



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

203789
(11) (B1)

(22) Přihlášeno 16. 05. 79
(21) (PV. 3362-79.)

(51) Int. Cl.³
F 25 B 29/00

(40) Zveřejněno 30. 06. 80

(45) Vydáno 15. 06. 83

(75)

Autor vynálezu

KLÁZAR LUDĚK ing., LITOMYŠL, BRUDNÍK JAROSLAV ing. CSc.
a HYKL EDUARD ing., OSTRAVA

(54) Zapojení pro chlazení a vysoušení kompresorem stlačené vzdušiny při současném využívání jím produkovaného tepla

1

Vynález se týká zapojení pro chlazení a vysoušení kompresorem stlačené vzdušiny při současném využívání jím produkovaného tepla.

V celé řadě průmyslových odvětví se používá stlačený vzduch jako forma hnací energie pro pohon různých pneumatických strojů, nástrojů a zařízení. K jedním z největších uživatelů stlačeného vzduchu patří hlubinné doly, kde však používání stlačeného vzduchu má své specifické problémy. Atmosférický vzduch nasávaný kompresorem obsahuje vždy určité množství vodní páry způsobující vlhkost vzduchu. Při stlačování vzduchu kompresorem roste schopnost vzduchu pohlcovat vodní páru vlivem stoupající teploty mnohem rychleji než klesá objem, takže i tehdy, když na počátku stlačování je vzduch vlhkostí nasycen, je ke konci komprese jeho relativní vlhkost malá. Nastane-li po kompresi ochlazování, což se děje například běžně v potrubních rozvodech, stoupá relativní vlhkost stlačeného vzduchu. Při dalším ochlazování pod teplotu rosného bodu dochází ke kondenzaci vodních par a tím k vylučování vlhkosti. Samovolná kondenzace vodních par v potrubních rozvodech je jev nežádoucí, neboť může způsobit poruchy pneumatických spotřebičů tím, že tvoří s mazacím olejem emulzi, čímž je porušena

2

jeho mazací schopnost. Voda v potrubí může dále způsobit vodní rázy se všemi nepříznivými důsledky. Dalším negativním jevem je nadměrná koroze jako potrubí, tak spotřebičů, se kterými přijde kondenzovaná voda do styku. Tato okolnost je příčinou závažných poruch celého systému. Proto je nutné vysráženou vlhkost v potrubí odlučovat v mechanických odlučovačích, které se rozmísťují v rozvodech stlačeného vzduchu. Ochlazení vzduchu za odlučovačem však vede k dalšímu vylučování vlhkosti.

Potřízím, které kondenzace vlhkosti přináší, se dá předcházet vysoušením stlačeného vzduchu. Vysoušení stlačeného vzduchu se zajišťuje buď absorpcí vlhkosti v pevných hygroskopických látkách, nebo zchlazováním vzduchu pod teplotu rosného bodu s vysrážením a odloučením vlhkosti.

Při vysoušení stlačeného vzduchu absorpcí, se absorpční látka postupně sytí vlhkostí, čímž klesá její schopnost vázat další vlhkost. Absorpční látku je proto třeba ve vysoušecím zařízení periodicky vyměňovat, nebo regenerovat. Tato skutečnost ovlivňuje vysoušení tak, že ho nelze řešit jako kontinuální, je nutné řešit ho jako diskontinuální, přičemž kontinuita se dá zajistit například zdvojením potřebného zařízení, takže jedno zařízení vysouší, zatímco druhé se regeneruje, případně jinak udržuje.

Kontinuální a účinné vysoušení stlačeného vzduchu se dá zajistit jeho chlazením na teploty blízké 0 °C. Nižší teploty nejsou žádoucí jednak proto, že vysoušení zchlazením na uvedenou teplotu je dostatečné jednak proto, že při poklesu povrchové teploty teplosměnné plochy ve výměníku, ve kterém se chlazení uskutečňuje, pod hodnotu 0 °C, by docházelo k vymrzání zkondenzované vlhkosti na teplosměnné ploše výměníku, což by si vynucovalo periodické odtávání námrazy na výměníku a tedy opět diskontinuální provoz zařízení.

Vedle uvedených skutečností je v důlních provozech třeba počítat s tím, že stlačený vzduch, dnes zpravidla chlazený jen na teploty kolem cca 60 °C nebo i vyšší, je v důlním prostředí nežádoucím zdrojem tepla. Tuto skutečnost je třeba mít v současné době stále více na zřeteli. Těžba v hlubinných dolech přechází totiž postupně do stále větších hloubek, ve kterých už je teplota hornin tak vysoká, a další vlivy, například autokompresí větracího vzduchu, tak silné, že teplota prostředí stoupá nad mez, kterou může lidský organismus bez obtíží, zejména při namáhavé práci, zvládnout. Při překročení této meze je proto třeba činit opatření, kterými se zajistí vhodné mikroklima a vhodné pracovní prostředí. Mezi tato opatření patří například zintenzívnění větrání, chlazení větracího vzduchu spojené s odvlhčováním, tj. klimatizace důlního prostředí, snižování sekundárních zdrojů tepla a podobně.

Nedostatkem stávajících zařízení a zapojení, kterými se zajišťuje vysoušení stlačeného vzduchu pro důlní spotřebiče a vytváření přijatelného prostředí pro důlní práce je jednak nedostatečné ochlazování stlačeného vzduchu přiváděného k důlním spotřebičům navíc bez využití ochlazování uvolněného odpadního tepla, z čehož pak vyplývá zbytečně velká energetická náročnost na zabezpečení bezporuchového provozu důlních zařízení na stlačený vzduch, ale i na zajištění nutné klimatizace pracovního prostředí v hlubinných dolech a potřebné větrání. Hlavním důvodem, proč se zatím se žádoucím efektem nevyužívá chlazení a vysoušení stlačeného vzduchu pro důlní potřebu kompresorovým chladicím zařízením a proč se současně účelně nevyužívá odpadní teplo, které je třeba při chlazení stlačeného vzduchu odvádět, je skutečnost, že dosud nejsou známy vhodné systémy a zapojení, které by byly schopny zajistit účinné chlazení stlačeného vzduchu jakožto primární pracovní látky do vhodného sekundárního systému. Tento sekundární systém musí být především schopen maximálně hospodárně využívat vzniklé odpadní teplo, ale musí být i schopen při vzniku eventuálního přebytku odpadního tepla toto teplo odvést a tak zajistit bezporuchový provoz všech důlních zařízení na stlačený vzduch při za-

bezpečení žádoucích klimatických podmínek v důlním provozu.

Uvedené nedostatky odstraňuje zapojení pro chlazení a vysoušení kompresorem stlačené vzdušiny při současném využívání jím produkovaného tepla podle vynálezu. Jeho podstata spočívá v tom, že ve výtlačném potrubí jednostupňového, případně vícestupňového kompresoru jsou v sérii zařazeny alespoň dva primární výměníky tepla. Ke každému primárnímu výměníku tepla je přiřazen uzavřený okruh teponosné látky, který obsahuje sekundární výměník tepla. Všechny sekundární výměníky tepla kromě posledního sekundárního výměníku tvoří přímý a samostatný zdroj využívaného tepla. Poslední sekundární výměník tepla je výparníkem chladicího zařízení ve funkci tepelného čerpadla, k jehož kondenzátoru je přiřazen další uzavřený okruh teponosné látky, obsahující další samostatný sekundární výměník tepla pro přímé využití odpadního tepla.

Při použití vícestupňového kompresoru je využit s výhodou jeden, případně několik mezichladičů tím, že k nejméně jednomu mezichladiči je přiřazen uzavřený mezichladičový okruh teponosné látky obsahující mezichladičový samostatný sekundární výměník tepla pro přímé využití odpadního tepla.

Pro účelnou regulaci je v uzavřeném mezichladičovém okruhu posledního stupně dvoustupňového kompresoru zapojen termostatický ventil, jehož čidlo je uloženo ve výtlačném potrubí kompresoru před prvním primárním výměníkem tepla, případně v jeho prvním uzavřeném okruhu teponosné látky.

Při použití vícestupňového kompresoru při využití tepla několika mezichladičů jsou v jednotlivých dalších mezichladičových okruzích zapojeny vždy po jednom termostatickém ventilu a jim odpovídající čidla jsou uložena vždy ve výtlačném potrubí následujícího stupně kompresoru před mezichladičem tohoto stupně, případně v jeho uzavřeném okruhu teponosné látky.

Část sekundárních výměníků tepla, případně všechny sekundární výměníky tepla pro přímé využití tepla jsou s výhodou vzájemně propojeny propojovacím vodním potrubím, které je zavedeno do jedné, případně několika akumulčních nádrží zapojených v sérii. Do spodní části první akumulční nádrže je zaveden přívod studené vody a z horní části poslední akumulční nádrže vyúsťuje vývod teplé vody.

Pro odvod případně zbývajících nevyužitelného tepla jsou k uzavřeným okruhům teponosné látky obsahujícím sekundární výměníky tepla, pro přímé využití odpadního tepla přiřazeny přídavné sekundární výměníky tepla, propojené propojovacím potrubím chladicí vody s chladicí věží. Přídavné sekundární výměníky tepla jsou zapojitelné běžnými ovládacími orgány k sa-

mostatným okruhům paralelně, případně v obtoku v sérii s příslušejícím sekundárním výměníkem pro přímé využití odpadního tepla.

Výhod zapojení pro chlazení a vysoušení kompresorem stlačené vzdušiny podle vynálezu je několik. Především znamená velké energetické úspory, neboť maximálně využívá teplo stlačeného vzduchu pro topné účely a ohřev užitkové nebo pitné vody, jejíž spotřeba na dolech je vysoká a jež je dosud zajišťována pomocí samostatných energetických zdrojů. Předností řešení dále je, že chlazení stlačeného vzduchu na teploty ležící pod teplotou důlního prostředí je nejen výhodné z hlediska vysoušení stlačeného vzduchu, ale i z hlediska příznivého ovlivnění mikroklimatu důlního prostředí. Chlazení stlačeného vzduchu pak přináší další výhodu spočívající v tom, že chlazením se sníží objem vzduchu, dopravovaný rozvodným potrubím.

Tím se sníží průtočná rychlost a tlakové ztráty v rozvodech. Porovná-li se tlakové ztráty v rozvodech při teplotě stlačeného vzduchu 60 °C a 10 °C, dochází ke snížení tlakových ztrát o cca 25 až 30 %. Tím lze získat větší tlak vzduchu na spotřebičích, nebo napoka je možno snížit výtlačný tlak zdroje. Obě možnosti jsou opět energeticky výhodné. V úvahu je možno vzít případné zmenšení dimenzí rozvodů stlačeného vzduchu.

Na připojených výkresech jsou znázorněny schematicky příklady zapojení podle vynálezu. Na obr. 1 je znázorněno zapojení při použití jednostupňového kompresoru a třech primárních výměníků tepla. Na obr. 2 je znázorněno zapojení při použití dvoustupňového kompresoru s mezichladičem. Na obr. 3 je řešení podle obr. 2 doplněno přiřazením přídavných sekundárních výměníků k uzavřeným okruhům teplonosné látky zapojitelných v případě potřeby k maření nevyužitelného tepla v chladicí věži.

Ve výtlačném potrubí 1 jednostupňového kompresoru 2 jsou zařazeny v sérii první primární výměník 3 tepla, druhý primární výměník 4 tepla a poslední primární výměník 5 tepla mezi stlačeným vzduchem z kompresoru 2 a teplonosnou látkou. Ke každému primárnímu výměníku 3, 4, 5 je přiřazen uzavřený okruh 6, 7, 8 teplonosné látky, v jehož propojovacím potrubí je zařazeno oběhové čerpadlo 9, 10, 11, sekundární výměník 12, 13, 14 tepla a vyrovnávací tlaková nádrž (nezakreslena). Poslední sekundární výměník 14 je výparníkem chladicího zařízení 15, které je použito jako tepelné čerpadlo. Chladicí zařízení 15 obsahuje chladicí kompresor 16, kondenzátor 17, škrticí ventil 18 a chladivové potrubí 19. Ke kondenzátoru 17 je přiřazen další uzavřený okruh 20 teplonosné látky, ve kterém je další samostatný sekundární výměník 21, další oběhové čerpadlo 22 a vyrovnávací tlaková nádrž (nezakreslena). Propojovací

vodní potrubí 23, do něhož vyústuje v nejnížší části první akumulární nádrže 24 přívod 25 studené vody a do jehož sání je napojeno podávací čerpadlo 26, propojuje sériově další sekundární výměník 21 tepla s druhým sekundárním výměníkem 13 tepla, odkud je propojovací vodní potrubí 23 zavědono do vývodu 27 teplé vody v nejvyšší části poslední akumulární nádrže 28. Teplo odebrané teplonosnou látkou stlačenému vzduchu v prvním primárním výměníku 3 tepla je předáváno prvním sekundárním výměníkem 12 jako teplo přímo užitečné, zajišťující vytápění. Teplo, využívané posledním primárním výměníkem 5 tepla, který je výparníkem chladicího zařízení, je teplo nízkopotenciální, zajišťující energeticky výhodně funkci tepelného čerpadla. Celkové teplo produkované tepelným čerpadlem v kondenzátoru 17 se převádí do dalšího sekundárního výměníku 21 tepla zařazeného v dalším samostatném okruhu 20. Sériově propojené další sekundární výměník 21 tepla a druhý sekundární výměník 13 tepla zajišťují nepřímý ohřev užitkové, případně pitné vody. Nepřímý ohřev je volen proto, aby se odstranilo nebezpečí zanášení druhého primárního výměníku 4 tepla a kondenzátoru 17 chladicího zařízení 15, ke kterému by nutně při přímém ohřevu užitkové vody nedocházelo. Kromě toho je nepřímý ohřev vody využívající teplo produkované tepelným čerpadlem volen i proto, aby v případě poruchy těsnosti kondenzátoru 17 nedošlo k zamoření ohříváné vody chladivem. Dopravu vody propojovacím vodním potrubím 23 zajišťuje podávací čerpadlo 26, které odebírá trvale určité množství studené vody z přívodu 25. Voda se průchodem dalším sekundárním výměníkem 21 a druhým sekundárním výměníkem 13 ohřeje na požadovanou teplotu. Ohřátá voda se pak odvádí vývodem 27 k místu spotřeby. Pokud je odběr teplé vody menší, než produkuje dva sekundární výměníky 21, 13 tepla, zaplavuje ohřátá voda postupně akumulární nádrže 24, 28 a vytlačuje odtud studenou vodu do propojovacího vodního potrubí 23, k sání prvního podávacího čerpadla 26. Naopak pokud je odběr teplé vody větší, vytlačuje studená voda teplotou vodu z akumulárních nádrží 24, 28 do vývodu 27 teplé vody.

Mezichladič 29 dvoustupňového kompresoru 2 (obr. 2) tvoří primární výměník tepla v uzavřeném mezichladičovém okruhu 30, který obsahuje mezichladičový samostatný sekundární výměník 31 tepla, mezichladičové oběhové čerpadlo 32 a vyrovnávací tlakovou nádrž (neznázorněna). V příkladu provedení (obr. 2) tvoří mezichladičový samostatný sekundární výměník 31 tepla součást sériového zapojení pro ohřev vody společně s druhým sekundárním výměníkem 13 a dalším sekundárním výměníkem 21. V mezichladičovém uzavřeném okruhu 30 je zařazen termoregulační ventil 33, jehož čidlo

34 je osazeno ve výtlačném potrubí 1 kompresoru 2 před prvním primárním výměníkem 3 tepla. Na obr. 2 je zakresleno alternativní uložení čidla 34 v prvním uzavřeném okruhu 6 teplotonosné látky. Na obr. 3 je znázorněno zapojení podle obr. 2 rozšířené o přídavné sekundární výměníky 35, 36, 37, 38 pro odvod nevyužitelného tepla. První přídavný sekundární výměník 35 je s prvním přídavným čerpadlem 39 přiřazen k prvému uzavřenému okruhu 6 v obvodu v sérii s prvním sekundárním výměníkem 12 tepla.

Přídavné sekundární výměníky 36, 37, 38 jsou spolu s jím příslušejícími přídavnými čerpadly 40, 41, 42 přiřazeny k druhému uzavřenému okruhu 7, k dalšímu uzavřenému okruhu 20 a mezichladičovému uzavřenému okruhu 30 teplotonosné látky paralelně. Všechny přídavné sekundární výměníky 34, 35, 36, 37 tepla jsou propojeny propojovacím potrubím 43 chladicí vody opatřeným oběhovým čerpadlem 44 s chladicí věží 45.

V navrženém zapojení se teplo, které je třeba odvádět pro požadované a potřebné zchlazování a vysoušení stlačeného vzduchu, odvádí ve výměnících tepla až do určité mezní teploty stlačeného vzduchu přirozeným způsobem užitečně ohřívanou sekundární látkou, kterou může být teplotonosná látka vytápěcího systému, nebo nepřímo ohřívána užitkovou, případně pitnou vodou nebo jiná kapalina.

Po zchlazení vzduchu přirozeným způsobem na mezní teplotu, se teplo stlačenému vzduchu dále odvádí strojním chladicím zařízením, které umožňuje zchlazení stlačeného vzduchu na teploty blízké 0 °C a tím i jeho účinné vysoušení.

Chladicí zařízení je použito ve funkci tepelného čerpadla a převádí teplo odebrané stlačenému vzduchu při nízké teplotní úrovni na vyšší teplotní úroveň. Převod tepla se zajišťuje energií, vynaloženou na pohon kompresoru, který je hnacím prvkem chladicího zařízení. Vynaložená energie se mění v teplo, o které se zvětší převáděné teplo. Převedené teplo, zvětšené o vynaloženou energii, se při vyšší teplotní úrovni účelně

využívá pro užitečný ohřev sekundární látky, kterou je nejčastěji nepřímo ohřívána voda nebo jiná kapalina.

V použitém zapojení pracuje tepelné čerpadlo s vysokou hospodárností, charakterizovanou topným faktorem, tj. poměrem získaného užitečného tepla a vynaložené energie, v rozmezí 4 až 5, což znamená, že z 1 kWh například elektrické energie vynaložené na pohon chladicího zařízení se získá 4 až 5 kWh v podobě tepla.

Výměníky, zařazené ve výtlačném potrubí vzduchového kompresoru, potřebné pro chlazení stlačeného vzduchu, jsou příčinou tlakové ztráty v rozvodu stlačeného vzduchu. Tato tlaková ztráta však není na závadu, jednak proto, že výměníky lze navrhnout s únosnou tlakovou ztrátou, jednak proto, že zchlazením stlačeného vzduchu, jak již bylo řečeno, se sníží tlaková ztráta v rozvodech a část, případně celou hodnotu, o kterou se tlaková ztráta rozvodů sníží, lze využít pro potřebné výměníky, aniž by se zhoršila energetická účinnost celého zařízení.

Při každém využívání odpadního tepla je nutno řešit disproporce mezi produkovaným tepelným výkonem a odebíraným tepelným výkonem. Protože produkovaný tepelný výkon je určen primární funkcí zařízení, v daném případě výrobou stlačeného vzduchu, která nemá přímou vazbu na odebraný tepelný výkon, který je určen faktory s primární funkcí nesouvisejícími, je třeba řešit jednak krátkodobé disproporce (například v průběhu dne), jednak dlouhodobé disproporce (například v průběhu ročních sezónních období).

Krátkodobé disproporce jsou v navrženém zapojení řešeny akumulací tepla v ohřáté vodě.

Dlouhodobé disproporce se akumulací tepla řešit jednoduše nedají, v navrženém zapojení jsou řešeny tak, že nadbytečný tepelný výkon, který se nedá okamžitě využít, se odvádí jako teplo odpadní.

Navržené zapojení je možno využít i pro chlazení a vysoušení jiných plynů než vzduch a odpadní teplo lze využívat i pro ohřev jiné kapaliny než vody.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Zapojení pro chlazení a vysoušení kompresorem stlačené vzdušiny při současném využívání jím produkovaného tepla vyznačující se tím, že ve výtlačném potrubí (1) jednostupňového, případně vícestupňového kompresoru (2) jsou v sérii zařazené alespoň dva primární výměníky (3, 4, 5) tepla, přičemž ke každému z nich je přiřazen uzavřený okruh (6, 7, 8) teplotonosné látky, přitom všechny samostatné sekundární výměníky (12, 13) tepla kromě posledního sekundárního výměníku (14) tepla tvoří přímý samostatný zdroj využívaného tepla, zatímco poslední sekundární výměník (14)

tepla je výparníkem chladicího zařízení (15) ve funkci tepelného čerpadla, k jehož kondenzátoru (17) je přiřazen další uzavřený okruh (20) teplotonosné látky, obsahující další samostatný sekundární výměník (21) tepla pro přímé využití tepla.

2. Zapojení podle bodu 1 vyznačující se tím, že k nejméně jednomu mezichladiči (29) je přiřazen uzavřený mezichladičový okruh (30) teplotonosné látky, obsahující mezichladičový samostatný sekundární výměník (31) tepla pro přímé využití tepla.

3. Zapojení podle bodů 1 a 2 vyznačující se tím, že v uzavřeném mezichladičovém

okruhu (30) druhého stupně dvoustupňového kompresoru (1) je zapojen termoregulační ventil (33), jehož čidlo (34) je uloženo ve výtlačném potrubí (1) kompresoru (2) před prvním primárním výměníkem (3) tepla, případně v jeho uzavřeném okruhu (6) teplotonosné látky.

4. Zapojení podle bodů 1 až 3 vyznačující se tím, že v dalších mezichladičových okruzích více stupňového kompresoru (2) je zapojeno po jednom termoregulačním ventilu v každém z těchto dalších mezichladičových okruhů a jim odpovídající čidla jsou uložena vždy ve výtlačném potrubí následujícího stupně kompresoru (2), před mezichladičem tohoto stupně, případně v jeho uzavřeném okruhu teplotonosné látky.

5. Zapojení podle bodů 1 až 4 vyznačující se tím, že část sekundárních výměníků (12, 13, 21, 31) tepla pro přímé využití tepla je vzájemně propojena propojovacím vodním potrubím (23) zavedeným alespoň do jedné z akumulčních nádrží (24, 28) zapojených v sérii, s přívodem (25) studené vody do spodní části první akumulční nádrže (24) a s vývodem (27) teplé vody z horní části poslední akumulční nádrže (28).

6. Zapojení podle bodů 1 až 4 vyznačující

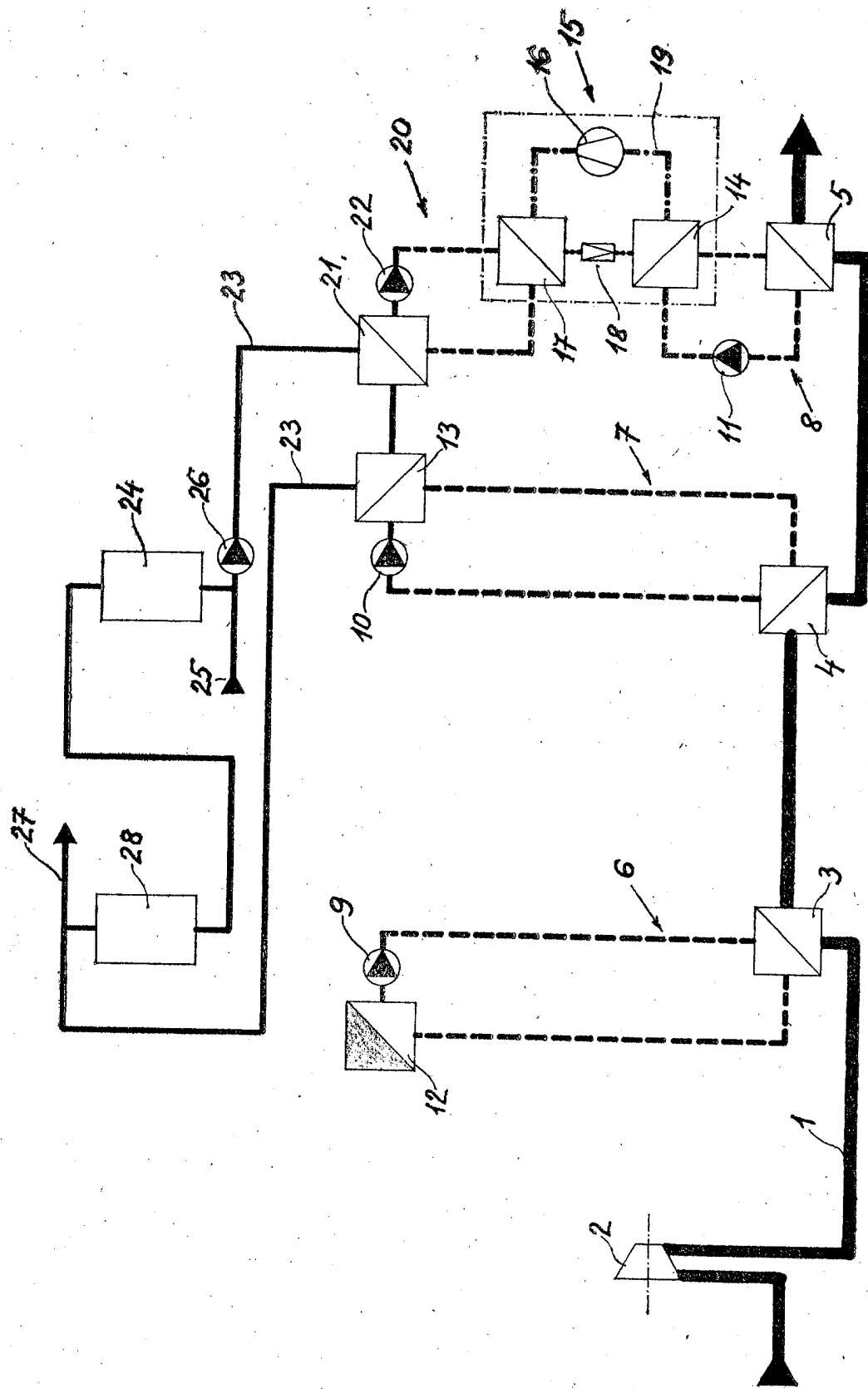
se tím, že všechny sekundární výměníky (12, 13, 21, 31) tepla pro přímé využití tepla jsou vzájemně propojeny propojovacím vodním potrubím (23) zavedeným do akumulčních nádrží (24, 28).

7. Zapojení podle bodů 1 až 6, vyznačující se tím, že k uzavřeným okruhům (6, 7, 20, 30) teplotonosné látky obsahujícím sekundární výměníky (12, 13, 21, 31) tepla pro přímé využití tepla jsou přiřazeny přídavné sekundární výměníky (35, 36, 37, 38) tepla pro odvod nevyužitelného tepla zapojitelné ovládacími orgány k uzavřeným okruhům (6, 7, 20, 30) a propojené propojovacím potrubím (43) chladičí vody s chladičí věží (45).

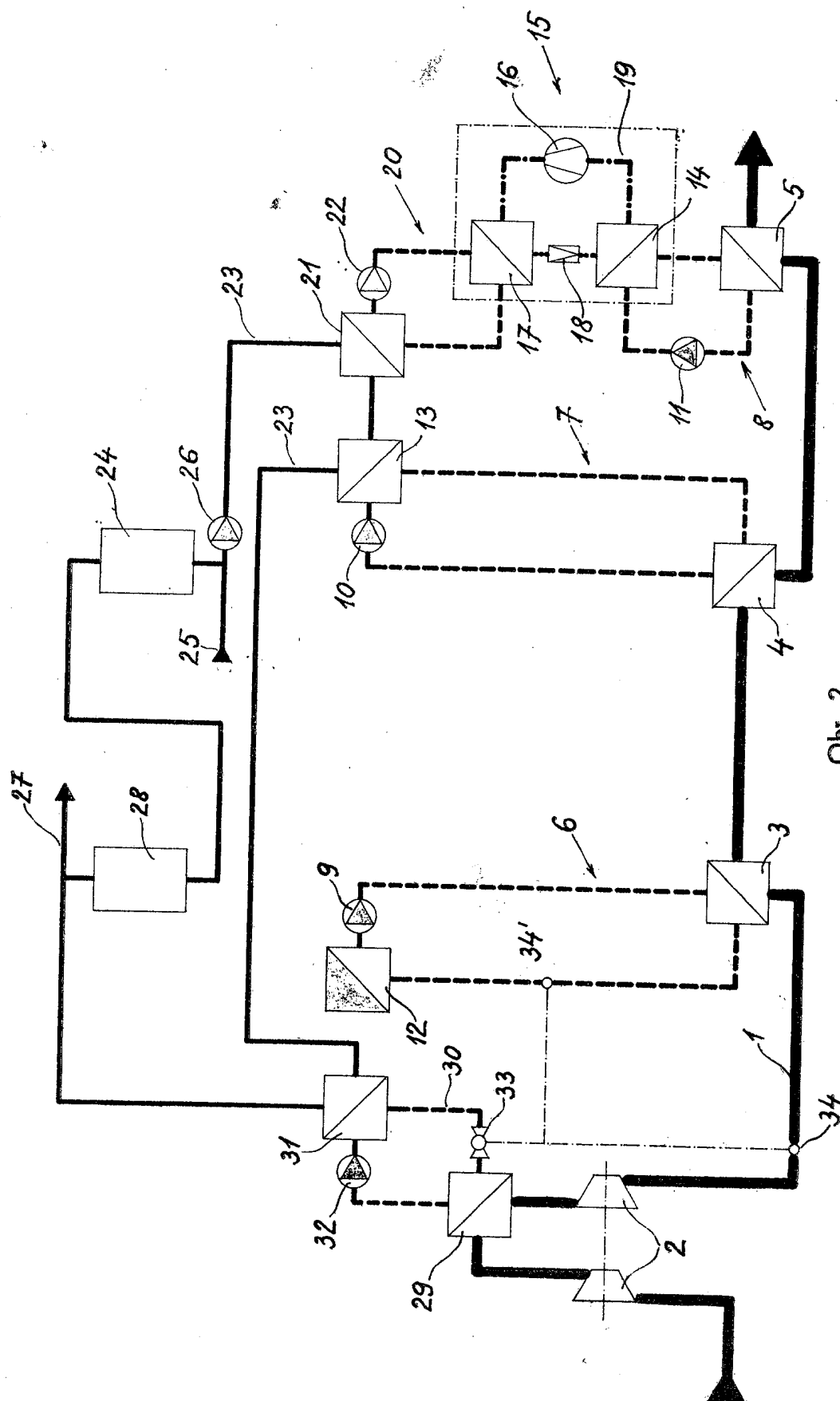
8. Zapojení podle bodu 7 vyznačující se tím, že alespoň jeden z přídavných sekundárních výměníků (35, 36, 37, 38) tepla je přiřazen k příslušejícímu uzavřenému okruhu (6, 7, 20, 30) teplotonosné látky paralelně.

9. Zapojení podle bodu 7 vyznačující se tím, že alespoň jeden z přídavných sekundárních výměníků (35, 36, 37, 38) tepla je přiřazen k příslušejícímu uzavřenému okruhu (6, 7, 20, 30) teplotonosné látky v obtoku v sérii s příslušejícím sekundárním výměníkem (12, 13, 21, 31) pro přímé využití tepla.

3 listy výkresů



Obr. 1



Obt. 2

