tank (11), wherein the at least one control variable comprises a temporal change of the first filling level (F1).

7. A water-abrasive suspension cutting facility (1) according to one of the preceding claims, with a first filling level sensor (72) for the signalisation of at least a first filling level (F1) of abrasive agent in the pressure tank (11) and with a second filling level sensor (74) for the signalisation of at least a second filling level (F2) of abrasive agent in the pressure tank (11), wherein the at least one control variable can comprise a time difference between the first filling level (F1) and the second filling level (F2).

8. A water-abrasive suspension cutting facility (1) according to one of the preceding claims, with an abrasive agent flow sensor (79) which is arranged at the exit side of the pressure tank (11), wherein the at least one control variable comprises an abrasive agent flow which is signalised by the abrasive agent flow sensor (79).

9. A water-abrasive suspension cutting facility (1) according to one of the preceding claims, wherein the at least one control variable comprises a speed and/or a power consumption or electricity consumption of the high-pressure source (3).

10. A method for the water-abrasive suspension cutting with the steps:

- providing (301) water at a high pressure in a high-pressure conduit (5) by way of a high-pressure source (3),
- providing (303) an abrasive agent suspension (13) which is at a high pressure in a pressure tank (11), and
- cutting (305) a material by way of a high-pressure jet (9) which at least partly comprises the abrasive agent suspension, amid the removal of the abrasive agent suspension (13) out of the pressure tank (11),

characterised in that the method also comprises the step of:

- regulating a feed flow into the pressure tank (11) out of the high-pressure conduit (5) by way a regulatable throttle (17) which is fluid-connected to the pressure tank (11) at the entry side, in dependence on at least one control variable.

11. A method according to claim 10, wherein the regulating is effected in dependence on a sensor signal and/or an operating parameter of the high-pressure source (3).

12. A method according to claim 11 or 12, wherein the regulating is effected in dependence on an abrasive agent flow out of the pressure tank (11).

13. A method according to one of the claims 10 to 12, wherein the regulating is effected in dependence on a temporal change of a first filling level (F1) of abrasive agent in the pressure tank (11), wherein the first filling level (F1) is signalised by a first filling level sensor (72).

14. A method according to one of the claims 10 to 13, wherein the regulating is effected in dependence on a time difference between a first filling level (F1) of abrasive agent in the pressure tank (11) and a second filling level (F2) of abrasive agent in the pressure tank (11), wherein the first filling level (F1) is signalised by a first filling level sensor (72) and the second

filling level (F2) by a second filling level sensor (74).

15. A method according to one of the claims 10 to 14, wherein the regulating is effected in dependence on an abrasive agent flow, wherein the abrasive agent flow is signalised by an abrasive agent flow sensor (79) which is arranged at the exit side of the pressure tank (11).

16. A method according to one of the claims 10 to 15, wherein the regulating is effected in dependence on a speed or power consumption or electricity consumption of the high-pressure source (3).

Revendications

1. Installation de découpe par jet d'eau chargée d'abrasif en suspension (1) qui comprend

- une source haute pression (3) pour fournir (301) de l'eau sous haute pression,
- une conduite haute pression (5) reliée à la source haute pression (3), et
- un réservoir sous pression (11) pour fournir (303) une suspension d'agent abrasif (13) sous haute pression, **caractérisée en ce que**

le réservoir sous pression (11) est en communication fluidique avec la conduite haute pression (5) par l'intermédiaire d'un étranglement (17) réglable, l'étranglement (17) étant agencé côté entrée du réservoir sous pression (11) et étant conçu pour réguler l'écoulement dans le réservoir sous pression (11) depuis la conduite haute pression (5) en fonction d'au moins une grandeur de régulation.

2. Installation de découpe par jet d'eau chargée d'abrasif en suspension (1) selon la revendication 1, une vanne d'arrêt (15) étant agencée en aval ou en amont de l'étranglement (17).

3. Installation de découpe par jet d'eau chargée d'abrasif en suspension (1) selon la revendication 2, la vanne d'arrêt (15) étant conçue pour fermer le réservoir sous pression (11) par rapport à la conduite haute pression (5) en fonction d'au moins un signal de capteur.

4. Installation de découpe par jet d'eau chargée d'abrasif en suspension (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, ladite au moins une grandeur de régulation comprenant un signal de capteur et/ou un paramètre de fonctionnement de la source haute pression (3).

5. Installation de découpe par jet d'eau chargée d'abrasif en suspension (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, ladite au moins une grandeur de régulation comprenant un écoulement d'agent abrasif depuis le réservoir sous pression (11) ou un paramètre caractéristique d'un écoulement d'agent abrasif depuis le réservoir sous pression (11).

6. Installation de découpe par jet d'eau chargée d'abrasif en suspension (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant un premier capteur de niveau de remplissage (72) pour signaler au moins un premier niveau de remplissage (F_1) d'agent abrasif dans le réservoir sous pression (11), ladite au moins une grandeur de régulation présentant une variation dans le temps du premier niveau de remplissage (F_1).

7. Installation de découpe par jet d'eau chargée d'abrasif en suspension (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant un premier capteur de niveau de remplissage (72) pour signaler au moins un premier niveau de remplissage (F_1) d'agent abrasif dans le réservoir sous pression (11) et un second capteur de niveau de remplissage (74) pour signaler au moins un deuxième niveau de remplissage (F_2) d'agent abrasif dans le réservoir sous pression (11), ladite au moins une grandeur de régulation présentant une différence de temps entre le premier niveau de remplissage (F_1) et le deuxième niveau de remplissage (F2).

8. Installation de découpe par jet d'eau chargée d'abrasif en suspension (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant un capteur d'écoulement d'agent abrasif (79) agencé côté sortie du réservoir sous pression (11), ladite au moins une grandeur de régulation présentant un écoulement d'agent abrasif signalé par le capteur d'écoulement d'agent abrasif (79).

9. Installation de découpe par jet d'eau chargée d'abrasif en suspension (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, ladite au moins une grandeur de régulation présentant une vitesse de rotation et/ou une consommation de puissance ou de courant de la source haute pression (3).

10. Procédé de découpe par jet d'eau chargée d'abrasif en suspension, comprenant les étapes consistant à :

- fournir (301) de l'eau sous haute pression dans une conduite haute pression (5) au moyen d'une source haute pression (3),
- fournir (303) une suspension d'agent abrasif (13) sous haute pression dans un réservoir sous pression (11), et
- découper (305) un matériau au moyen d'un jet haute pression (9) qui contient au moins partiel-

lement la suspension d'agent abrasif, avec extraction de la suspension d'agent abrasif (13) à partir du réservoir sous pression (11),
- **caractérisé en ce que** le procédé présente en outre l'étape consistant à :
réguler un écoulement entrant dans le réservoir sous pression (11) depuis la conduite haute pression (5) au moyen d'un étranglement (17) qui est en communication fluidique côté entrée avec le réservoir sous pression (11) et qui peut être régulé en fonction d'au moins une grandeur de régulation.

11. Procédé selon la revendication 10, la régulation survenant en fonction d'un signal de capteur et/ou d'un paramètre de fonctionnement de la source haute pression (3).

12. Procédé selon la revendication 11 ou 12, la régulation survenant en fonction d'un écoulement d'agent abrasif à partir du réservoir sous pression (11).

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, la régulation survenant en fonction d'une variation dans le temps d'un premier niveau de remplissage (F_1) d'agent abrasif dans le réservoir sous pression (11), le premier niveau de remplissage (F_1) étant signalé par un premier capteur de niveau de remplissage (72).

14. Procédé selon l'une des revendications 10 à 13, la régulation étant effectuée en fonction d'une différence de temps entre un premier niveau de remplissage (F_1) d'agent abrasif dans le réservoir sous pression (11) et un deuxième niveau de remplissage (F_2) d'agent abrasif dans le réservoir sous pression (11), le premier niveau de remplissage (F_1) étant signalé par un premier capteur de niveau de remplissage (72) et le deuxième niveau de remplissage (F_2) étant signalé par un second capteur de niveau de remplissage (74).

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, la régulation étant effectuée en fonction d'un écoulement d'agent abrasif, l'écoulement d'agent abrasif étant signalé par un capteur d'écoulement d'agent abrasif (79) agencé côté sortie du réservoir sous pression (11)

16. Procédé selon l'une des revendications 10 à 15, la régulation survenantt en fonction d'une vitesse de rotation et/ou d'une consommation de puissance ou de courant de la source haute pression (3).

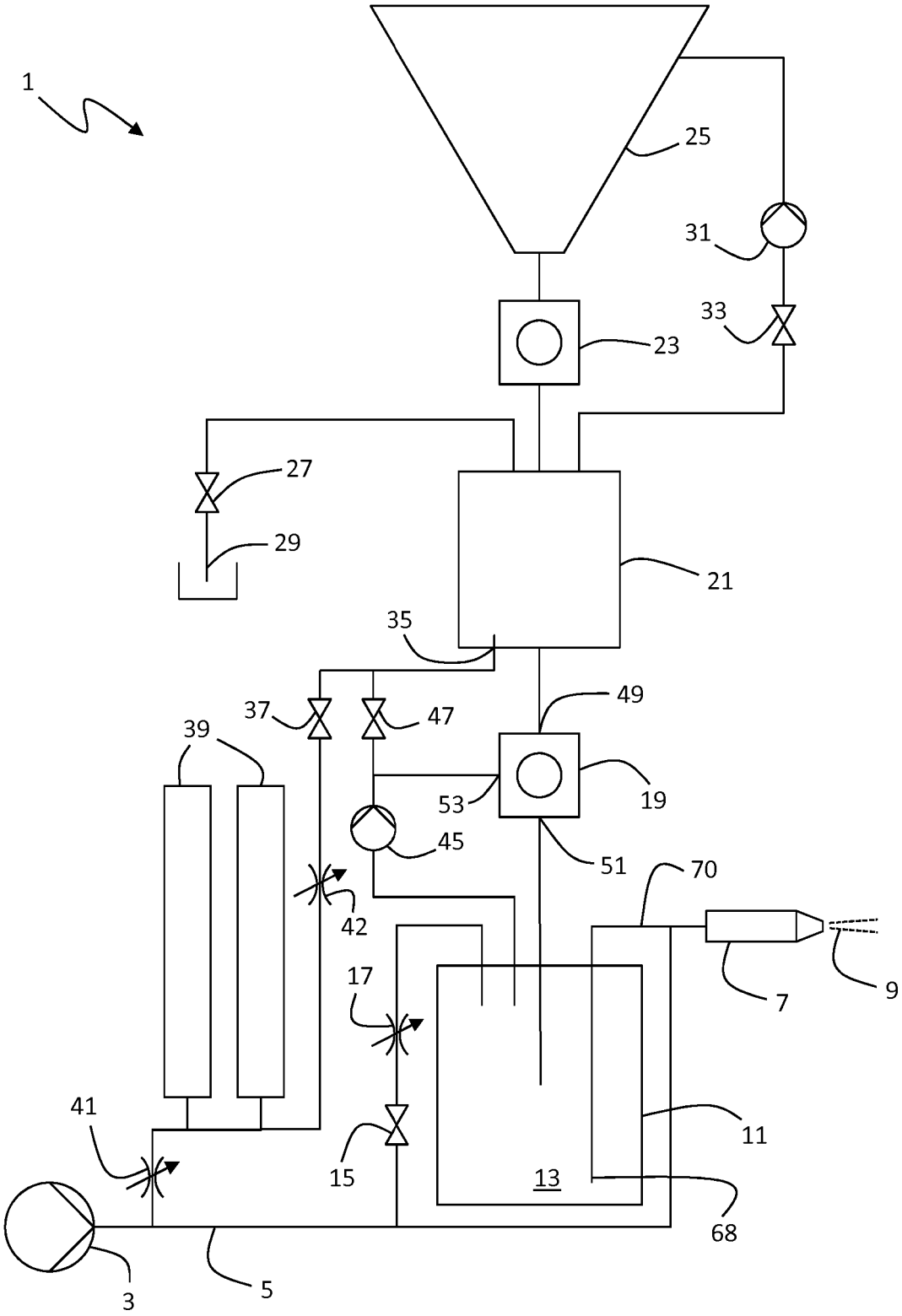

1
25
31
33
23
27
29
21
35
37
47
49
39
53
19
45
51
70
42
17
7
9
41
11
15
13
68
3
5

Fig. 1

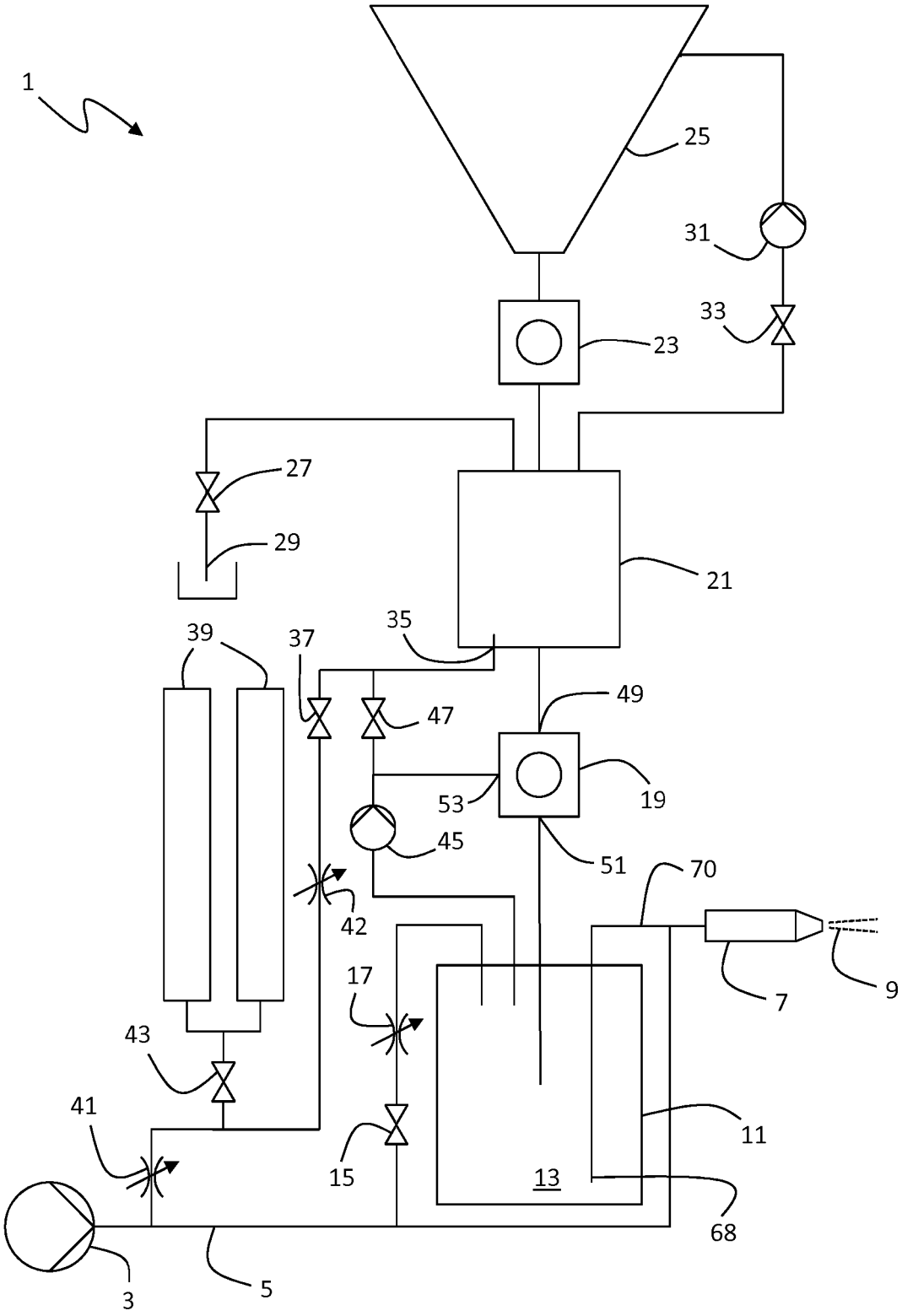

1
25
31
33
23
27
29
21
35
39
37
47
49
53
19
45
51
70
42
17
7
9
43
41
11
15
13
68
3
5

Fig. 2

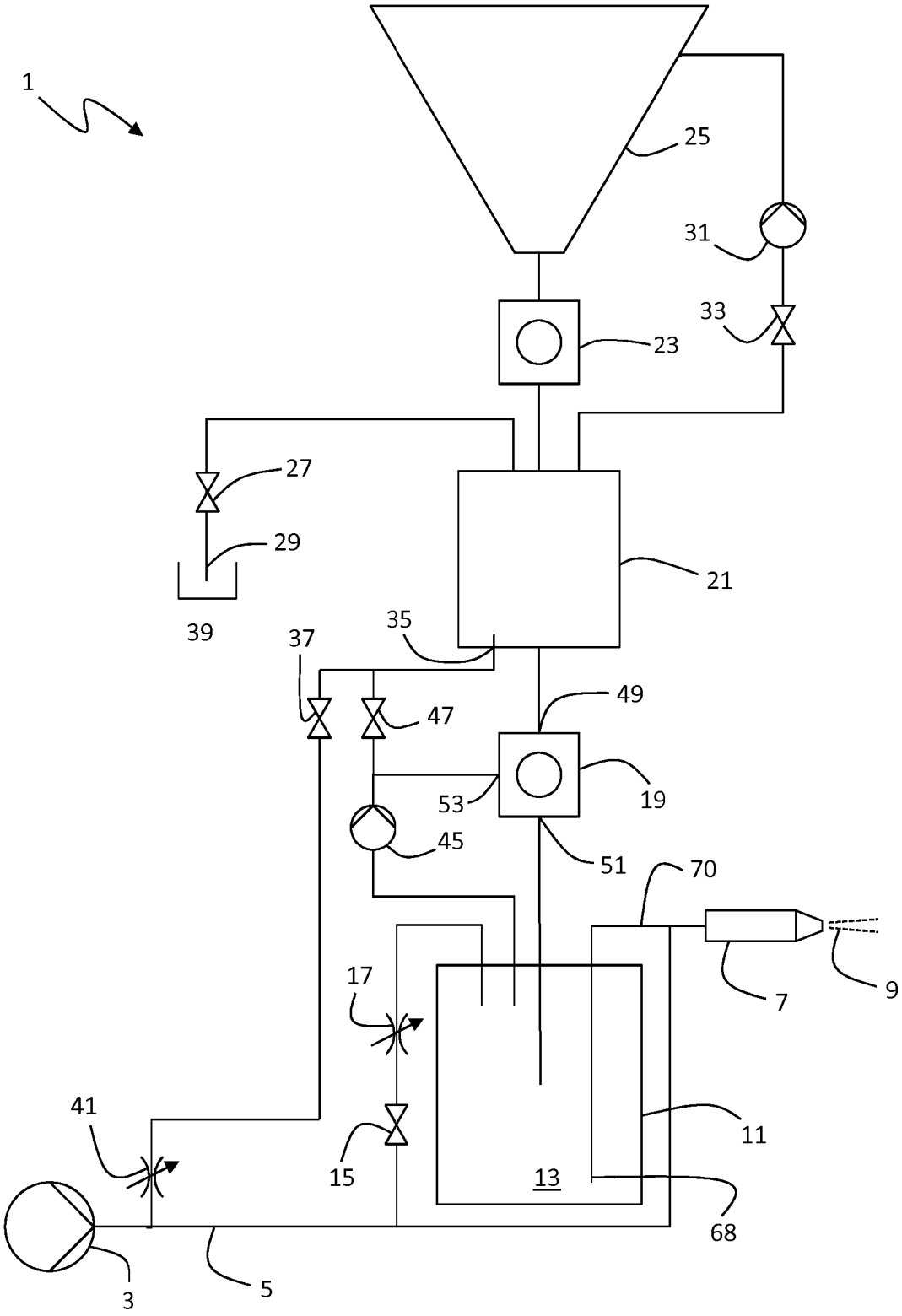

1
25
31
33
23
27
29
39
21
35
37
47
49
19
53
45
51
70
7
9
17
41
15
11
13
68
3
5

Fig. 3

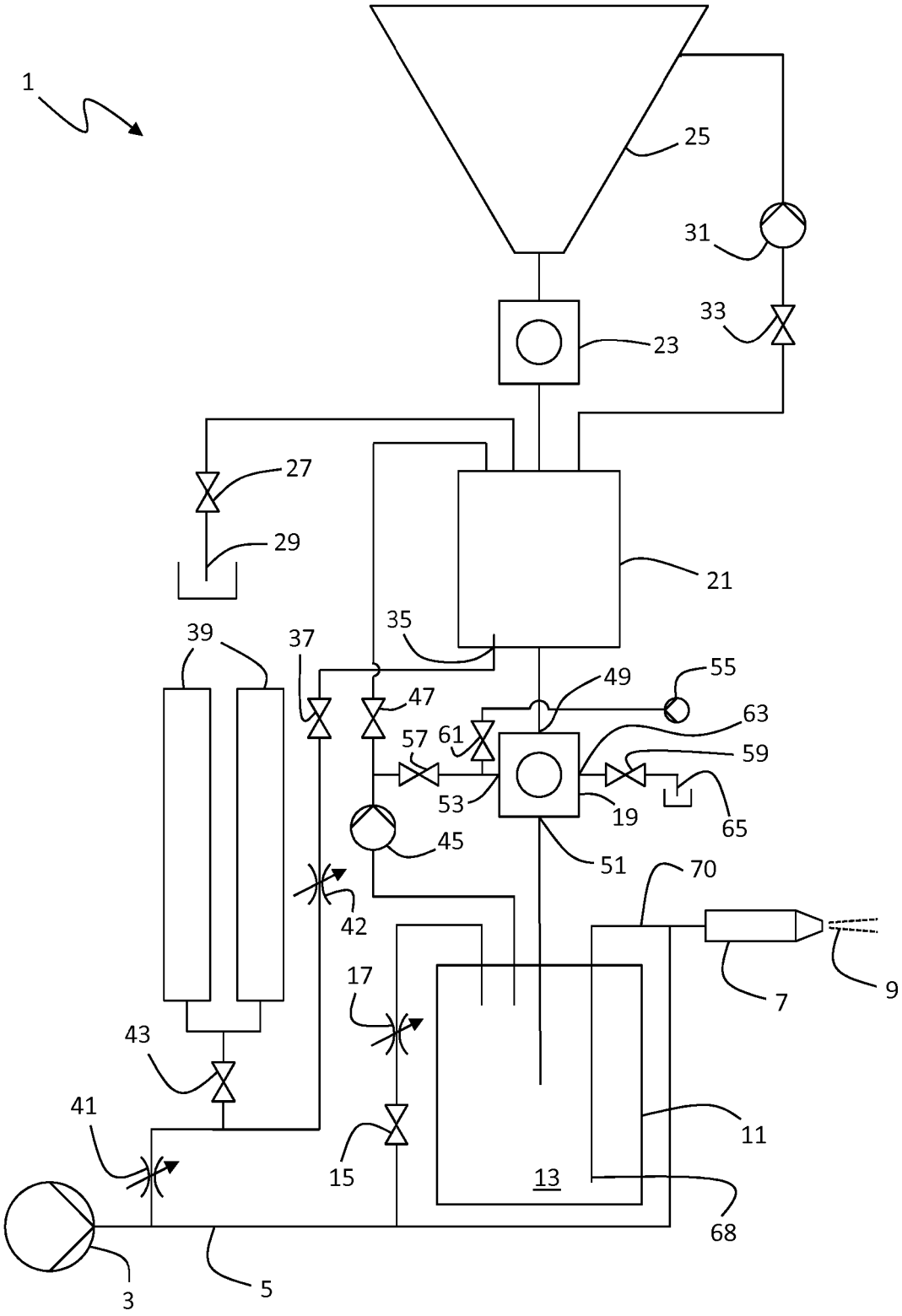

1
25
31
33
23
27
29
21
35
39
37
47
49
55
63
57
61
59
53
19
65
45
51
70
42
7
9
17
43
41
11
15
13
68
3
5

Fig. 4

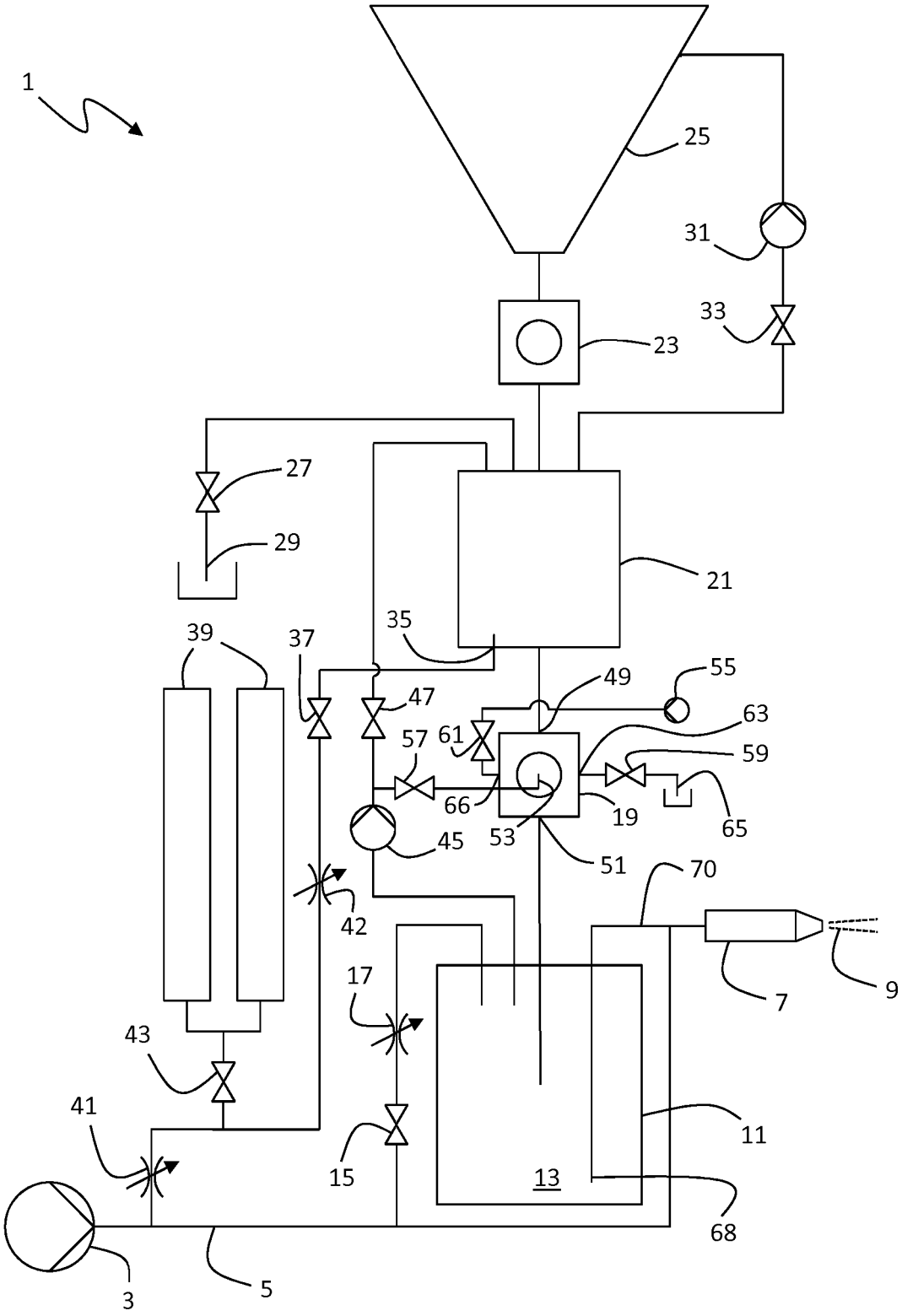

1
25
31
33
23
27
29
21
35
39
37
47
49
55
63
57
61
59
66
19
65
45
53
51
70
42
7
9
17
43
41
11
15
13
68
3
5

Fig. 5

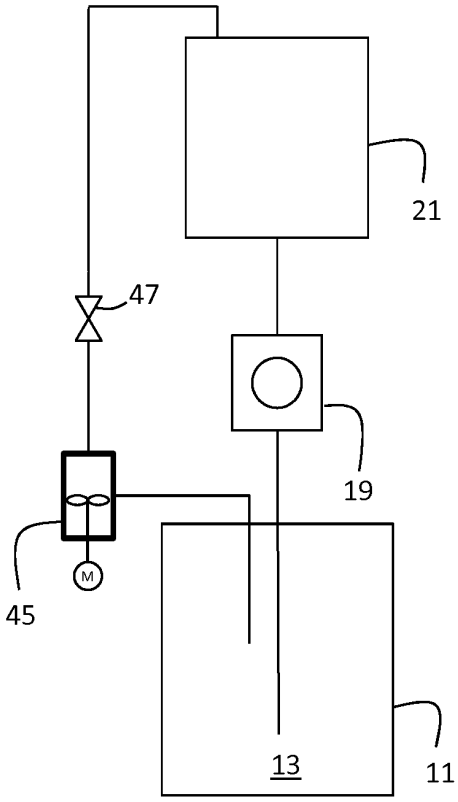


Fig. 6a

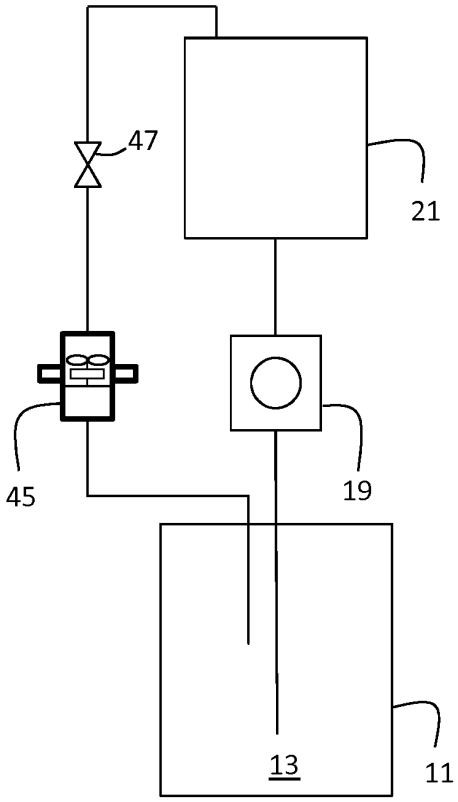


Fig. 6b

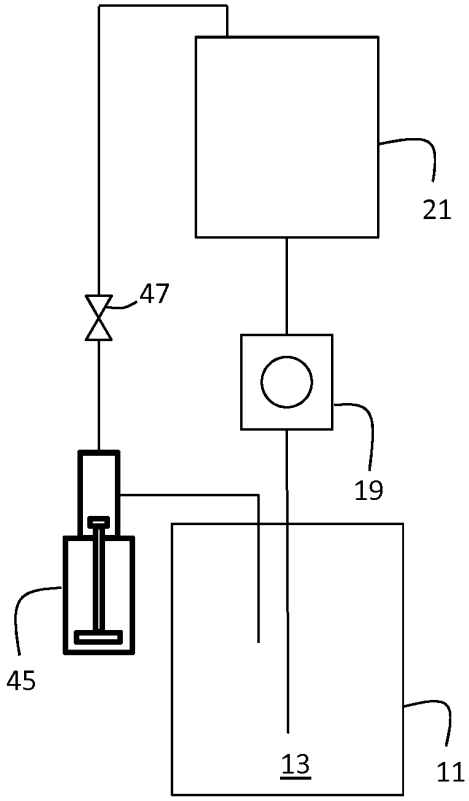


Fig. 6c

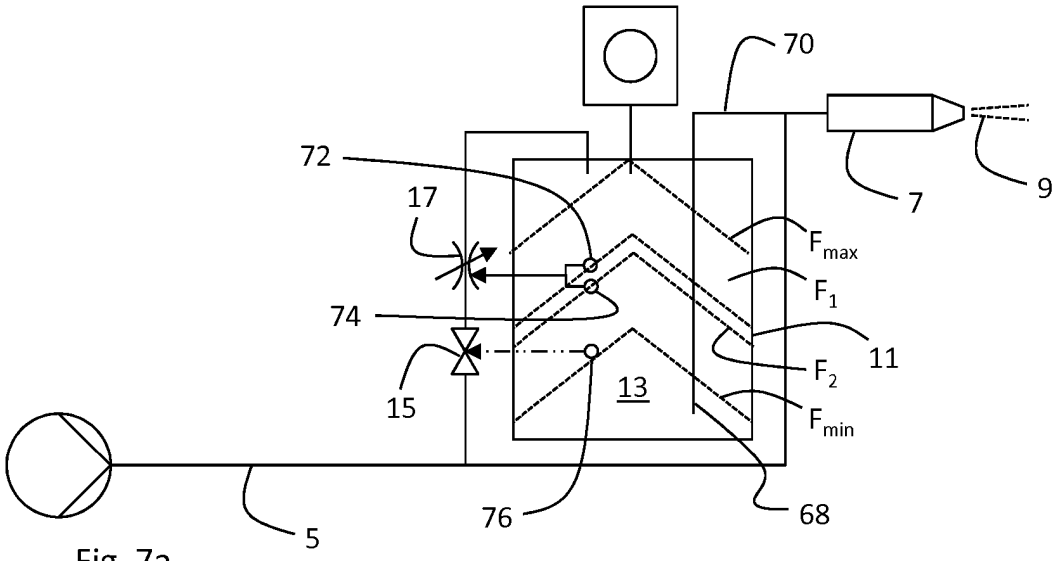


Fig. 7a

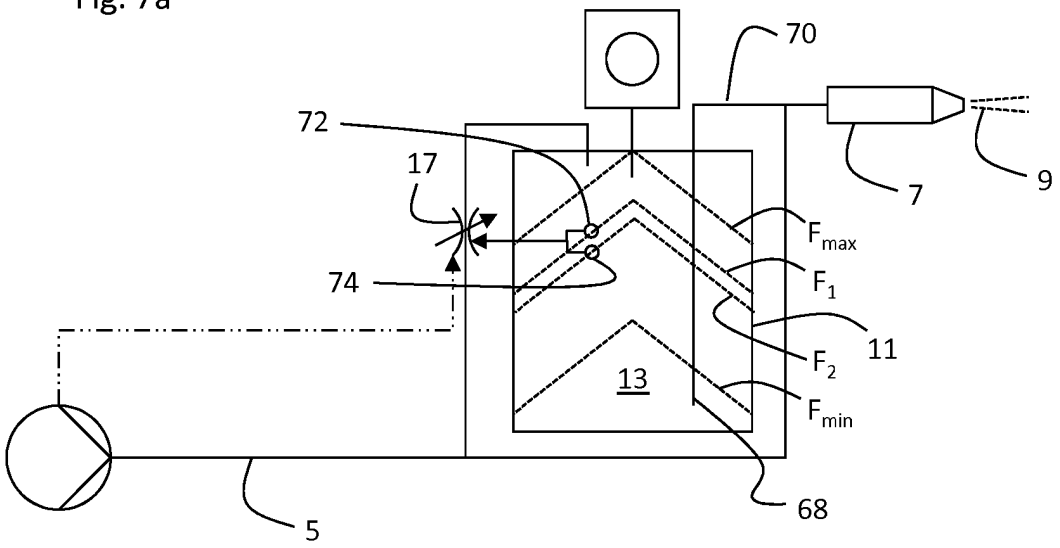


Fig. 7b

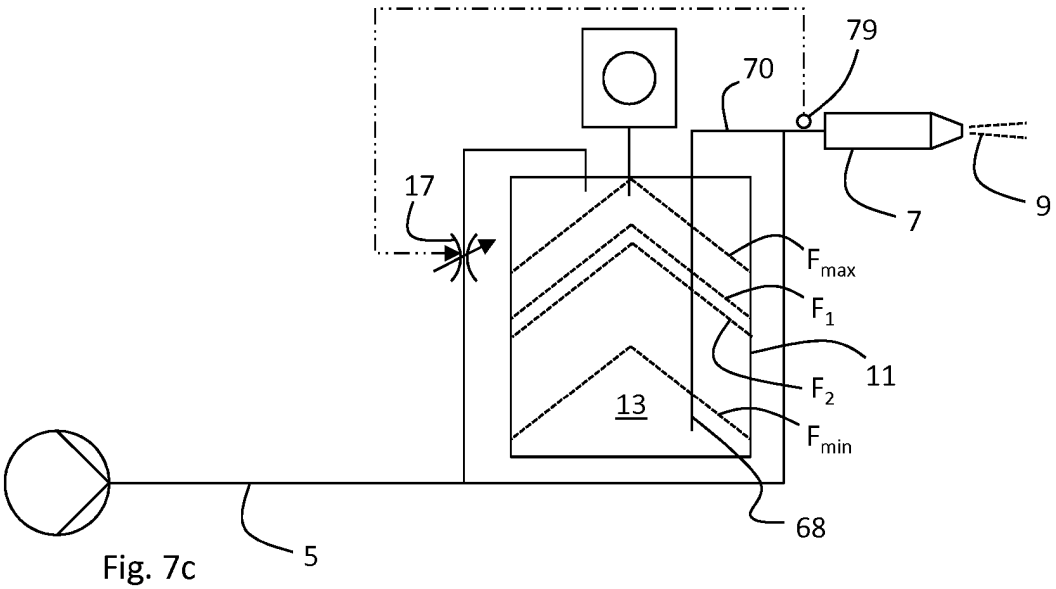


Fig. 7c

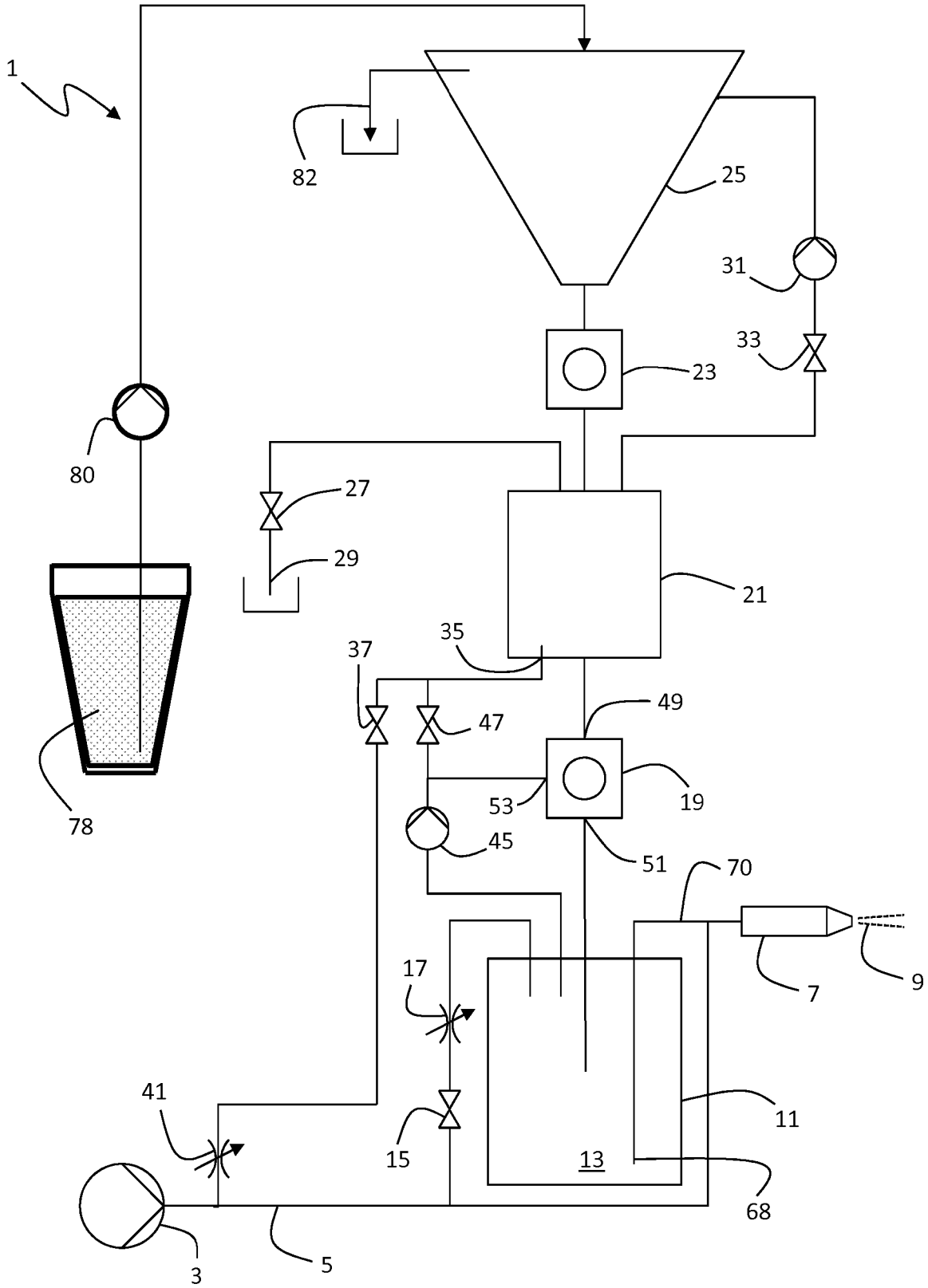

1
82
25
31
33
23
80
27
29
21
35
37
47
49
53
19
45
51
70
78
7
9
17
41
11
15
13
68
3
5

Fig. 8

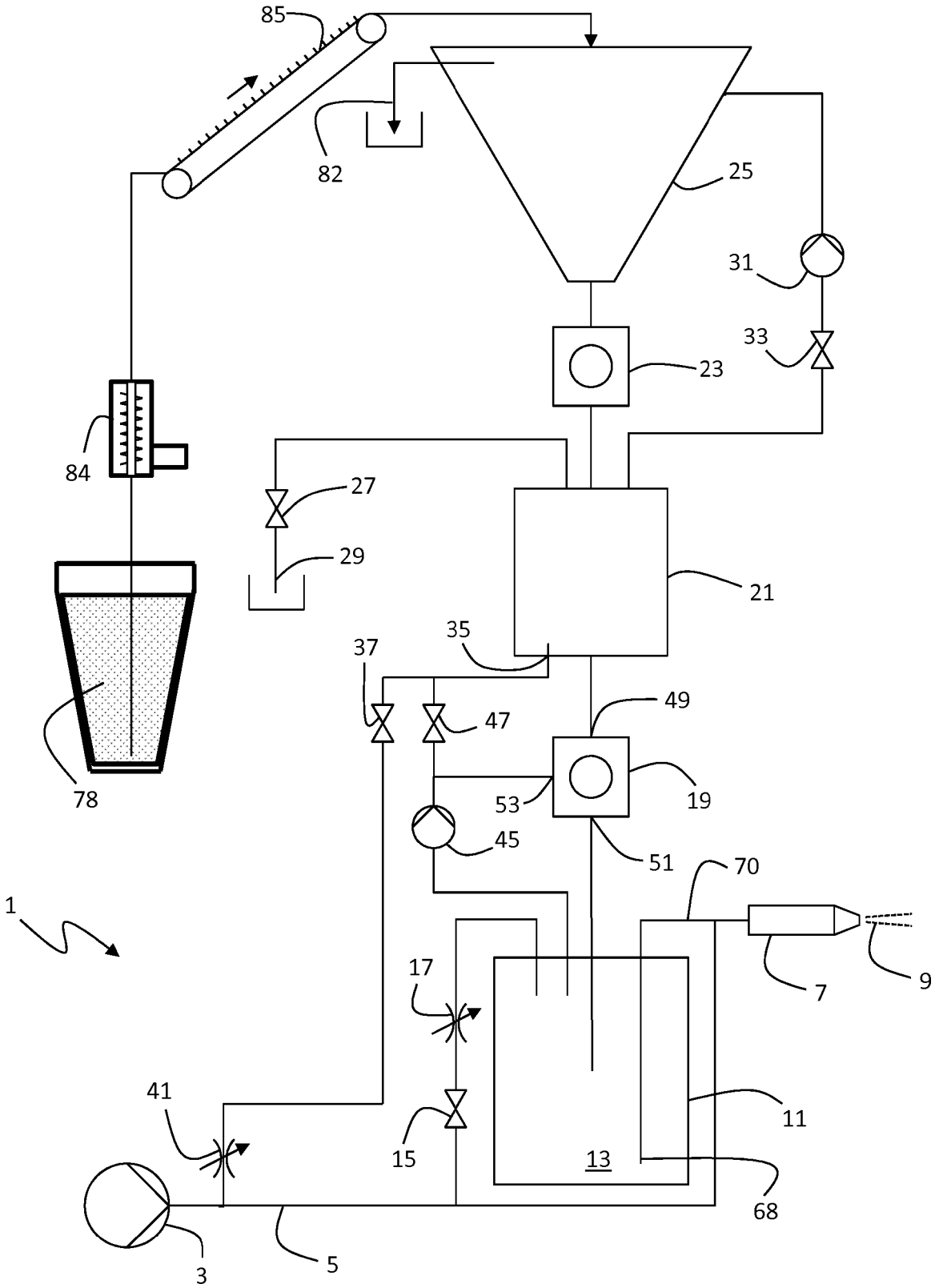

85
82
25
31
33
23
84
27
29
21
35
37
47
49
78
53
19
45
51
70
1
17
7
9
41
11
15
13
68
3
5

Fig. 9

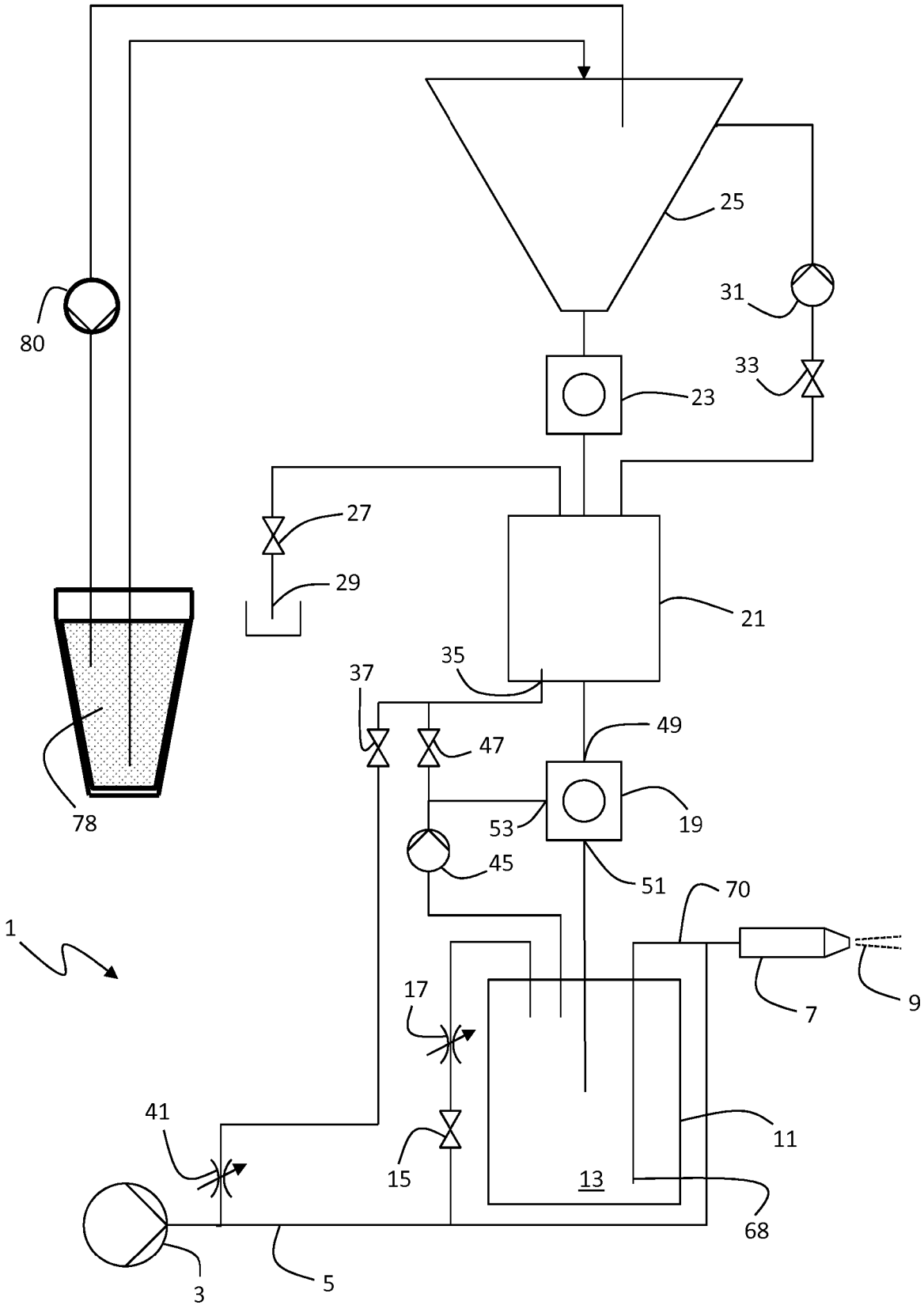

25
31
80
33
23
27
29
21
35
37
47
49
78
53
19
45
51
70
1
17
7
9
41
11
15
13
68
3
5

Fig. 10

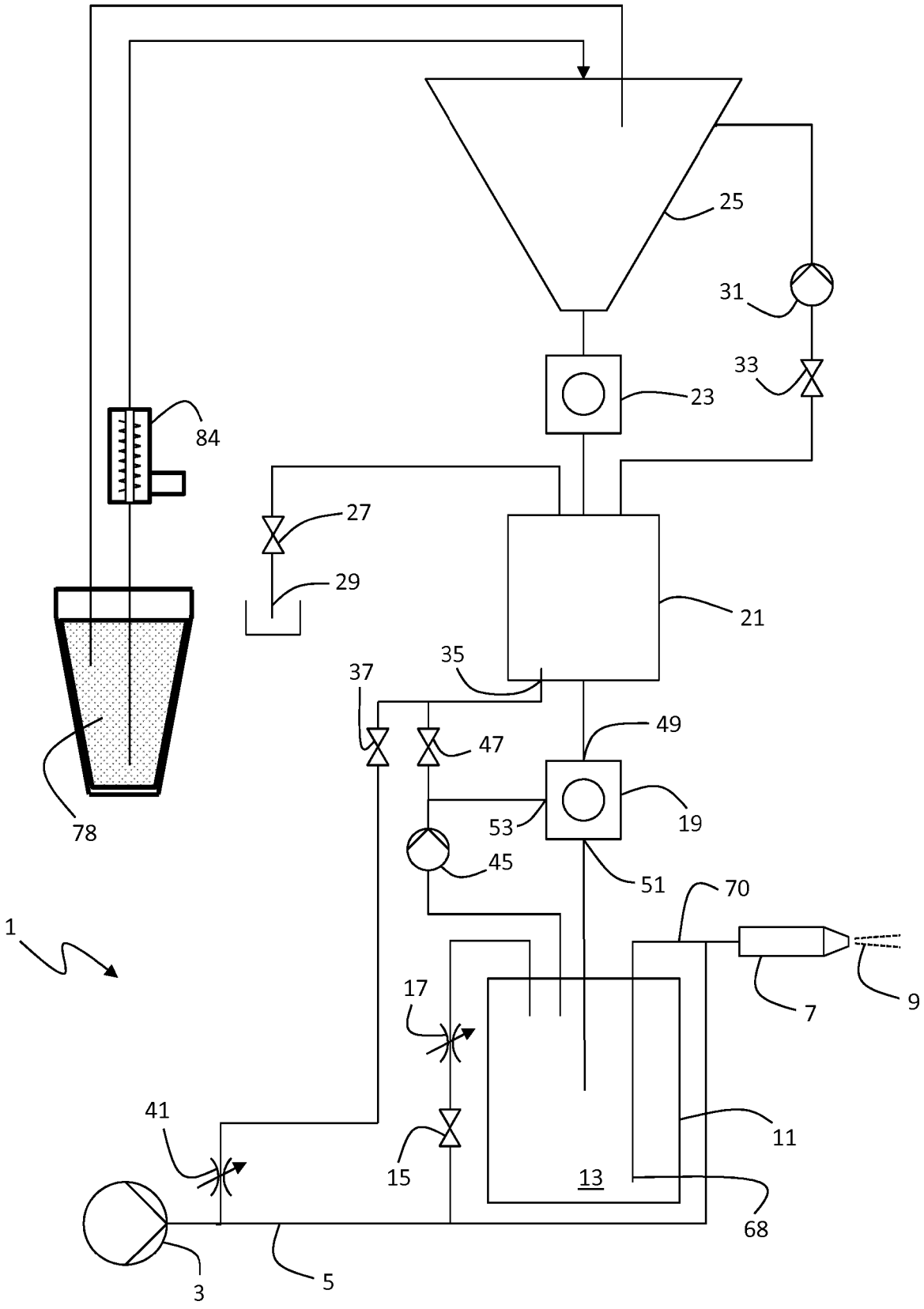

25
31
33
23
84
27
29
21
35
37
47
49
78
53
19
45
51
70
1
17
7
9
41
11
15
13
68
3
5

Fig. 11

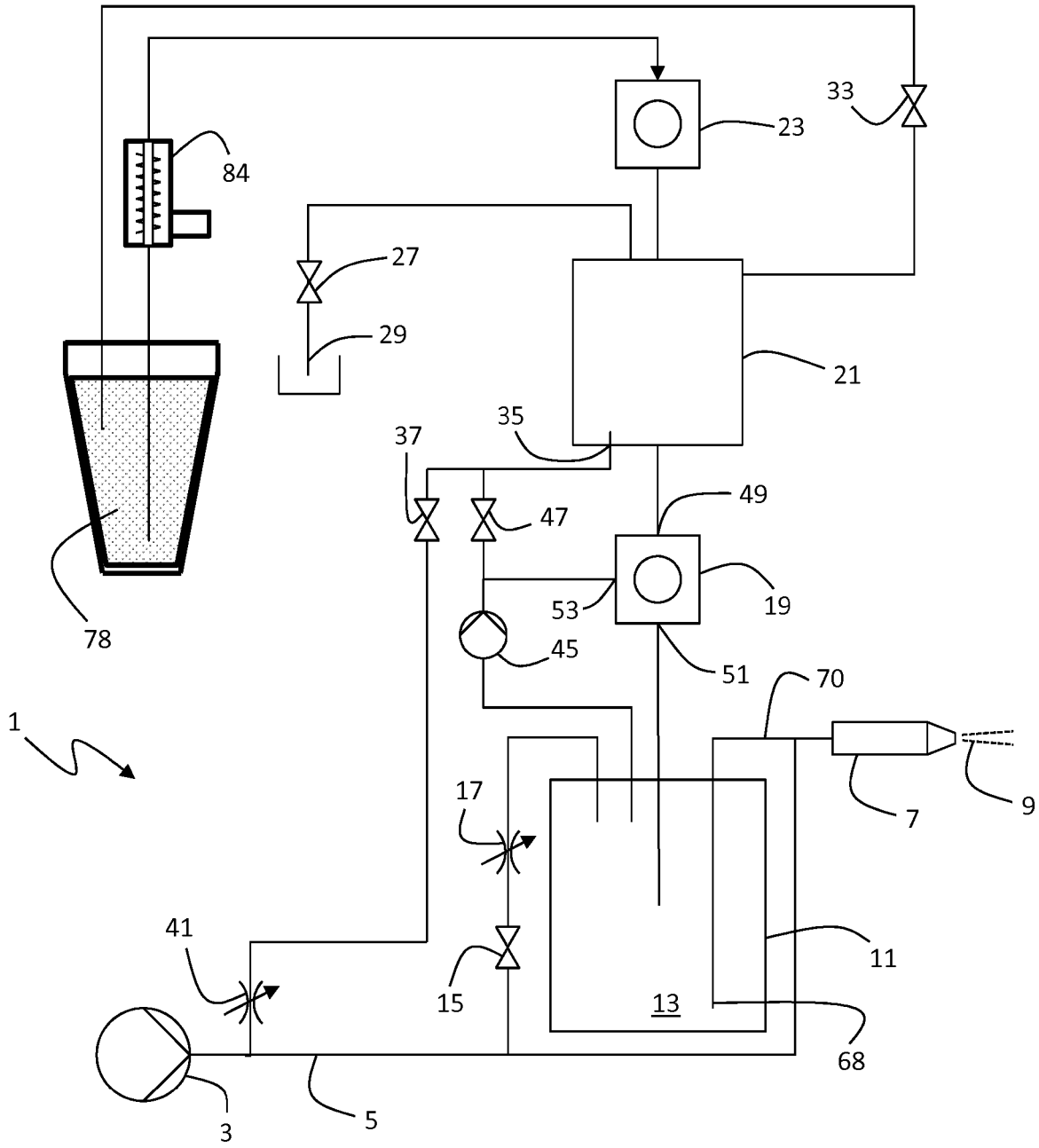


Fig. 12

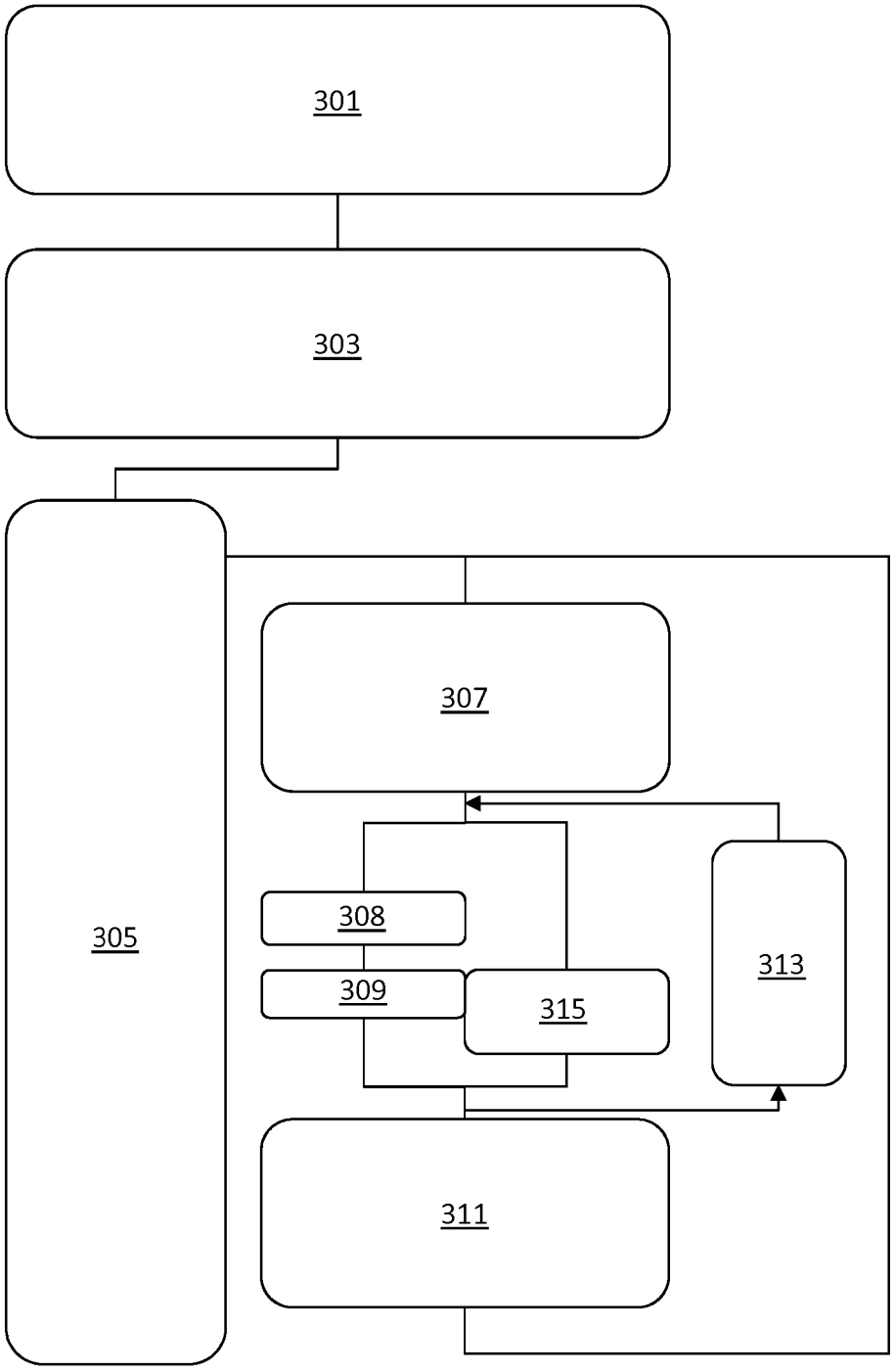


Fig. 13

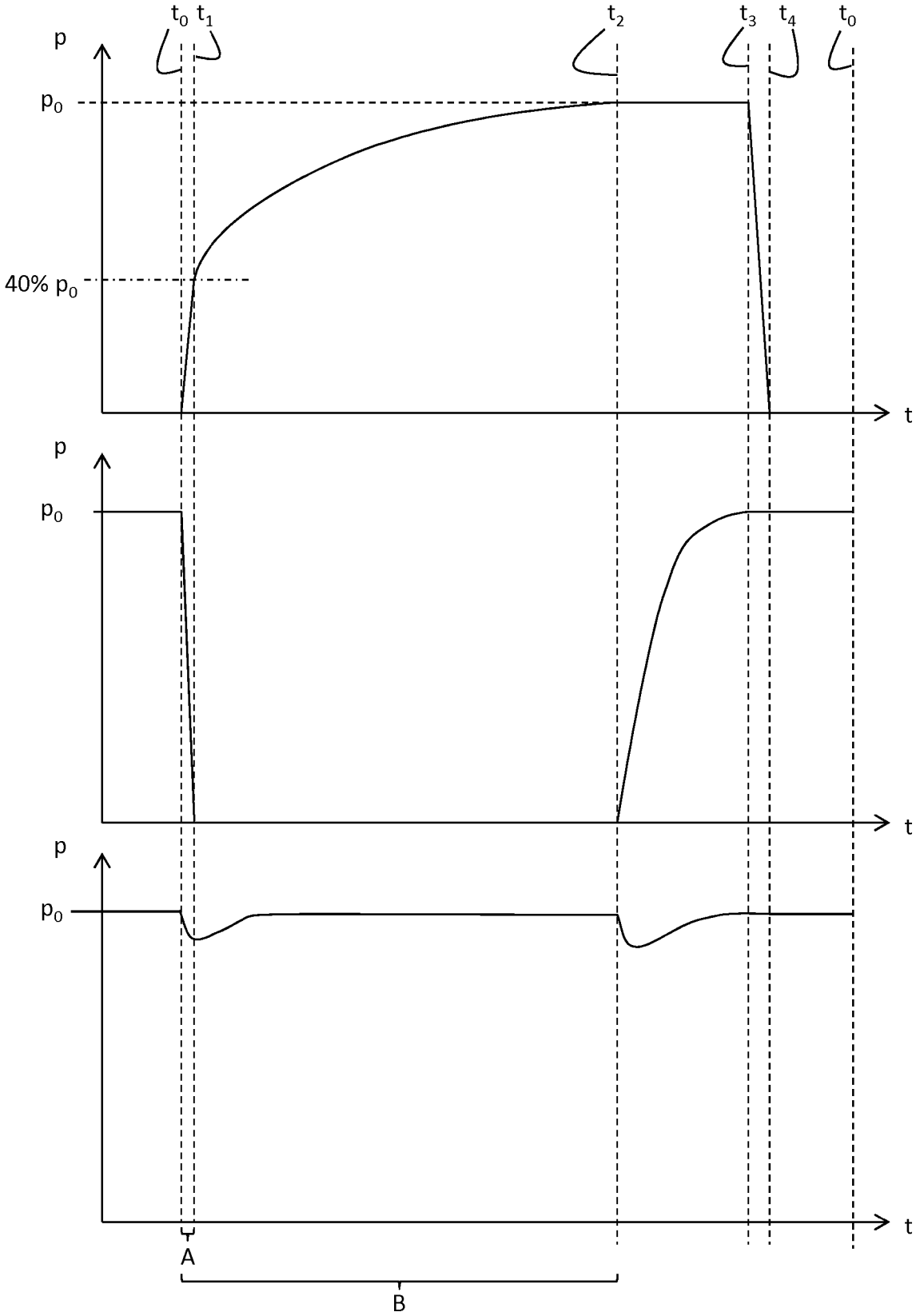


Fig. 14

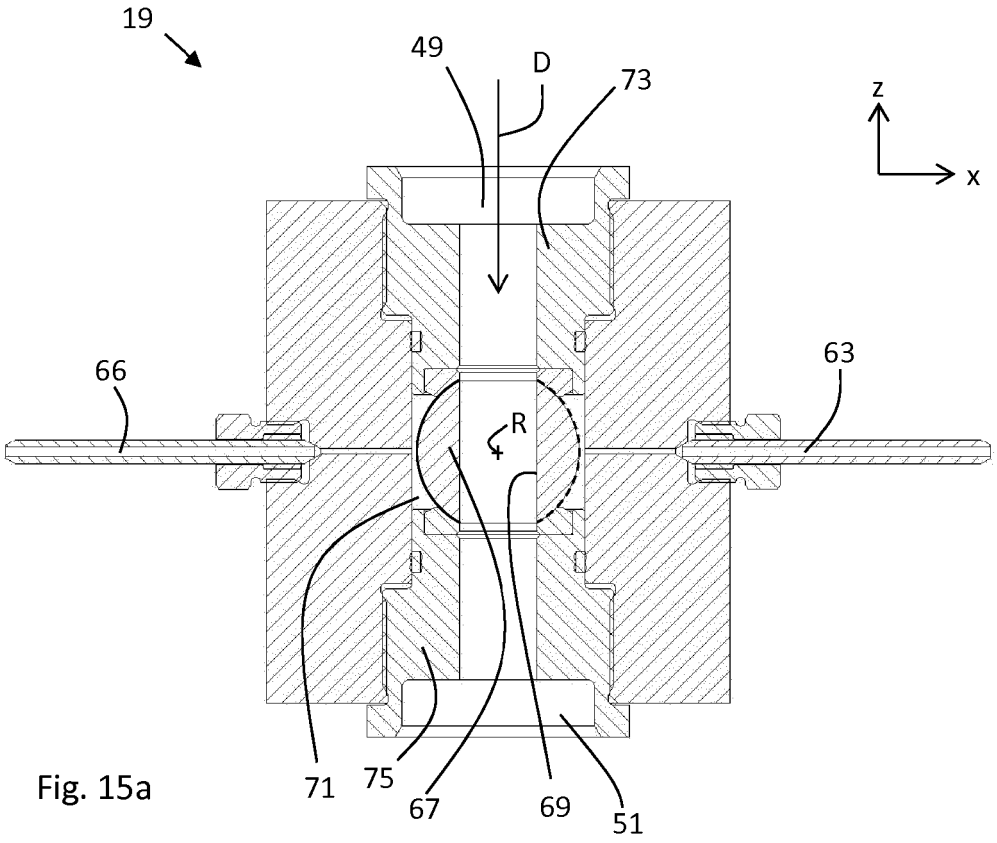


Fig. 15a

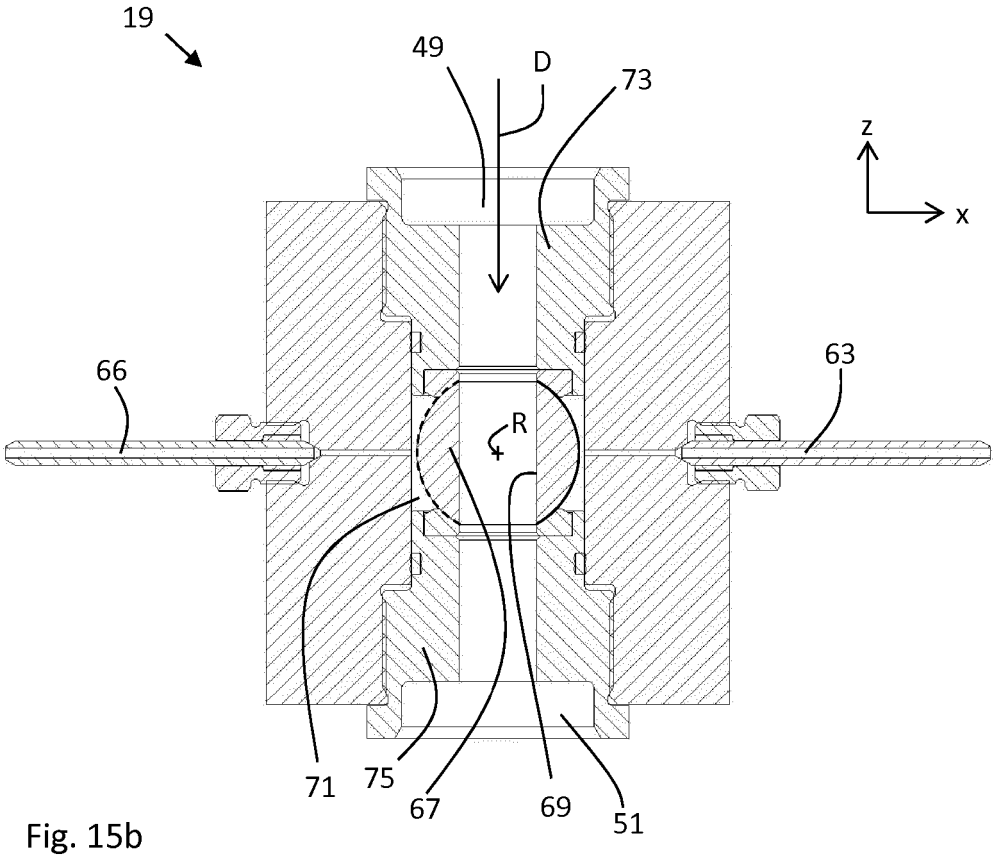


Fig. 15b

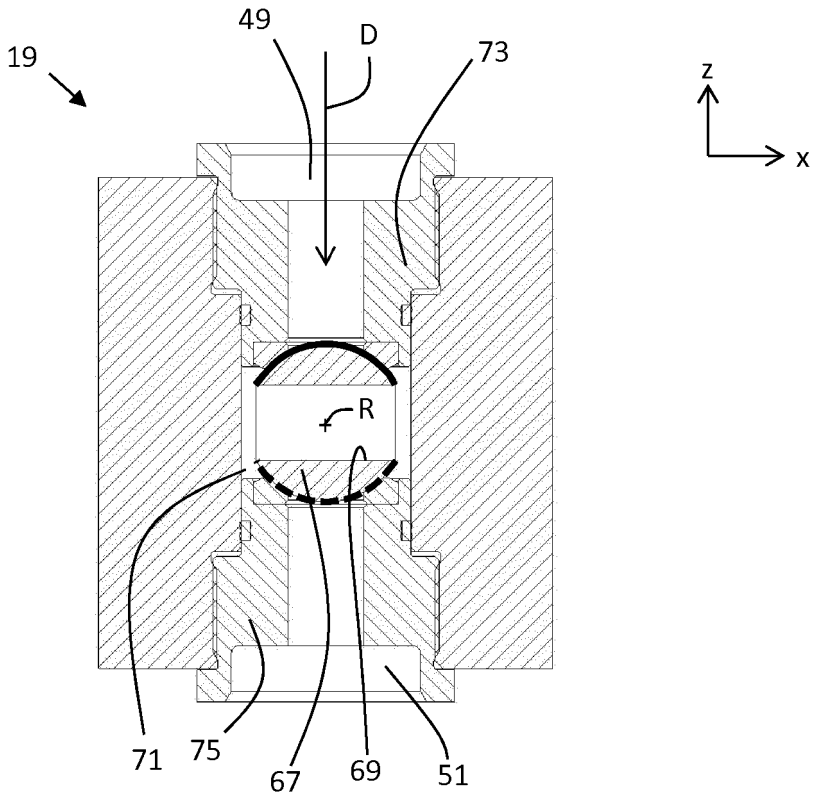


Fig. 16a

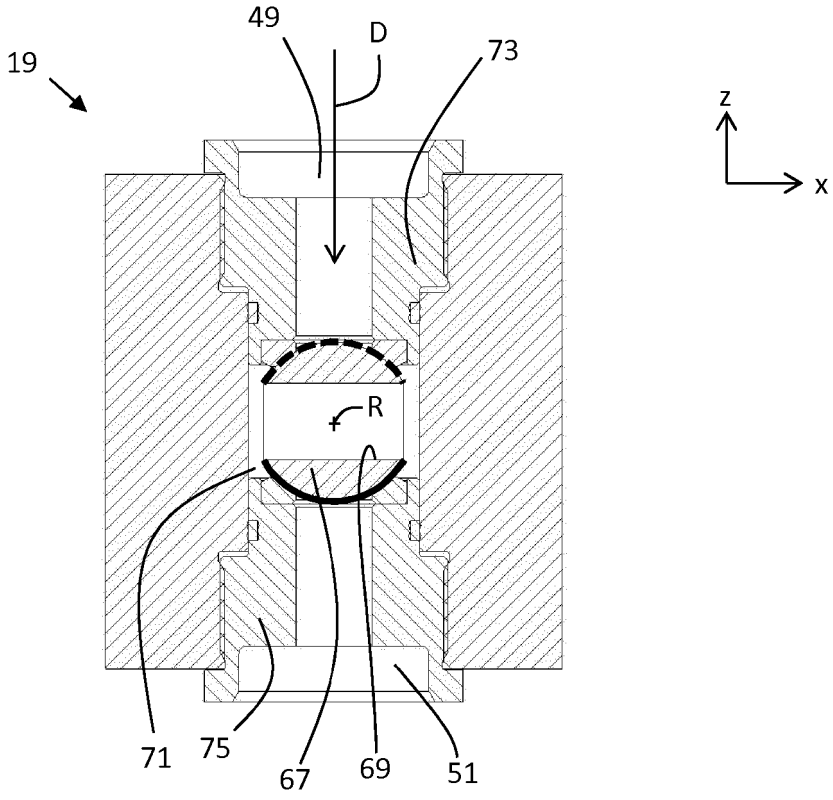


Fig. 16b

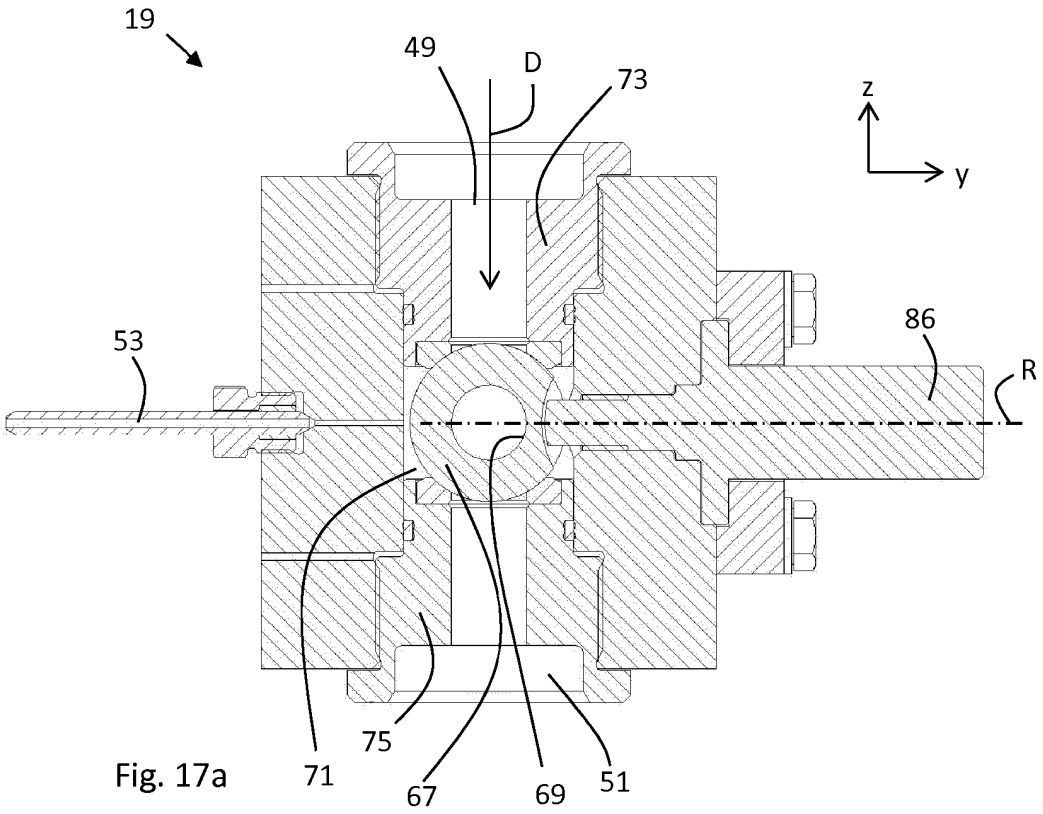


Fig. 17a

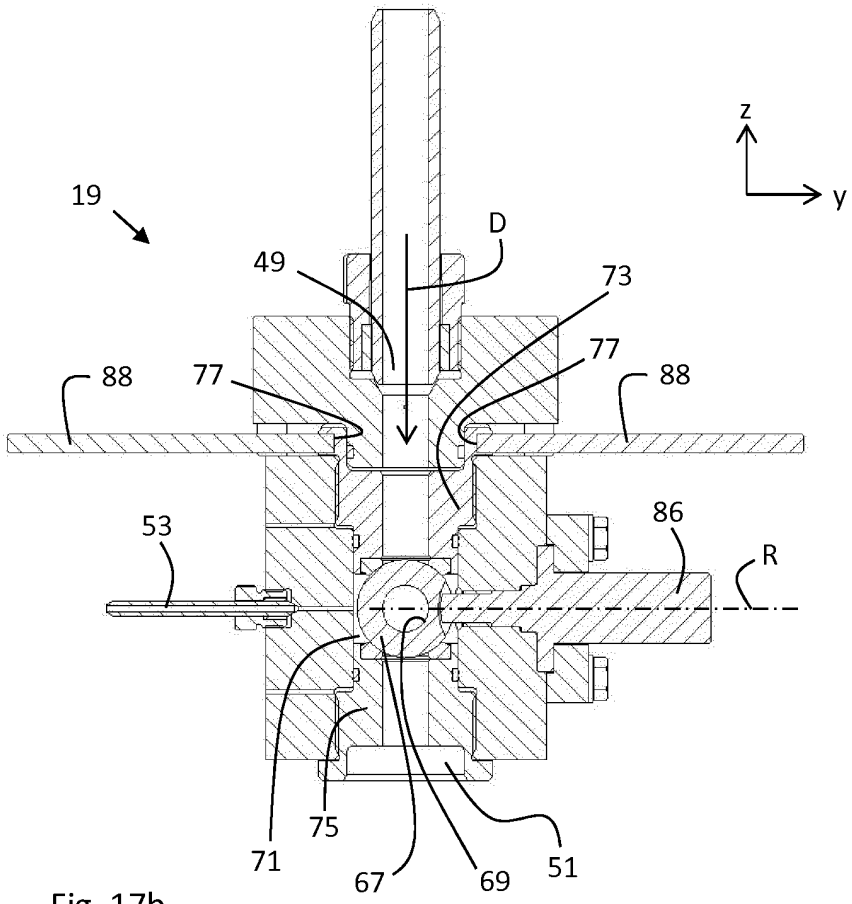


Fig. 17b

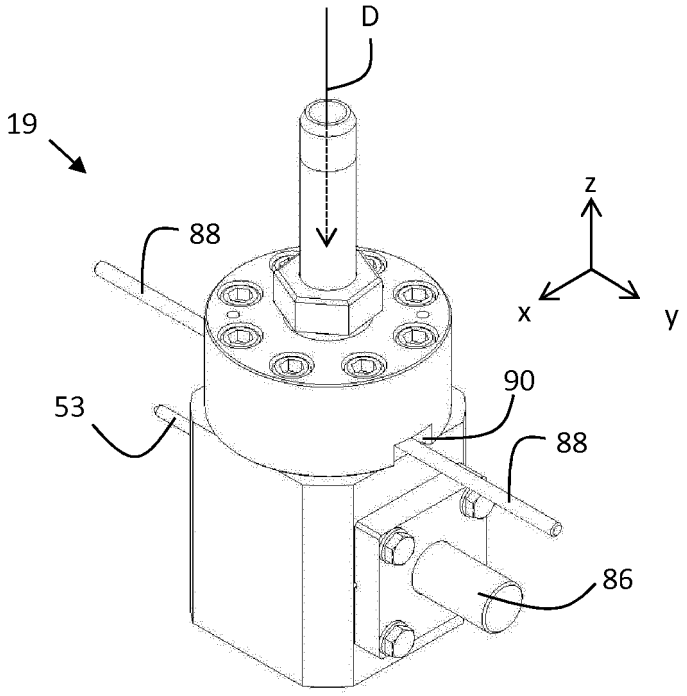


Fig. 18a

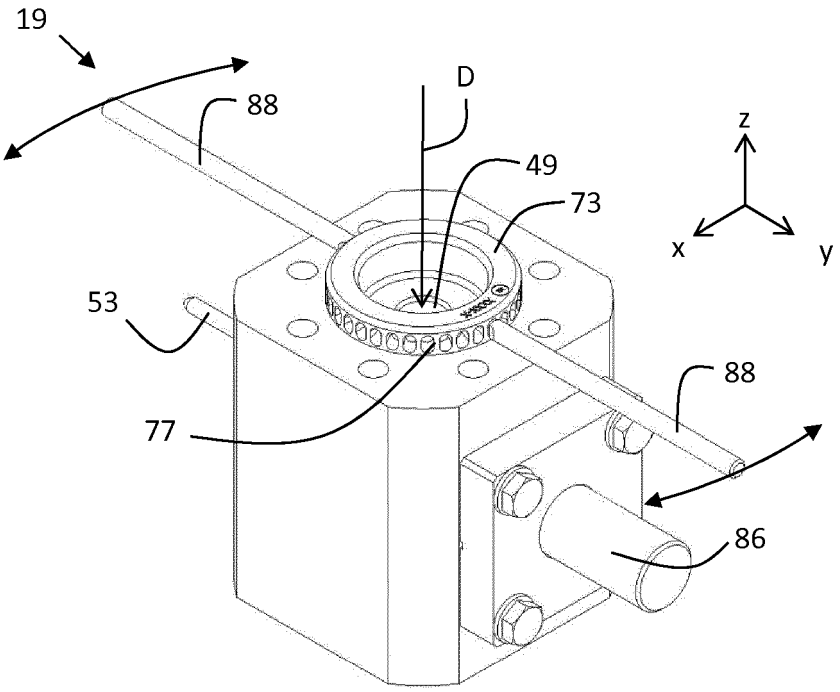


Fig. 18b

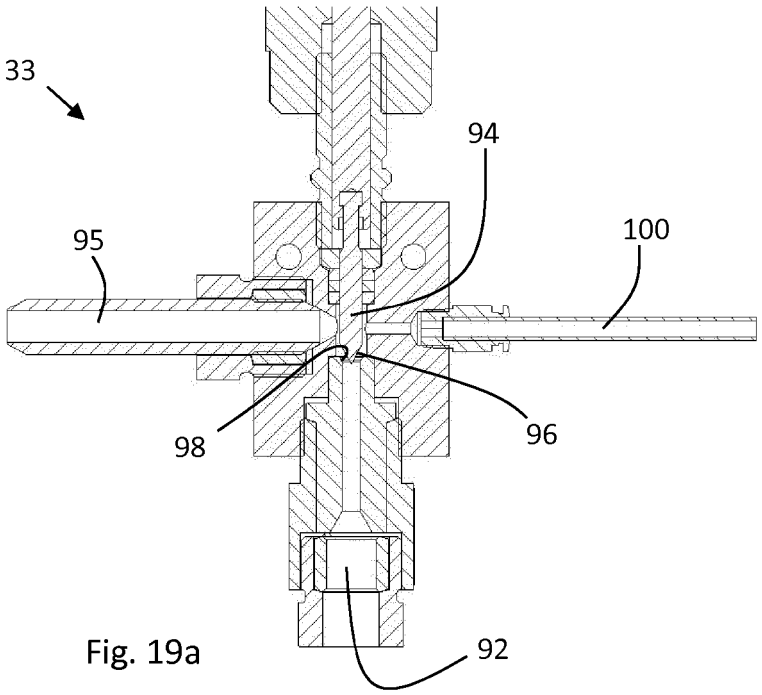


Fig. 19a

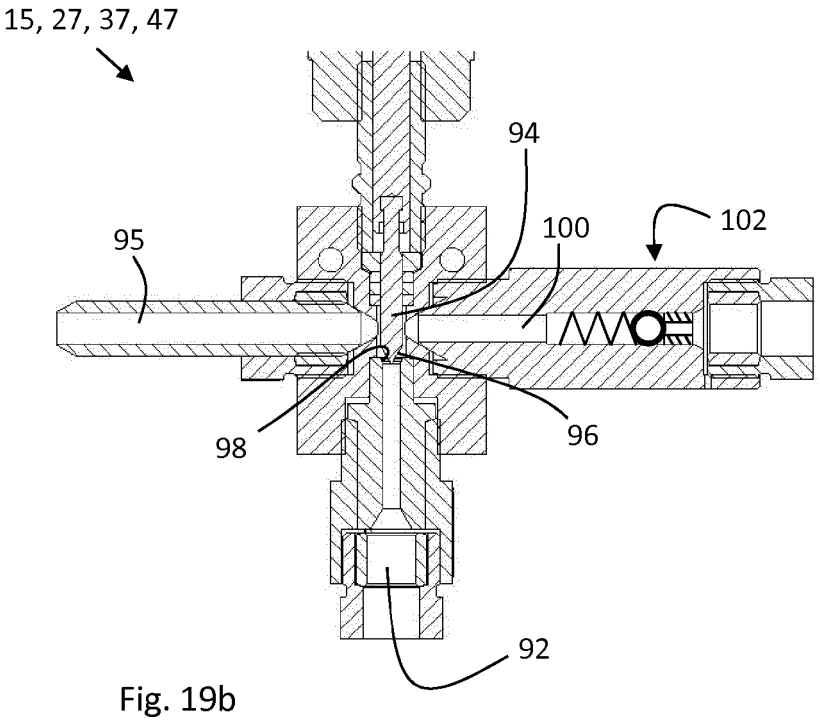


Fig. 19b

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1208944 A **[0001]**
- EP 1199136 A **[0002]**
- EP 2755802 B1 **[0003]**
- WO 2015149867 A1 **[0003]**