



Spis 145/ PV 2022-109
Příhlašovatel Ústav geoniky AV ČR, v. v. i.
Původci doc. RNDr. Josef Malík, CSc.
Název Způsob opakovaného uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění, zařízení pro provádění tohoto způsobu a použití stlačeného vzduchu pro toto řízené uvolnění energie
Značka 145/ CZ

Ústav geoniky AV ČR, v. v. i.
Ing. Josef Foldyna, CSc.
doc. RNDr. Josef Malík, CSc.
Studentská 1768/9
708 00 Ostrava – Poruba

V Praze, dne 9. března 2022

Vážení pánové,

na základě Vašich instrukcí jsme podali českou přihlášku vynálezu o názvu: „Způsob opakovaného uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění, zařízení pro provádění tohoto způsobu a použití stlačeného vzduchu pro toto řízené uvolnění energie“ na Úřad průmyslového vlastnictví ČR. Přihlášce bylo přiděleno číslo spisu PV 2022-109. Podáním přihlášky bylo založeno právo přednosti, které trvá 12 měsíců, kdy je možné vynález rozšířit do zahraničí.

CZ

Datum podání: 09. března 2022
Úřední spisové číslo: PV 2022-109
Území: Česká republika
Název vynálezu: Způsob opakovaného uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění, zařízení pro provádění tohoto způsobu a použití stlačeného vzduchu pro toto řízené uvolnění energie

Příkládáme doklady o podání a podaný popis vynálezu.

Úřad průmyslového vlastnictví (ÚPV) zpravidla do 9 měsíců, vyhotoví první zprávu o úplném průzkumu na jejímž základě můžeme popis vynálezu v případě potřeby upravit pro případný vstup do zahraničí. Na tyto úkony budeme mít 3 měsíce. O těchto skutečnostech Vás budeme včas informovat.

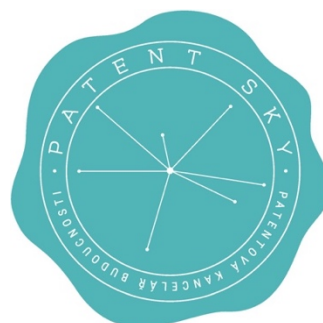
Po 18 měsících od data priority bude přihláška vynálezu publikována, tzn. po 09. 09. 2023.

Samozřejmě Vás budeme informovat ohledně dalšího vývoje řízení přihlášky. V případě jakýchkoli dotazů nás neváhejte kontaktovat.

Vyúčtování služeb a nákladů na podání bude následovat.

Děkujeme, že jste nám svěřili Váš vynález.

S úctou,
Ing. Petra Gottwald





PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU se žádostí o udělení patentu

Pořadové číslo: D22023818

(Vyplní Úřad)

Spisová značka přihlášky: PV 2022-109

Potvrzení o přijetí vydáno dne: 09.03.2022 10:13:32

MPT

Vyřizuje

Kód

DRUH PŘIHLÁŠKY

Typ přihlášky

Druh přihlášky

NÁZEV VYNÁLEZU

Způsob opakovaného uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění, zařízení pro provádění tohoto způsobu a použití stlačeného vzduchu pro toto řízené uvolnění energie

PŘIHLAŠOVATEL

1 Právnícká osoba: Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768/9, 70800 Ostrava, Poruba, Česká republika

Další identifikační údaje

IČ: 68145535

Přihlašovatel je i původcem

PŮVODCE

1 doc. RNDr. Malík Josef, CSc., Šmeralova 814, 74258 Příbor, Česká republika

Pokud si původce nepřeje být zveřejněn - vyplňte "ANO"

ZÁSTUPCE

1 Právnícká osoba: PATENT SKY s. r. o., Karlovarská 814/115, 16100 Praha 6, Řepy, Česká republika

Tel.: :724240814, Email: pgottwald@patent-sky.com, Dat.schr.: bmed63s

Další identifikační údaje

IČ: 27274543, Ev.č. KPZ ČR: 2517

Na základě plné moci bude proveden u spisu zápis zástupce a plná moc nebude uložena jako prezidiální

Počet patentových nároků

PODNIKOVÝ VYNÁLEZ

Jedná se o PODNIKOVÝ VYNÁLEZ

NABÍDKA LICENCE

SEZNAM PŘÍLOH

Typ přílohy

Soubor

Výkresy <i>otisk přílohy (sha1): b00a8b5559c94c724905ecb683216aaf943c1270</i>	p67_Energie- stlacenyvzduch_220202_02_nakresy.docx
Anotace <i>otisk přílohy (sha1): 170a81696140c204287fbac64396eae9f05e3cf5</i>	p67-Energie- stlacenyvzduch_220301_09_annotace.docx
Patentové nároky <i>otisk přílohy (sha1): 030b8c13269c0fe617f0df8d5c13e41c3269cd0a</i>	p67-Energie- stlacenyvzduch_220301_09_naroky.docx
Popis vynálezu <i>otisk přílohy (sha1): d09779b73be64d8f620bc5ffb309d03d5c1d8ff4</i>	p67-Energie- stlacenyvzduch_220301_09_popis.docx
Plná moc <i>otisk přílohy (sha1): 3309bea8bb8dace37d9e2b356f5bd6a091b5e228</i>	145_220307_PoA_UGN_plna moc_podepsana.pdf

ŽÁDOST O ÚPLNÝ PRŮZKUM

ŽÁDÁM O PROVEDENÍ ÚPLNÉHO PRŮZKUMU u této přihlášky vynálezu podle zákona č. 527/1990 Sb., o vynálezech

O úplný průzkum lze požádat buď při podání přihlášky (výběrem ANO/NE ve formuláři) nebo formou samostatné žádosti kdykoli během následujících 36 měsíců.

SOUHLAS S PŘEDÁNÍM VÝSLEDKŮ REŠERŠE pro účely Pravidla 141 EPC přímo

Vysvětlivky (poznámka):

V případě, že budete z této přihlášky nárokovat právo přednosti v následné evropské patentové přihlášce a máte zájem, aby požadavek podle Pravidla 141 EPC, tj. předložení výsledků rešerše Evropskému patentovému úřadu (EPÚ) provedl přímo náš Úřad, pak vyberte volbu "ANO". Jinak musíte požadavku z Pravidla 141 EPC vyhovět sami.

INFORMACE O VÝŠÍ SPRÁVNÍHO POPLATKU

Způsob platby

Převodem z účtu (možnost využít QR kód) *

poplatek 1200 Kč - PV - podání přihlašovatelem
Správní poplatek se platí při podání přihlášky.

Celkem k úhradě
Číslo účtu
Variabilní symbol
Konstantní symbol

1200 Kč
3711-21526001/0710
9900157828
1148



poplatek 3000 Kč - Žádost o provedení úplného průzkumu + 500 Kč za 11. a každý další patentový nárok
počet patentových nároků uvedených v přihlášce je 22
Kolký lze použít pouze pro platby do 5 000 Kč (včetně).

Celkem k úhradě
Číslo účtu
Variabilní symbol
Konstantní symbol

9000 Kč
3711-21526001/0710
9900157839
1148



Potvrzuji pravdivost a úplnost shora uvedených údajů a žádám o udělení patentu.

Přihlášku podává zástupce.

Datum 09.03.2022

Email info@patent-sky.com

Jméno a příjmení Petra Gottwald

.....
Podpis
(U právnické osoby případně i razítko)

VAROVÁNÍ PŘED AKTIVITOU PODVODNÝCH SUBJEKTŮ

Podvodné faktury vyzývající k zaplacení poplatků | Rejstříky, které nesouvisí s oficiálními rejstříky průmyslových práv Úřadu průmyslového vlastnictví

Úřad průmyslového vlastnictví upozorňuje přihlašovatele a vlastníky průmyslových práv a jejich zástupce, že mohou být písemně nebo elektronicky osloveni některými soukromými společnostmi s kontaktními údaji na území ČR nebo jiných států.

Nabízejí za různé poplatky v různých měnách zveřejnění, registraci či evidenci průmyslových práv v jejich rejstřících nebo databázích vedených na Internetu.

Úřad průmyslového vlastnictví opětovně varuje, že takovéto služby nikterak nesouvisí ani s úředními rejstříky či databázemi vedenými Úřadem průmyslového vlastnictví ani s právní ochranou poskytovanou podle příslušných právních předpisů. Nevyužití nabízených služeb nemá žádné právní účinky týkající se platnosti průmyslových práv.

Klamavé výzvy můžete zasílat na adresu: fraud@upv.cz
více na upv.gov.cz

Způsob opakovaného uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění, zařízení pro provádění tohoto způsobu a použití stlačeného vzduchu pro toto řízené uvolnění energie

Oblast techniky

[001] Transformace energie uložené ve stlačeném vzduchu na elektrickou energii.

Dosavadní stav techniky

- [002] Jednou z možností uchovávání energie je použití stlačeného vzduchu, kdy stlačený vzduch je uchován v podzemních prostorách. Uvolnění energie je realizováno průchodem stlačeného vzduchu přes turbínu, na kterou je připojen generátor elektrické energie. Při průchodu stlačeného vzduchu turbínou dochází k adiabatickému rozpínání a následnému ochlazení, což v konečném důsledku vede k zamrznutí turbíny. Aby bylo možné se vyhnout tomuto nežádoucímu jevu, stlačený vzduch, který přichází do turbíny, je předehříván v tepelném výměníku s použitím fosilního paliva. Podíl z celkové vyprodukované energie, která odpovídá podílu fosilní složky, je okolo 20 %. Nejedná se tedy o zcela čistý způsob uchování energie bez produkce oxidu uhličitého.
- [003] V jiném provedení dochází při průchodu vzduchu kompresorem rovněž k zahřívání vzduchu a toto teplo je možné akumulovat a použít při předehřívání vzduchu, který proudí z komory do turbíny a tím zvýšit celkovou efektivitu zařízení na uchování energie, nicméně není možné zcela se vyhnout použití fosilního paliva.
- [004] Stlačený vzduch vstupující do turbíny mění výrazně svou teplotu při průchodu turbínou, což vyvolává pnutí a klade nároky na konstrukci turbíny. V současné době jsou v provozu dvě takováto zařízení na stlačený vzduch. První je Huntorf v Německu spuštěný v roce 1978 a druhé je McIntosh v USA spuštěný v roce 1991. Popis těchto zařízení je možné nalézt v Rafid Al-Khoury, Jochen Bundschuh: Computational Models for CO₂ Geo-sequestration & Compressed Air Energy Storage, 2014 Taylor & Francis Group, London, UK.
- [005] Z patentových dokumentů reprezentuje stav techniky například dokument CN103814199B, který popisuje použití stlačeného plynu jako akumulárního média pro uchovávání energie. Popsaný systém zahrnuje jednu nebo více turbín a je konfigurován tak, aby měnil energii v procesu expanze a stlačování plynu. Speciální turbína akumuluje energii stlačeným plynem a zároveň získává energii z expandujícího plynu. Problém zamrznutí turbíny expandujícím

plynem je v tomto případě řešen vstřikováním predehřáté kapaliny do plynu jako médium pro přenos tepla.

- [006] Dalším dokumentem ze stavu techniky je dokument US20190003384A1, který popisuje systém akumulace a rekuperace energie systému stlačeného vzduchu, který má nádrž na stlačený vzduch konstruovanou tak, aby skladovala stlačený vzduch nad 200 barů, tepelnou akumulaci jednotku obsahující teplotonosnou kapalinu a akumulaci materiál s využitím latentního tepla a tepelný výměník. Tepelný výměník odebírá teplo ze stlačovaného vzduchu pro akumulaci a k ohřevu stlačeného vzduchu před expanzí a k využití k rekuperaci energie ve vzduchovém motoru. Účinnost akumulace energie a výměny tepla se zlepšuje použitím tlaků nad 200 barů.
- [007] Použití stlačeného vzduchu je velmi efektivní způsob k uchování energie. Podrobný rozbor a srovnání různých způsobů uchování energie je analyzován v článku Barnhard, Benson: On the importance of reducing the energetic and material demands of electrical energy storage, Energy and Environmental Science, 2013,6, 1083-1092. Z analýzy provedené v této práci vyplývá, že uchování energie ve formě stlačeného vzduchu má větší potenciál než přečerpávací elektrárny, které se v současné době používají pro uchování energie v 99 % případů.
- [008] Uchování energie ve formě stlačeného vzduchu umožňuje efektivně využít alternativních zdrojů elektrické energie, jako jsou fotovoltaické panely nebo větrné turbíny, jejichž provoz je závislý na počasí a denní době.

Podstata vynálezu

- [009] **Zařízení pro opakované uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a její opětovné řízené uvolnění obsahuje vodní nádrž, ve které je usazena alespoň jedna sada dvou poháněcích komor opatřených napouštěcím ventilem ve svém dně, odvodušňovacím ventilem u svého víka, potrubím pro přívod stlačeného vzduchu a potrubím pro odvod vody z poháněcí komory na vodní turbínu napojenou na elektrický generátor.**
- [0010] **Přenos energie stlačeného vzduchu na turbínu, nepřímo pomocí vody je zcela unikátní přístup, který překonává nevýhody expandujícího vzduchu proudícího na turbínu, způsobující její zamrzání, které řada technologií řeší různými krkolomnými ohřevy proudícího vzduchu.**
- [0011] **Turbína je chráněna od přímého kontaktu s rozpínajícím se chladným vzduchem, jelikož je použito tlacené médium – voda. Ochlazování vzduchu a potažmo tlacené vody může být kompenzováno predehřátím tlacené vody během procesu stlačování vzduchu.**

[0012] Způsob opakovaného uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění pomocí tohoto zařízení pak spočívá v postupném přečerpávání stlačeného vzduchu do poháněcích komor částečně naplněných vodou. Voda je hnána tlakem rozpínajícího se vzduchu na vodní turbínu, která pohání generátor, zatímco druhá poháněcí komora se po odvzdušnění opět plní vodou. Poháněcí komory pracují v soustavě, díky čemuž voda na turbínu neustále proudí, jelikož voda z jedné komory je vypouštěna tlakem stlačeného vzduchu a hnána na turbínu a voda do druhé komory napouštěna poklesem tlaku vzduchu. Komory se ve vypouštění a napouštění vody střídají, což je řízeno tlakem plynu. Během procesu dochází postupně k poklesu tlaku v zásobní nádrži na stlačený vzduch, což se projeví na aktuálních načerpaných výškách hladin vody v napouštěcích komorách. Komora na stlačený vzduch se pro uskladnění energie opět vzduchem doplňuje.

[0013] Celý systém je souhra objemů, výšek hladin vody, tlaků a průtoků, kdy lze jednotlivé parametry měnit a dopočítávat optimální podmínky řízení celého procesu, díky čemuž lze dimenzovat velikost zařízení, jeho skladovací kapacitu, rychlost generování energie atp.

[0014] Zařízení pro uchovávání a uvolňování energie ve formě stlačeného vzduchu je znázorněno na Obr. 1 a Obr. 2. V pracovním režimu je vodní nádrž napuštěna vodou a osazena dvěma poháněcími komorami, které ve svém dně disponují napouštěcím ventilem spojujícím prostor vodní nádrže s prostorem poháněcí komory. U svého víka, tedy v horní části poháněcích komor, jsou poháněcí komory opatřeny odvzdušňovacím ventilem a potrubím pro vstup stlačeného vzduchu z komory na stlačený vzduch, které je osazeno ventilem. Odvzdušňovací ventil je výhodně osazen na odvzdušňovacím potrubí pro výstup expandovaného vzduchu z poháněcího komory do okolního prostředí. Poháněcí komory disponují u dna také potrubím pro odvod vody k vodní turbíně, které je též osazeno ventilem. Ventily jsou výhodně ovládané automaticky, a to zařízením reagujícím na hodnoty tlaků uvnitř poháněcího komory u jeho dna a u jeho víka. Pro takové řízení jsou výhodně zařazena do zařízení čidla tlaku vody u dna poháněcí komory a čidlo tlaku vzduchu u víka poháněcí komory.

[0015] Napouštěcí ventil poháněcí komory je situován u dna poháněcí komory, s výhodou umístěný ve dně. Ventil je výhodně čistě mechanický, zátkový talířový a ovládaný tlakem vody ve vodní nádrži a v poháněcí komoře – ventil je zavřený, pokud tlak v poháněcí komoře na jedné straně ventilu je vyšší než tlak ve vodní nádrži na druhé straně ventilu a tlačí tak na plochu zátky

ventilu, který přiléhá do otvoru ve dně poháněcí komory, který uzavírá. Naopak se napouštěcí ventil otevře, když tlak vody ve vodní nádrži na jedné straně ventilu je větší než tlak vody v poháněcí komoře na druhé straně ventilu, talířová zátka je tlakem vody nadzvednuta a voda proudí skrz otevřený ventil.

[0016] Výkon zařízení je závislý na přívodu tlačené vody na turbínu. Proto je výhodně potrubí propojující poháněcí komory s vodní turbínou u svého ústí na vodní turbínu opatřeno regulovatelnou tryskou, která zajišťuje konstantní energii vody přiváděné na vodní turbínu. Voda proudící střídavě z poháněcích komor na vodní turbínu má klesající rychlost a klesající objem v závislosti na poklesu tlaku stlačeného vzduchu ve vyprazdňující se poháněcí komoře. Pokud je však přívodní potrubí k turbíně zakončeno regulovatelnou tryskou, je možné dosáhnout konstantního výkonu zařízením, a to prostou regulací průtoku tlačené vody přes trysku na turbínu. Výhodně je použita regulovatelná kuželová tryska podle obrázku 8. Regulovatelná tryska zajistí, že s klesající rychlostí proudění vody se zvětšuje její průtok a energie dodávaná vodou turbíně je tak stále stejná a turbína se točí konstantní rychlostí, což má za následek generování konstantního výkonu elektrickým generátorem, který je na tuto vodní turbínu napojen.

[0017] Stlačený vzduch je uchováván v komoře na stlačený vzduch, která je natolik těsná, že nedochází k úniku stlačeného vzduchu. Výhodně je umístěna v podzemí ve vydolovaném prostoru a je opatřena tlakovým čidlem. Součástí zařízení je kompresor, který plní komoru na stlačený vzduch, výhodně při přebytku elektrické energie generované jinou metodou, například solárními panely či větrnými turbínami. Při stlačování se vzduch přirozeně zahřívá, přičemž část tepla je výhodně odváděna z kompresoru tepelným výměníkem do vody ve vodní nádrži a část tepla je odváděna tepelným výměníkem do okolního vzduchu. Teplo vody ve vodní nádrži je poté využito během fáze uvolnění energie pro vyrovnávání klesající teploty během expanze vzduchu v poháněcí komoře. Při rozpínání vzduchu v poháněcích komorách se vzduch ochlazuje, ale zároveň dochází k přestupu tepla z vody ve vodní nádrži přes stěny poháněcích komor do vzduchu v těchto komorách, čímž dochází k postupnému ochlazení vody ve vodní nádrži. Tyto ztráty tepla jsou kompenzovány přehříváním vody ve vodní nádrži v době, kdy dochází k plnění komory na stlačený vzduch. Jak již bylo řečeno, stlačený vzduch z kompresoru prochází výměníkem tepla a část tepla přechází do vody ve vodní nádrži. Tímto dochází k efektivnějšímu uložení a využití energie stlačeného vzduchu.

[0018] Poháněcí komora má výhodně tvar válce, který zajišťuje rovnoměrný pokles hladiny v poháněcí komoře během jejího vypouštění, nicméně i tvar kvádrů nebo hranolu je možný. Čím větší rozměry poháněcí komory jsou, tím menší vliv má tvar poháněcí komory na chod zařízení,

jelikož víření, vzlínání, tření a další procesy lze zanedbat. Výhodně je poháněcí komora vyrobena z oceli.

[0019] Vodní nádrž je výhodně vyšší než poháněcí komory v ní uložené. Poháněcí komory pak mohou být ponořeny pod vodní hladinou ve vodní nádrži, čímž je docíleno vyššího tlaku u dna jak vodní nádrže, tak poháněcí komory a zařízení pracuje efektivněji, než pokud by poháněcí komory byly ponořeny ve vodě ve vodní nádrži jen z části. Vodní nádrž může být výhodně vyrobena z oceli, případně se může jednat o jakýkoli prostor s nepropustnými stěnami, který dokáže udržet vodu, například bazén, umělá nebo přírodní nádrž.

[0020] Potrubí tohoto zařízení je výhodně vyrobeno z oceli nebo z tvrzeného plastu.

[0021] Výhodně vodní turbína ústí zpět do vodní nádrže, čímž voda jako tlačné médium cirkuluje a spotřeba vody pro taková zařízení je minimální. Ve výhodném provedení je vodní turbína umístěna přímo nad otevřenou vodní nádrží a voda do vodní nádrže z vodní turbíny samovolně stéká. V jiném výhodném provedení je voda stékající z vodní turbíny jímána a potrubím dopravena zpět do vodní nádrže. Vždy je však výhodné, aby vodní turbína byla umístěna výš než hladina vody ve vodní nádrži, aby proces cirkulace vody probíhal samovolně stékáním, a nebylo potřeba do tohoto kroku zapojit čerpadla, která by zbytečně spotřebovávala energii.

[0022] Obecně toto zařízení v nejvýhodnějším provedení nekonzumuje během procesu uvolnění energie žádnou elektrickou energii. Jediná elektrická energie může být použita pro automatické řízení jednotlivých fází procesu uvolňování energie a jejího převodu na elektrickou energii.

[0023] Způsob opakovaného uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění pomocí zařízení popsaného výše spočívá se střídavém napouštění a vypouštění vody ze dvou poháněcích komor v jedné sadě, přičemž komora, která je napuštěná vodou je navíc natlakována stlačeným vzduchem. Z plné poháněcí komory voda proudí potrubím na vodní turbínu napojenou na elektrický generátor. Zároveň s vypouštěním jedné poháněcí komory se napouští druhá poháněcí komora. Když je druhá poháněcí komora zcela napuštěna, natlakuje se stlačeným vzduchem a vystřídá první, teď už prázdnou, poháněcí komoru ve vypouštění vody na vodní turbínu.

[0024] Tím, že vždy pracují dvě poháněcí komory v jedné sadě je zajištěno, že na vodní turbínu neustále proudí voda a nedochází k výpadkům v generovaném proudu. Zároveň je výhodné, aby hladina vody ve vodní nádrži byla maximálně konstantní, tedy aby nedocházelo k jejím velkým poklesům a vzrůstům. V případě, kdy je hladina vody ve vodní nádrži konstantní, je

konstantní i tlak vody u dna vodní nádrže a proces napouštění a vypouštění vody z poháněcích komor je také konstantní. Řízení celého procesu je jednodušší, protože se nemění v čase. Proto je výhodné, když voda v zařízení cirkuluje a z vodní turbíny se vrací do vodní nádrže, jak již bylo zmíněno výše.

[0025] Pro proces uvolnění energie stlačeného vzduchu a jejího převodu na elektrickou energii je použita voda jako transportér energie uskladněné ve formě stlačeného vzduchu pro roztočení vodní turbíny. Voda je na turbínu hnána tlakem rozpínajícího se stlačeného vzduchu nad vodní hladinou a také tlakem vodního sloupce v poháněcí komoře. Proto je potrubí pro přívod vody na turbínu vyvedeno u dna poháněcí komory.

[0026] Použitá nomenklatura:

p_0 atmosférický tlak vzduchu [Pa]

A_1 plošný průřez trubky 13 [m^2]

A_2 plošný průřez trubky 18 [m^2]

A_3 plošný průřez trubky/trysky 19 [m^2]

A_4 plošný průřez ventilu 10 [m^2]

d_{max} maximální výška vodní hladiny v poháněcí komoře 5 [m]

d_{min} minimální výška hladiny vody v poháněcí komoře 5 [m]

d_1 výška stropu poháněcí komory 5 měřená od minimální výšky d_{min} [m]

d_2 výška hladiny 3 v poháněcí komoře 1 měřená od minimální výšky d_{min} [m]

p_{max} maximální tlak vzduchu v poháněcí komoře [Pa]

p_{min} minimální tlak vzduchu v poháněcí komoře [Pa]

[0027] Počáteční stav

[0028] Funkce zařízení je znázorněna na Obr. 3 až Obr. 6. Počáteční stav odpovídá situaci znázorněné na Obr. 3, kdy všechny ventily 10, 11, 12 jsou zavřené, tedy i ventil 10 na levé poháněcí komoře 5. Jak již bylo řečeno, ventil 10 je jednosměrný a propouští vodu z vodní nádrže 1 do poháněcí komory 5. Tlak vzduchu v pravé poháněcí komoře 5 je na hodnotě p_{max} a výška hladiny vody v pravé poháněcí komoře 5 je na hodnotě d_{max} . Tlak vzduchu v levé poháněcí komoře 5 je na hodnotě p_{min} a výška hladiny vody v levé poháněcí komoře 5 je na hodnotě d_{min} . Tyto tlaky jsou dostatečné pro udržení obou ventilů 10 v uzavřené poloze.

[0029] První fáze procesu uvolnění energie

[0030] První fáze procesu koresponduje s Obr. 4. Otevře se odvzdušňovací ventil 12 na potrubí 18 v levé poháněcí komoře 5 a stlačený vzduch se vypouští do okolní atmosféry. Když klesne tlak vzduchu na hodnotu, která zaručuje, že tlak vody u dna levé poháněcí komory je menší než tlak vody u dna ve vodní nádrži 1, otevře se napouštěcí ventil 10 v levé poháněcí komoře 5, výhodně samočinně, a voda proudí otevřeným napouštěcím ventilem 10 z vodní nádrže 1 do levé poháněcí komory 5. Ve stejném okamžiku se otvírá ventil 14 na potrubí 19, které vede ode dna pravé poháněcí komory 5 na vodní turbínu 4 a voda je tlakem svého sloupce a také tlakem rozpínajícího se vzduchu vytlačována potrubím 19 na vodní turbínu 4, čímž pohání elektrický generátor 20. Hladina v pravé poháněcí komoře 5 pomalu klesá.

[0031] Druhá fáze procesu uvolnění energie

[0032] Druhá fáze procesu koresponduje s Obr. 5. Hladina vody v levé poháněcí komoře 5 stoupá a blíží se úrovni d_{max} . Výšku hladiny lze určit z rozdílů tlaků vzduchu a vody na tlakových čidlech 7 a 8 v levé poháněcí komoře 5. Když hladina vody v levé poháněcí komoře 5 dosáhne úrovně d_{max} , uzavírá se odvzdušňovací ventil 12 na levé poháněcí komoře 5 spojující vnitřní prostor komory 5 s atmosférou a otvírá se ventil 11 na levé poháněcí komoře 5 a stlačený vzduch z komory 17 začíná proudit do levé poháněcí komory 5. V pravé poháněcí komoře 5 rozpínající se vzduch stále tlačí vodu přes potrubí 19 na vodní turbínu 4. Hladina vody v pravé poháněcí komoře 5 se blíží hodnotě d_{min} . Při rozpínání vzduchu v pravé poháněcí komoře 5 dochází k jeho ochlazení, které je kompenzováno přestupem tepla z vody ve vodní nádrži 1 přes stěny poháněcí komory 5, která je výhodně vyrobena z oceli.

[0033] Třetí fáze procesu uvolnění energie

[0034] Třetí fáze tohoto procesu koresponduje s Obr. 6. Tlak vzduchu v levé poháněcí komoře 5 dosáhne hodnoty p_{max} , uzavírá se ventil 11 na levé poháněcí komoře 5 a otvírá se ventil 14 na levé poháněcí komoře 5 a voda z levé poháněcí komory 5 začíná silou svého vodního sloupce a silou tlaku vzduchu proudit na turbínu 4. Hladina vody v pravé poháněcí komoře 5 dosahuje výšky d_{min} , což koresponduje s tlakem vzduchu p_{min} v pravé poháněcí komoře 5. Uzavírá se ventil 14 na potrubí 19, která přivádí vodu na turbínu 4 z pravé poháněcí komory 5. Otvírá se odvzdušňovací ventil 12 na pravé poháněcí komoře 5, kterým se vypouští expandovaný vzduch z pravé poháněcí komory 5 do okolního prostředí. Když tlak vody u dna pravé poháněcí komory 5 klesne na hodnotu, která je nižší než tlak vody u dna vodní nádrže 1, otvírá se napouštěcí

ventil 10 na pravé poháněcí komoře 5 a voda z vodní nádrže 1 začíná proudit do pravé poháněcí komory.

- [0035] Po třetí fázi se systém nachází ve stejném stavu jako na počátku první fáze, pouze pravá a levá poháněcí komora jsou prohozeny.
- [0036] Další napouštění a vypouštění poháněcích komor probíhá periodicky ve třech fázích popsaných výše. Napouštění a vypouštění poháněcích komor musí být plynulé. Ventil 14 na pravé poháněcí komoře se otvírá a zavírá ve stejném okamžiku, kdy se zavírá a otvírá ventil 14 na levé poháněcí komoře.
- [0037] Výkon zařízení závisí na rozměrech vodní nádrže 1 a poháněcích komor 5, plošných průřezech A_1, A_2, A_3 potrubí 13, 18, 19 a plošném průřezu A_4 ventilu 10. Tyto hodnoty je možno nastavit s využitím matematického modelu výše popsaných procesů.
- [0038] Tento proces může pokračovat až do chvíle, kdy tlak vzduchu v komoře na stlačený vzduch klesne na hodnotu p_{max} .
- [0039] Výška hladiny vody ve vodní nádrži je na konstantní hodnotě, což je zaručeno souběžným napouštěním a vypouštěním obou poháněcích komor.

[0040] Shrnutí fází procesu uvolnění energie:

- [0041] Alespoň jedna sada dvou poháněcích válců (5) situovaných pod hladinou vody ve vodní nádrži (1) pracuje společně a opačně, přičemž odvzdušňovací ventil (12) prvního poháněcího válce (5.1) se otevře, čímž dojde k poklesu tlaku v prvním poháněcím válci (5.1), což umožní otevření jednocestného ventilu (10) ve dně prvního poháněcího válce (5.1) a první poháněcí válec (5.1) se napouští vodou, zároveň se otevře ventil (14) vodní turbíny (4) situovaný u dna druhého poháněcího válce (5.2) napuštěného vodou a natlakovaného stlačeným vzduchem, čímž se druhý poháněcí válec (5.2) vypouští, přičemž vypouštěná voda z druhého poháněcího válce proudí ventilem (14), procházející potrubím (19) na vodní turbínu (4) roztáčí vodní turbínu (4) a voda se z vodní turbíny (4) vrací zpět do vodní nádrže, jak se snižuje hladina v druhém poháněcím válci (5.2) tak stoupá hladina v prvním poháněcím válci (5.1), přičemž po dosažení maximální hladiny v prvním poháněcím válci (5.1) se uzavře odvzdušňovací ventil (12) a jednocestný plnicí ventil (10) prvního poháněcího válce (5.1) a otevře se ventil (11) stlačeného vzduchu napojený potrubím (13) na komoru (17) na stlačený vzduch, čímž se první poháněcí válec (5.1) natlakuje stlačeným vzduchem, zároveň druhý poháněcí válec (5.2) dosáhl minimální hladiny, ventil (14) vodní turbíny (4) druhého poháněcího válce (5.2) se uzavře a otevře se ventil (14) vodní turbíny (4) prvního poháněcího válce (5.1), čímž se první poháněcí

válec (5.1) vypouští, přičemž vypouštěná voda z prvního poháněcího válce (5.1) proudí ventilem (14), procházející potrubím (19) na vodní turbínu (4) roztáčí vodní turbínu (4) a voda se z vodní turbíny (4) vrací zpět do vodní nádrže, zároveň se otevře odvzdušňovací ventil (12) druhého poháněcího válce (5.2), čímž dojde k poklesu tlaku v druhém poháněcím válci (5.2), což umožní otevření jednocestného ventilu (10) ve dně druhého poháněcího válce (5.2) a druhý poháněcí válec (5.2) se napouští vodou, jak se snižuje hladina v prvním poháněcím válci (5.1) vypouštěním na vodní turbínu (4) tak stoupá hladina v druhém poháněcím válci (5.2), přičemž po dosažení maximální hladiny v druhém poháněcím válci (5.2) se uzavře odvzdušňovací ventil (12) a jednocestný plnicí ventil (10) druhého poháněcího válce (5.2) a otevře se ventil (11) stlačeného vzduchu napojený potrubím (13) na komoru (17) na stlačený vzduch, čímž se druhý poháněcí válec (5.2) natlakuje stlačeným vzduchem, zároveň první poháněcí válec (5.1) dosáhl minimální hladiny, ventil (14) vodní turbíny (4) prvního poháněcího válce (5.1) se uzavře a otevře se ventil (14) vodní turbíny (4) druhého poháněcího válce (5.2), přičemž tento proces se opakuje, dokud se tlak v komoře (17) na stlačený vzduch nevyrovná s tlakem v poháněcím válci (5) po vypuštění vody

[0042] Zařízení je možné využít i v případě vyrovnávání špiček spotřeby elektrické energie, kdy můžeme seřadit několik poháněcích komor o rozměrech navržených v Příkladu 1, 2 a 3. Podle odběru uvádíme do činnosti více poháněcích komor a při poklesu odběru je odpojujeme. V určitém denním období je přebytek elektrické energie, kdy energie může být uchována ve formě stlačeného vzduchu, a jsou denní období, kdy je energie nedostatek a je velmi drahá. Provoz takového zařízení je i ekonomicky velmi zajímavý. Když uvážíme údaje z Příkladu 2, potom 100 zařízení o výše uvedených rozměrech má výkon, který pokryje potřeby 37 000 obyvatel ČR po dobu jednoho dne, pokud máme podzemní komoru o objemu $1,2 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ a tlak vzduchu v této komoře je $7 \cdot 10^6 \text{ Pa}$. Zařízení tohoto typu se vejde do bazénu $25 \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 9 \text{ m}$. Na území ČR je dostatek vytěžených prostor, které mohou být využity jako komory na stlačený vzduch. Zařízení je možno umístit do podzemí a neovlivňuje vůbec životní prostředí na rozdíl od dosud provozovaných zařízení na stlačený vzduch.

[0043] Shrnutí:

[0044] Zařízení pro opakované uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a její opětovně řízené uvolnění obsahuje vodní nádrž, alespoň jednu sadu dvou poháněcích komor, komoru na stlačený vzduch, kompresor, vodní turbínu a elektrický generátor, přičemž ve vodní nádrži je

uložena alespoň jedna sada dvou poháněcích komor, přičemž vnitřní prostor každé poháněcí komory je propojen s vnitřním prostorem vodní nádrže napouštěcím ventilem umístěným ve dně poháněcí komory a dále je vnitřní prostor poháněcí komory propojen potrubím přes ventil stlačeného vzduchu s komorou na stlačený vzduch, dále je vnitřní prostor každé poháněcí komory propojen s okolním prostředím odvzdušňovacím ventilem a vnitřní prostor každé poháněcí komory je u svého dna propojen s potrubím vedoucím přes ventil a ústícím na vodní turbínu, která je napojená na elektrický generátor, přičemž vnitřní prostor komory na stlačený vzduch je potrubím napojen na kompresor pro přívod stlačeného vzduchu.

[0045] Napouštěcí ventil je výhodně jednocestný.

[0046] Poháněcí komora má výhodně výšku větší než šířku a tvar válce nebo kvádrů.

[0047] Vodní turbína ústí výhodně do vodní nádrže.

[0048] Odvzdušňovací ventil je výhodně s vnitřním prostorem poháněcí komory spojen potrubím.

[0049] Výška vodní nádrže je výhodně větší než výška poháněcích komor.

[0050] Obě poháněcí komory v jedné sadě mají výhodně stejnou výšku.

[0051] Zařízení výhodně obsahuje tepelný výměník, který tepelně propojuje vnitřní prostor komory na stlačený vzduch s vnitřním prostorem vodní nádrže.

[0052] Vnitřní prostor každé poháněcí komory je výhodně propojen s potrubím ve výšce maximálně 1/5 celkové výšky poháněcí komory, a to výhodně ve výšce maximálně 1/20 celkové výšky poháněcí komory.

[0053] Vodní nádrž je výhodně naplněna vodou a alespoň jedna sada dvou poháněcích komor je uložena ve vodní nádrži pod vodní hladinou.

[0054] V pracovním režimu je výhodně alespoň jedna poháněcí komora z každé sady dvou poháněcích komor naplněna vodou.

[0055] Poháněcí komora výhodně obsahuje čidlo tlaku vody situované u dna poháněcí komory a/nebo čidlo tlaku vzduchu situované u víka poháněcí komory, přičemž čidlo tlaku vody je výhodně situované maximálně v 1/5 celkové výšky poháněcí komory a čidlo tlaku vzduchu je výhodně situované minimálně ve výšce 4/5 celkové výšky poháněcí komory.

[0056] Způsob opakovaného uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění pomocí zařízení je realizován tak, že první poháněcí komora ze sady dvou poháněcích komor je vyprázdněná a druhá poháněcí komora ze sady dvou poháněcích komor je naplněna vodou a natlakována stlačeným vzduchem, přičemž odvzdušňovací ventil a napouštěcí ventil ve dně vyprázdněné první poháněcí komory se otevřou, zároveň se otevře ventil vodní turbíny na potrubí druhé poháněcí komory a voda z druhé poháněcí komory

proudící z potrubí roztáčí vodní turbínu napojenou na elektrický generátor, přičemž po vyprázdnění druhé poháněcí komory a naplnění první poháněcí komory se uzavře odvětrávací ventil a napouštěcí ventil první poháněcí komory a otevře se ventil stlačeného vzduchu první poháněcí komory napojený potrubím na komoru na stlačený vzduch, a ventil se opět zavře po natlakování první poháněcí komory, zároveň se uzavře ventil vodní turbíny na potrubí a otevře se odvětrávací ventil a jednocestný napouštěcí ventil druhé vyprázdněné poháněcí komory, zároveň se otevře ventil vodní turbíny na potrubí první poháněcí komory naplněné vodou a natlakované stlačeným vzduchem a voda z první poháněcí komory proudící z potrubí roztáčí vodní turbínu napojenou na elektrický generátor, přičemž po vyprázdnění první poháněcí komory a naplnění druhé poháněcí komory se uzavře odvětrávací ventil a napouštěcí ventil druhé poháněcí komory, otevře se ventil stlačeného vzduchu druhé poháněcí komory napojený potrubím na komoru na stlačený vzduch, a ventil se opět zavře po natlakování druhé poháněcí komory a proces se opakuje.

- [0057] Napouštěcí ventil první poháněcí komory a napouštěcí ventil druhé poháněcí komory je výhodně jednocestný.
- [0058] Elektrický generátor produkuje výkon, který se výhodně reguluje tlakem a průtokem vody proudící potrubím na vodní turbínu.
- [0059] Vyprázdňování první poháněcí komory v sadě dvou poháněcích komor je výhodně časově stejně dlouhé nebo delší než naplnění druhé poháněcí komory vodou a její natlakování a zároveň vyprázdňování druhé poháněcí komory v sadě dvou poháněcích komor je časově stejně dlouhé nebo delší než naplnění první poháněcí komory vodou a její natlakování.
- [0060] Použití stlačeného vzduchu pro řízené uvolnění energie uložené ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění vytlačením vody z uzavřeného prostoru, kdy proudící vytlačovaná voda roztáčí vodní turbínu napojenou na elektrický generátor generující elektrický proud.
- [0061] Použití vody jako média pro přenos energie uložené ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění vytlačením vody tlakem stlačeného vzduchu z uzavřeného prostoru, kdy proudící vytlačovaná voda roztáčí vodní turbínu napojenou na elektrický generátor generující elektrický proud.

[0062] Optimalizace procesů

[0063] Pro nastavení parametrů zařízení je vyvinut aparát rovnic popsán níže, který umožňuje nastavit rozměry vodní nádrže, poháněcích komor, průměry všech potrubí a stanovit výkon takového zařízení.

[0064] Další část popisu vynálezu se soustředí na optimalizaci jednotlivých procesů probíhajících při ukládání a uvolnění energie. Tyto rovnice jsou odvozeny pro libovolné rozměry zařízení a jsou základním nástrojem pro určení parametrů funkčního zařízení. Tyto rovnice umožňují nastavit parametry zařízení a určit výkon, průměry trubek, ventilů a tlaku vzduchu v poháněcím válci. Jako příklad použijeme tyto rovnice pro analýzu procesů, kde poháněcí válce mají průměr 1 m a výšku 7 m. Nastavíme ostatní parametry tak, aby toto zařízení bylo použitelné pro uskladnění a uvolnění energie v situacích vhodných pro praktické aplikace. Tyto parametry budou uvedeny postupně s odvozením základních rovnic. Jedná se o modely vypouštění vzduchu z poháněcího válce a jeho plnění vodou, plnění části poháněcího válce stlačeným vzduchem a vytlačování vody pomocí stlačeného vzduchu na turbínu. Výsledkem tohoto modelování bude rovněž průběh teplot ve vzduchu v poháněcích válcích a ve vodě v poháněcí komoře. Součástí těchto modelů jsou rovnice umožňující určit dobu trvání uvolňování energie v závislosti na objemu komory na stlačený vzduch a výkonu zařízení. Modelované procesy odpovídají dějům probíhajícím ve třech fázích popsáných výše.

[0065] Model procesu vypouštění vzduchu z poháněcího válce a jeho plnění vodou

[0066] Účelem této části je zformulovat rovnice popisující vypouštění vzduchu z poháněcího válce. Tyto rovnice umožňují nastavit parametry zařízení a určit výkon, průměry trubek, ventilů a tlaku vzduchu v poháněcím válci.

[0067] Nomenklatura

p_0 atmosférický tlak vzduchu [Pa]

$p(t)$ tlak vzduchu v poháněcím válci 5 [Pa]

R plynová konstanta pro vzduch [$J kg^{-1}K^{-1}$]

g gravitační zrychlení [$m s^{-2}$]

T teplota vzduchu v poháněcím válci [K]

ρ^w hustota vody [$kg m^{-3}$]

$\rho^a(t)$ hustota vzduchu v poháněcím válci [$kg m^{-3}$]

$v_1(t)$ rychlost proudění vzduchu v trubce 18 [$m s^{-1}$]

$v_2(t)$ rychlost proudění vody přes ventil 10 [$m s^{-1}$]

A_2 plošný průřez trubky 18 [m^2]

l_2 průřez trubky 18 [cm]

A_4 plošný průřez ventilu 10 [m^2]

l_4 průřez ventilu 10 [cm]

P_v plošný průřez poháněcího válce 5 [m^2]

$d(t)$ výška hladiny vody v poháněcím válci 5 měřená od minimální výšky d_{min} [m]

d_1 výška stropu poháněcího válce 5 měřená od minimální výšky d_{min} [m]

d_4 výška hladiny vody v poháněcí komoře 1 měřená od minimální výšky d_{min} [m]

$M(t)$ hmotnost vzduchu v poháněcím válci [kg]

$V(t)$ objem vzduchu v poháněcím válci [m^3]

$[x]^+$ kladná část výrazu x

[0068] Symboly, které obsahují (t) , závisí na čase, ostatní symboly jsou v čase konstantní. V tomto případě budeme předpokládat, že teplota vzduchu při plnění poháněcího válce se nemění, protože vzduch nekoná žádnou práci a nedochází k velkým přestupům tepla mezi vodou a vzduchem. Odvození rovnic se opírá o Bernoulliho rovnici proudění vzduchu z poháněcího válce 5 přes trubku 18 do okolní atmosféry

$$[0069] p_0 + \frac{1}{2} \rho^a(t) v_1^2(t) = p(t) \quad (1)$$

[0070] a tutéž rovnici pro proudění vody z vodní nádrže 1 do poháněcí komory 5:

$$[0071] p(t) + \frac{1}{2} \rho^w v_2^2(t) + d(t) g \rho^w = p_0 + d_4 g \rho^w. \quad (2)$$

[0072] Dále se odvození opírá stavovou plynovou rovnicí pro vzduch v poháněcí komoře 5, která je následující:

$$[0073] V(t)p(t) = M(t)RT,$$

[0074] kde pro objem platí následující rovnice:

$$[0075] V(t) = P_v(d_1 - d(t)),$$

$$[0076] \frac{dV(t)}{dt} = \frac{A_2 v_2(t)}{P_v}. \quad (3)$$

[0077] Nyní popište proudění vody z poháněcí komory do poháněcího válce. Z rovnice (2) plyne:

$$[0078] \quad v_2(t) = \left(\left[2(d_4 - d(t))g + \frac{2(p_0 - p(t))}{\rho^w} \right]^+ \right)^{\frac{1}{2}},$$

[0079] Kde symbol $[\]^+$ vyjadřuje skutečnost, že napouštěcí ventil 10 se otevře, když tlak vody u dna poháněcí komory 5 je nižší než tlak vody u dna vodní nádrže 1. Z rovnic (3) plyne vztah:

$$[0080] \quad \frac{d d(t)}{d t} = \frac{A_4 v_2(t)}{P_v}.$$

[0081] Spojením posledních dvou rovnic získáme diferenciální rovnici popisující pohyb hladiny vody v poháněcí komoře 5 při vypouštění vzduchu z poháněcí komory 5:

$$[0082] \quad \frac{d d(t)}{d t} = \frac{A_4}{P_v} \left(\left[2(d_4 - d(t))g + \frac{2(p_0 - p(t))}{\rho^w} \right]^+ \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

[0083] Nyní sestavíme rovnici popisující vývoj tlaku vzduchu v poháněcí komoře 5 při jeho vypouštění. Pro hmotnost vzduchu v poháněcí komoře 5 platí následující rovnice:

$$[0084] \quad \frac{d M(t)}{d t} = -A_2 \rho^a(t) v_1(t) \quad (5)$$

[0085] a ze stavové rovnice a rovnic (3) plyne vztah:

$$[0086] \quad \rho^a(t) = \frac{M(t)}{P_v(d_1 - d(t))} = \frac{p(t)}{RT}.$$

[0087] Potom z rovnice (1) plyne vztah:

$$[0088] \quad v_1(t) = \left(\frac{2RT(p(t) - p_0)}{p(t)} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

[0089] Tedy platí z poslední rovnice a rovnice (5) plyne:

$$[0090] \quad \frac{d M(t)}{d t} = -\frac{A_2 p(t)}{RT} \left(\frac{2RT(p(t) - p_0)}{p(t)} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

[0091] Stavová rovnice dává vztah:

$$[0092] \quad \frac{d M(t)}{d t} RT = \frac{d p(t)}{d t} P_v (d_1 - d(t)) - p(t) P_v \frac{d d(t)}{d t}.$$

[0093] Z poslední rovnice, rovnice (7) a rovnice (4) vyplývá diferenciální rovnice:

$$[0094] \quad \frac{d p(t)}{d t} = \frac{p(t)}{P_v(d_1 - d(t))} \left\{ A_4 \left(\left[2(d_4 - d(t))g + \frac{2(p_0 - p(t))}{\rho^w} \right]^+ \right)^{\frac{1}{2}} - A_2 \left(\frac{2RT(p(t) - p_0)}{p(t)} \right)^{\frac{1}{2}} \right\}.$$

[0095] Poslední rovnice s rovnicí (4) jsou základní diferenciální rovnice popisující proces vyprazdňování vzduchu z poháněcí komory 5 a jejího plnění vodou.

[0096]

$$\frac{d d(t)}{d t} = \frac{A_4}{P_v} \left(\left[2(d_4 - d(t))g + \frac{2(p_0 - p(t))}{\rho^w} \right]^+ \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

$$\frac{d p(t)}{d t} = \frac{p(t)}{P_v(d_1 - d(t))} \left\{ A_4 \left(\left[2(d_4 - d(t))g + \frac{2(p_0 - p(t))}{\rho^w} \right]^+ \right)^{\frac{1}{2}} - A_2 \left(\frac{2RT(p(t) - p_0)}{p(t)} \right)^{\frac{1}{2}} \right\}$$

)]

[00101] Poznamenejme, že při vypouštění vzduchu z poháněcí komory 5 se nemění měrná vnitřní energie vzduchu v poháněcí komoře 5, tedy teplota vzduchu T zůstává konstantní.

[00102] Použijeme tyto rovnice na určení průběhu tlaku vzduchu a výšky hladiny vody v poháněcí komoře v procesu vypouštění vzduchu a napouštění vody. Zvolíme takové parametry, které jsou blízké situaci korespondující s reálným využitím této metody pro ukládání energie.

[00103] Volba parametrů pro konkrétní situaci

$$p_0 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$R = 287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$g = 10 \text{ m s}^{-2}$$

$$T = 283 \text{ K}$$

$$\rho^w = 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$A_2 = 0.00195 \text{ m}^2$$

$$l_2 = 5 \text{ cm}$$

$$A_4 = 0.045 \text{ m}^2$$

$$l_4 = 24 \text{ cm}$$

$$P_v = 1 \text{ m}^2$$

$$d_1 = 7 \text{ m}$$

$$d_4 = 8 \text{ m}$$

[00104] Počáteční podmínky

$$p(0) = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$d(0) = 0 \text{ m}$$

[00105] Doba trvání tohoto procesu $t = 30$ sekund a v tomto okamžiku je dosaženo hodnot.

$$p(t) = 1.1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$d(t) = 5 \text{ m}$$

[00106] Tyto hodnoty lze nastavit vhodnou volbou parametrů A_2 , A_4 , jak bylo učiněno výše. Soustava rovnic slouží k nastavení průmětu odvzdušňovacího potrubí 18 a napouštěcího ventilu 10 tak, aby bylo možné nastavit zařízení na potřebný výkon a dobu trvání vypouštění vzduch spolu s napouštěním vody v poháněcím válci. Na Obr. 8 je znázorněn průběh tlaku v procesu vypouštění vzduch z poháněcího válce a na Obr. 9 je znázorněn vzestup hladiny vody v poháněcí komoře. Na tomto obrázku je rovněž dobře vidět okamžik, kdy dojde k otevření napouštěcího ventilu 10.

[00107] Model procesu plnění poháněcího válce stlačeným vzduchem

[00108] V této části popíšeme proces popisující plnění poháněcí komory stlačeným vzduchem proudícím z komory 17 na stlačený vzduch proudící potrubím 13. Tento proces je popsán diferenciální rovnicí popisující průběh tlaku vzduchu v čase.

[00109] Nomenklatura

p_0 atmosférický tlak vzduchu [Pa]

p_1 tlak vzduchu v komoře na stlačený vzduch [Pa]

$p(t)$ tlak vzduchu v poháněcím válci [Pa]

R plynová konstanta pro vzduch [$J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$]

T teplota vzduchu v komoře na stlačený vzduch [K]

$\rho^a(t)$ hustota vzduchu v poháněcím válci [kg m^{-3}]

$v(t)$ rychlost proudění vzduchu v trubce 13 [m s^{-1}]

A_1 plošný průřez trubky 13 [m^2]

l_1 průřez trubky 13 [cm]

$M(t)$ hmotnost vzduchu v poháněcím válci [kg]

V objem v poháněcím válci určený pro stlačený vzduch [m^3]

[00110] V tomto případě budeme předpokládat, že teplota vzduchu při plnění poháněcí komory 5 se nemění, protože vzduch nekoná žádnou práci a nedochází k velkým přestupům tepla mezi vodou a vzduchem. Odvození základní rovnice pochází z Bernoulliho rovnice:

$$[00111] \quad p(t) + \frac{1}{2} \rho^a(t) v^2(t) = p_1,$$

[00112] vztahu

$$[00113] \quad \frac{dM(t)}{dt} = A V(t) \rho^a(t)$$

[00114] a stavové rovnice pro vzduch

$$[00115] \quad V \frac{dp(t)}{dt} = \frac{dM(t)}{dt} R T .$$

[00116] Po jednoduchých úpravách dostáváme diferenciální rovnici pro tlak vzduchu v poháněcí komoře 5:

$$[00117] \quad \boxed{\frac{dp(t)}{dt} = \frac{A}{V} (2(p_1 - p(t)) \rho^a(t))^{\frac{1}{2}} R T} \quad (9)$$

[00118] Parametry pro konkrétní situaci

$$p_0 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_1 = 2.1 \cdot 10^6$$

$$R = 287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$T = 283 \text{ K}$$

$$V = 2 \text{ m}$$

$$A_1 = 0.00053 \text{ m}^2$$

$$l_1 = 3 \text{ cm}$$

[00119] Počáteční podmínky

$$p(0) = 10^5 \text{ Pa}$$

[00120] Doba trvání tohoto procesu $t = 15$ sekund a v tomto okamžiku je dosaženo hodnot.

$$p(t) = 2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

[00121] Rovnice (4), (8) a (9) jsou základním nástrojem pro nastavení parametrů pro přípravnou fázi poháněcí komory 5 před uzavřením ventilu 11 stlačeného vzduchu a spuštěním vodní turbíny. 4

[00122] Model procesu vypouštění vody na turbínu

[00123] V této části si zformulujeme a implementujeme model vypouštění vody z poháněcí komory 5 na vodní turbínu 4. Voda je hnána na turbínu 4 silou stlačeného vzduchu, který se rozpíná a ochlazuje. Jsou odvozeny všechny potřebné rovnice nastaveny parametry pro tento proces, který slouží ke generování elektrické energie. Odvodíme základní rovnice, které popisují roztažení stlačeného vzduchu, který tlačí vodu na turbínu 4. Rovnice umožní nastavit parametry pro chod zařízení jako průměr trysky a výkon celého zařízení.

[00124] Nomenklatura

$T(t)$ teplota vzduchu v poháněcím válci $[K]$

T_0 teplota vody v poháněcí komoře $[K]$

ρ^w hustota vody $[kg\ m^{-3}]$

$v(t)$ rychlost proudění vody ve trubce 19 $[m\ s^{-1}]$

R plynová konstanta pro vzduch $[J\ kg^{-1}K^{-1}]$

C^a měrná tepelná kapacita vzduchu za stálého objemu $[J\ kg^{-1}K^{-1}]$

A_3 plošný průřez trubky/trysky 19 $[m^2]$

l_3 průřez trubky/trysky 19 $[cm]$

P_v plošný průřez poháněcího válce 5 $[m^2]$

O_v obvod poháněcího válce 5 $[m]$

h koeficient přestupu tepla do vzduchu $[Wm^{-2}\ K^{-1}]$

M hmotnost vzduchu v poháněcím válci $[kg]$

$V(t)$ objem vzduchu v poháněcím válci $[m^3]$

$Q(t)$ tok tepelné energie přes stěny poháněcího válce $[W]$

[00125] Odvození rovnic se opírá o Bernoulliho rovnici pro proudění vody z poháněcí komory přes potrubí 19 na vodní turbínu 4. Tato rovnice je vyjádřena následujícím vztahem:

$$[00126] \quad p_0 + \frac{1}{2} \rho^w v^2(t) = p(t) .$$

[00127] Dále o stavovou rovnici pro vzduch v poháněcí komoře 5 ve tvaru:

$$[00128] \quad \frac{d p(t)}{d t} V(t) + p(t) \frac{d V(t)}{d t} = M R \frac{d T(t)}{d t}$$

[00129] a rovnici pro zachování energii pro vzduch v poháněcí komoře 5:

$$[00130] \quad M C^a \frac{d T(t)}{d t} + p(t) \frac{d V(t)}{d t} = Q(t) .$$

[00131] Budeme rozlišovat dva případy, kdy stěny poháněcí komory 5 jsou tepelně izolované,
kdy:

$$[00132] \quad Q(t) = 0$$

[00133] a kdy dochází k přestupu tepla z vody ve vodní nádrži 1 do vzduchu v poháněcí komoře
5.

[00134] Izolovaná poháněcí komora 5

[00135] Z Bernouliho rovnice vyplývá vztah pro proudění rychlost proudění vody přes potrubí
19 následující vztah:

$$[00136] \quad v(t) = \left(\frac{2(p(t) - p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}},$$

[00137] z kterého vyplývá:

$$[00138] \quad \frac{d v(t)}{d t} = A \left(\frac{2(p(t) - p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

[00139] Poté ze stavové rovnice pro vzduch a rovnice zachování energie se dají snadno odvodit
následující dvě rovnice:

$$[00140] \quad \frac{d T(t)}{d t} = - \frac{A}{M C^a} p(t) \left(\frac{2(p(t) - p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (11)$$

$$[00141] \quad \frac{d p(t)}{d t} = -A \left(\frac{R}{C^a} + 1 \right) \frac{p(t)}{v(t)} \left(\frac{2(p(t) - p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

[00142] Po snadných úpravách máme následující soustavu základních rovnic popisující plyn
v poháněcím válci.

$$[00143] \quad \frac{d v(t)}{d t} = A \left(\frac{2(p(t) - p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (13)$$

$$[00144] \quad \frac{d p(t)}{d t} = -A \left(\frac{R}{C^a} + 1 \right) \frac{p(t)}{v(t)} \left(\frac{2(p(t) - p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}},$$

[00145] $MRT(t) = V(t)p(t).$

[00146] Poháněcí komora 5 připouštějící přestup tepla

[00147] V tomto případě budeme předpokládat, že dochází k přestupu tepla z vody ve vodní nádrži 1 do vzduchu v poháněcí komoře, potom platí vztah:

[00148] $Q(t) = h (T(t) - T_0) \left(2 P_v + V(t) \frac{O_v}{P_v} \right)$

[00149] Potom rovnice (11) a (12) můžeme přepsat do následujícího tvaru:

[00150] $\frac{dT(t)}{dt} = -\frac{A}{MC^a} p(t) \left(\frac{2(p(t)-p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{h}{MC^a} (T(t) - T_0) \left(2 P_v + V(t) \frac{O_v}{P_v} \right)$ (14)

[00151] $\frac{dp(t)}{dt} = -A \left(\frac{R}{C^a} + 1 \right) \frac{p(t)}{V(t)} \left(\frac{2(p(t)-p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{hR}{C^a V(t)} (T(t) - T_0) \left(2 P_v + V(t) \frac{O_v}{P_v} \right)$ (15)

[00152] Po snadných úpravách máme následující soustavu základních rovnic popisující plyn v poháněcí komoře 5 popisující i přestup tepla z vody ve vodní nádrži 1 do vzduchu v poháněcí komoře 5.

[00153] $\frac{dV(t)}{dt} = A \left(\frac{2(p(t)-p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}},$ (16)

[00154] $\frac{dp(t)}{dt} = -A \left(\frac{R}{C^a} + 1 \right) \frac{p(t)}{V(t)} \left(\frac{2(p(t)-p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{hR}{C^a V(t)} \left(\frac{V(t)p(t)}{MR} - T_0 \right) \left(2 P_v + V(t) \frac{O_v}{P_v} \right),$

[00155] $MRT(t) = V(t)p(t),$

[00156] $Q(t) = h (T(t) - T_0) \left(2 P_v + V(t) \frac{O_v}{P_v} \right).$

[00157] Pro posouzení efektivity tohoto procesu hraje zásadní roli tyto tři parametry

$P(t)$ okamžitý výkon při vypouštění [W]

PP průměrný výkon při vypouštění [W]

CW celková práce při vypouštění válce [J]

CQ celkový přestup tepla při vypouštění válce [J]

[00158] Ze vztahu (10) vyplývá:

$$[00159] \quad P(t) = p(t)A \left(\frac{2(p(t)-p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}}$$

[00160] Jestliže doba vypouštění poháněcí komory 5 je τ potom :

$$[00161] \quad CW = \int_0^\tau P(t) dt$$

$$[00162] \quad CQ = \int_0^\tau Q(t) dt$$

$$[00163] \quad PP = CW/\tau$$

[00164] Volba parametrů pro konkrétní situaci

$$T_0 = 303 \text{ K}$$

$$\rho^w = 1000 \text{ kg m}^{-3}$$

$$R = 287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$A_3 = 0.0024 \quad 0.0026 \quad 0.0027 \text{ m}^2$$

$$l_3 = 5.5 \quad 5.7 \quad 5.8 \text{ cm}$$

$$P_v = 1 \text{ m}^2$$

$$O_v = 3.5 \text{ m}$$

$$h = 100 \quad 50 \quad 25 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

$$M = 49.5 \text{ kg}$$

[00165] Počáteční podmínky

$$p(0) = 2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$V(0) = 2 \text{ m}^3$$

$$T(0) = 283 \text{ K}$$

[00166] Doba trvání vypouštění poháněcí komory 5 je $\tau = 60$ sekund a ostatní parametry jsou nastaveny tak aby

$$V(\tau) = 7 \text{ m}^3.$$

[00167] Rovnice (16) jsou základním nástrojem pro nastavení parametrů pro fázi uvolňování energie ze stlačeného vzduchu. Jsou studovány tři hodnoty parametru h a to hodnoty 100, 50, 25 $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$. Hodnota 25 odpovídá situaci s hladkými stěnami poháněcí komory 5 a tato hodnota je obvyklá pro přestup tepla do vzduchu. Další hodnoty 50, 100 odpovídají

situaci, kdy povrch poháněcí komory 5 je opatřen ocelovými deskami připevněnými na poháněcí komoru 5, jak je znázorněno na Obr. 11. Plocha těchto desek je potom dvojnásobkem nebo čtyřnásobkem plochy hladké poháněcí komory 5. Následující tabulka, jak je třeba nastavit parametr A_3 v závislosti na parametru h , aby objem vzduchu $V(\tau)$ dosáhl hodnoty $7m^3$ a jakých hodnot dosahují parametry modelované rovnicemi (16).

[00168]

h	100	50	25
A_3	0.0024	0.0026	0.0027
l_3	5.5	5.7	5.8
$p(\tau)$	$5.5 \cdot 10^5$	$4.9 \cdot 10^5$	$4.4 \cdot 10^5$
$T(\tau)$	274	246	218
PP	$7.5 \cdot 10^4$	$7.2 \cdot 10^4$	$6.9 \cdot 10^4$
CQ	$3.8 \cdot 10^5$	$2.6 \cdot 10^5$	$1.5 \cdot 10^5$
ΔT	0.0028	0.0019	0.0011
ΔDT	4	2.8	1.6

Tabulka 1.

[00169] Jednotky u všech parametrů odpovídají jednotkám uvedeným v nomenklatuře. Poslední dva parametry ΔT a ΔDT odpovídají úbytku teploty vody ve vodní nádrži 1 v důsledku přestupu tepla do vzduchu v poháněcí komoře 5. První parametr odpovídá časovému intervalu 60 sekund a druhý 24 hodinám. Toto je možné spočítat z množství vody ve vodní nádrži 1, které činí 32 000 kg, hodnoty CQ a z měrné teplotní kapacity vody $C^W = 4180 J kg^{-1} K^{-1}$. Uvolňování energie předchází stlačování vzduchu, který se zahřívá, ochlazuje se průchodem tepelným výměníkem 15 a teplo se ukládá ve vodě ve vodní nádrži 1.

[00170] Regulace výkonu turbíny

[00171] Když se podíváme na průběh výkonu vodní turbíny 4 na Obr. 12 při konstantním průměru trysky, vidíme, že tento výkon se mění v průběhu vypouštění poháněcí komory 5. Pokud chceme konstantní výkon, můžeme instalovat několik zařízení, která pracují souběžně, ale jsou posunutá v čase. Druhá možnost je měnit průřez potrubí 19 tak, aby výkon turbíny 4 byl v čase konstantní a použít trysku s regulovatelným průřezem, která je například znázorněna na Obr. 13. Zformulujme si rovnice zobrazující průměr trysky turbíny 4 při vypouštění poháněcí komory 5 za předpokladu konstantního výkonu po dobu vypouštění. Tyto rovnice jsou podobné

se soustavou (16), pouze jsou doplněny o rovnici, která popisuje změnu průřezu potrubí 19 v čase tak, aby zařízení produkovalo konstantní výkon. Označení všech parametrů jsou stejná jako pro rovnice (16) pouze průřez potrubí 19 se mění v čase.

[00172] Nomenklatura

$A(t)$ proměnlivý průřez trysky 14 na trubce 19 [m^2]

PC konstantní výkon zařízení [W]

[00173] Rovnici (10), která je odvozena pro konstantní průřez potrubí 19 můžeme přepsat do následujícího tvaru:

$$[00174] \quad \frac{dV(t)}{dt} = A(t) \left(\frac{2(p(t) - p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}}$$

[00175] Výkon zařízení můžeme vyjádřit výrazem:

$$[00176] \quad P(t) = p(t) \frac{dV(t)}{dt}$$

[00177] Pokud výkon zařízení zachovávat konstantní hodnotu PC , potom pro průřez potrubí 19, respektive trysky ústící na turbínu 4, platí následující rovnice:

$$[00178] \quad A(t) = PC \frac{(\rho^w)^{\frac{1}{2}}}{p(t)(2(p(t) - p_0))^{\frac{1}{2}}}$$

[00179] Když tuto poslední rovnici doplníme do soustavy (16) máme soustavu (17), která nám umožňuje modelovat průřez trysky tak, aby výkon zařízení byl konstantní.

[00180]	$\frac{dV(t)}{dt} = A(t) \left(\frac{2(p(t) - p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (17)$
[00181]	$\frac{dp(t)}{dt} = -A(t) \left(\frac{R}{c^a} + 1 \right) \frac{p(t)}{V(t)} \left(\frac{2(p(t) - p_0)}{\rho^w} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{hR}{c^a V(t)} \left(\frac{V(t)p(t)}{MR} - T_0 \right) \left(2P_v + V(t) \frac{O_v}{P_v} \right),$
[00182]	$MRT(t) = V(t)p(t),$
[00183]	$Q(t) = h(T(t) - T_0) \left(2P_v + V(t) \frac{O_v}{P_v} \right)$
[00184]	$A(t) = PC \frac{(\rho^w)^{\frac{1}{2}}}{p(t)(2(p(t) - p_0))^{\frac{1}{2}}}$

[00185] Modely procesů probíhající v zařízeních popsaných v třetím a čtvrtém příkladu

[00186] V této části popisu je znázorněn průběh procesů popsaných výše pro parametry uvedené v třetím a čtvrtém příkladu. Jedná se o grafy, které se opírají o modely implementované v jazyce MATLAB. Jedná se o numerické řešení rovnic zformulovaných v této části popisu. Těmto modelům se věnují obrázky 17 až 26.

[00187] Předložené matematické modely mohou být použity pro návrh zařízení pro konkrétní podmínky. Například podle toho, jaký objem komory na stlačený vzduch máme k dispozici nebo jaký výkon očekáváme.

Přehled obrázku na výkresech

- Obr. 1: Boční pohled na zařízení pro ukládání energie
- Obr. 2: Půdorys zařízení pro ukládání energie
- Obr. 3: Počáteční stav procesu uvolňování energie
- Obr. 4: První fáze procesu uvolňování energie
- Obr. 5: Druhá fáze procesu uvolňování energie
- Obr. 6: Třetí fáze procesu uvolňování energie
- Obr. 7: Lamely zvyšující přestup tepla z vody do vzduchu
- Obr. 8: Tlak vzduch v poháněcím válci v procesu vypouštění vzduchu a napouštění vody
- Obr. 9: Výška hladiny vody v poháněcím válci v procesu vypouštění vzduchu a napouštění vody
- Obr. 10: Tlak vzduchu v poháněcím válci v procesu plnění stlačeným vzduchem
- Obr. 11: Teplota vzduchu v poháněcím válci, Plná čára, přerušovaná čára a tečkovaná čára jsou průběhy teploty pro hodnoty $h = 100, 50, 25 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.
- Obr. 12: Okamžitý výkon v průběhu expanze stlačeného vzduchu v poháněcí komoře 5. Plná čára, přerušovaná čára a tečkovaná čára jsou průběhy výkonu pro hodnoty $h = 100, 50, 25 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
- Obr. 13: Příklad regulovatelné trysky pro přívod vody na turbínu
- Obr. 14: Změna průměru trysky v časovém intervalu 60s s koeficientem přestupu tepla $h = 100 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ a průměrným výkonem $8.1 \cdot 10^4 \text{ W}$.
- Obr. 15: Změna teploty v časovém intervalu 60s s koeficientem přestupu tepla $h = 100 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ a průměrným výkonem $8.1 \cdot 10^4 \text{ W}$.
- Obr. 16: Změna tlaku vzduchu v časovém intervalu 60s s koeficientem přestupu tepla $h = 100 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ a průměrným výkonem $8.1 \cdot 10^4 \text{ W}$.
- Obr. 17: Časový průběh výšky hladiny vody v poháněcí komoře 5 v procesu vypouštění vzduchu a napouštění vody v třetím příkladu.
- Obr. 18: Časový průběh tlaku vzduchu v poháněcí komoře 5 v procesu plnění stlačeným vzduchem v třetím příkladu.
- Obr. 19: Časový průběh objemu vzduchu v poháněcí komoře 5 v procesu jeho rozpínání, kdy je vytlačována voda na turbínu. Třetí příklad.
- Obr. 20: Časový průběh teploty vzduchu v poháněcí komoře při jeho expanzi, kdy je voda tlačena na turbínu 4. Třetí příklad pro hodnotu koeficientu přestupu tepla $h = 100 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

Obr. 21: Časový průběh změny průřezu trysky pro třetí příklad při konstantním výkonu je $P = 2 \cdot 10^6 W$.

Obr. 22: Časový průběh výšky hladiny vody v poháněcí komoře v procesu vypouštění vzduchu a napouštění vody ve čtvrtém příkladu.

Obr. 23: Časový průběh tlaku vzduchu v poháněcí komoře 5 v procesu plnění stlačeným vzduchem ve čtvrtém příkladu.

Obr. 24: Časový průběh objemu vzduchu v poháněcí komoře 5 v procesu jeho rozpínání, kdy je vytlačována voda na turbínu 4. Čtvrtý příklad.

Obr. 25: Časový průběh teploty vzduchu v poháněcí komoře při jeho expanzi, kdy je voda tlačena na turbínu 4. Čtvrtý příklad pro hodnotu koeficientu přestupu tepla $h = 25 W m^{-2} K^{-1}$.

Obr. 26: Časový průběh výkonu zařízení pro čtvrtý příklad. Průměr trysky je konstantní a je roven $0.3 cm$ a průměrný výkon zařízení je $81 W$.

Příklady provedení vynálezu

[00188] Následující příklady jsou demonstrací funkčnosti popsaného zařízení a popsaného způsobu nehledě na dimenzování jednotlivých částí zařízení. Dimenzování lze upravit za základě rovnic uvedených v Podstatě vynálezu.

Příklad 1 Kolísavý výkon

[00189] Tento příklad popisuje zařízení na výrobu elektrické energie ze stlačeného vzduchu. Toto zařízení se skládá ze dvou poháněcích komor 5 tvaru válce o průřezu 1 m^2 a výšce $7,5\text{ m}$. Tyto dvě poháněcí komory 5 jsou umístěny ve vodní nádrži 1, která je naplněna vodou o objemu 32 m^3 . Výška vodní hladiny 3 ve vodní nádrži 1 je 1 m nad víkem poháněcích komor 5. Poháněcí komory 5 jsou osazeny čtyřmi ventily, a to napouštěcím ventilem 10 situovaným ve dně poháněcí komory 5, dále ventilem 14 vodní turbíny situovaným na potrubí 19 ústícím na jedné straně u dna poháněcí komory ve výšce $0,5\text{ m}$ a na druhé straně ústícím na vodní turbínu 4 napojenou na elektrický generátor 20, odvzdušňovacím ventilem 12 situovaným na odvzdušňovacím potrubí 18 ústícím na jedné straně ve víku poháněcí komory 5 a na druhé straně volně ústícím do atmosféry a ventilem 11 stlačeného vzduchu situovaným na potrubí 13 pro přívod stlačeného vzduchu z komory 17 na stlačený vzduch do poháněcí komory 5. Napouštěcí ventily 10 obou poháněcích komor 5 jsou samočinné jednocestné talířové a jejich průměr je 25 cm . Průměr odvzdušňovacího potrubí 18 pro vypouštění vzduchu po expanzi z poháněcí komory 5 do atmosféry je 5 cm . Průměr potrubí 13 pro přívod stlačeného vzduchu z komory 17 na stlačený vzduch do poháněcí komory 5 je 3 cm . Průměr potrubí 19 ústícím na vodní turbínu 4 je $5,5\text{ cm}$. Teplota vody ve vodní nádrži 1 je 303 K . Na tuto teplotu se voda ohřeje při plnění komory 17 na stlačený vzduch, kdy během komprese vzduchu pomocí kompresoru 16 dochází k jeho ohřívání a k přestupu tepla z ohřátého vzduchu z kompresoru 16 přes výměník 15 do vody ve vodní nádrži 1. Následující hodnoty byly vypočítány na základě rovnic uvedených v Podstatě vynálezu a ověřeny empiricky: maximální výška hladiny d_{max} v poháněcí komoře 5 je $5,5\text{ m}$. Minimální výška hladiny v poháněcí komoře 5 d_{min} je $0,5\text{ m}$. Maximální tlak p_{max} v poháněcí komoře 5 je $2 \cdot 10^6\text{ Pa}$. Minimální tlak p_{min} v poháněcí komoře 5 je $5 \cdot 10^5\text{ Pa}$. Při výše uvedených parametrech trvá vypouštění stlačeného vzduchu a napouštění vody do poháněcí komory 5 30 s , napouštění stlačeného vzduchu z komory 17 na stlačený vzduch do poháněcí komory 5 trvá 15 s . Tlak vzduchu v komoře 17 na stlačený vzduch nesmí klesnout pod $2,1 \cdot 10^6\text{ Pa}$. Při výše zmíněném průměru potrubí 19 ústícím na vodní turbínu 4 je doba vypouštění vody z poháněcí komory 5 na vodní turbínu 4 60 s .

[00190] Výkon tohoto zařízení je kolísavý, jelikož závisí na tlaku a průtoku vody proudící z poháněcí komory 5 na vodní turbínu 4. Jelikož proud vody roztáčející vodní turbínu 4 není regulován, má proudící voda nejprve vysoký tlak i objemový průtok a s postupným vyprazdňováním poháněcí komory 5 tlak vody klesá a s ním i objemový průtok. Vodní turbína 4 se tedy nejprve točí rychleji a postupně zpomaluje. Což má za následek i pokles výkonu generovaného elektrickým generátorem 20 napojeným na vodní turbínu 4. Průměrný výkon zařízení je $7,5 \cdot 10^4 W$, což odpovídá průměrné spotřebě elektrické energie pro 340 obyvatel v ČR. Při hladkém povrchu poháněcí komory 5 teplota expandovaného vzduchu v poháněcí komoře 5 po vypuštění vody na turbínu 4 poklesne o 55 K. Jestliže na vnitřním povrchu poháněcí komory 5 jsou instalovány vodivé lamely, jak je znázorněno na Obr. 7, pak celková vnitřní plocha poháněcí komory 5 je čtyřnásobkem plochy hladké poháněcí komory 5, poklesne teplota vzduchu pouze o 9 K. Při výše zmíněných parametrech poklesne teplota vody ve vodní nádrži 1 po celodenním provozu o 1,5 K v případě hladké poháněcí komory 5 a o 4 K v případě poháněcí komory 5 opatřené vodivými lamelami. Pokud má komora 17 pro stlačený vzduch objem $1200 m^3$, na počátku je tlak v komoře 17 na stlačený vzduch $7 \cdot 10^6 Pa$, je možné čerpat výše zmíněný výkon po dobu 24 hodin.

Příklad 2 Konstantní výkon

[00191] Tento příklad je modifikací příkladu 1 a popisuje zařízení na výrobu elektrické energie ze stlačeného vzduchu s konstantním výkonem. Toto zařízení se také skládá ze dvou poháněcích komor tvaru válce o průřezu $1 m^2$ a výšce 7,5 m. Tyto dvě poháněcí komory 5 jsou umístěny ve vodní nádrži 1, která je naplněna vodou o objemu $32 m^3$. Výška 3 vodní hladiny ve vodní nádrži 1 je 1 m nad víkem poháněcích komor 5. Průměr napouštěcích ventilů 10 je 25 cm. Průměr odvodu vzduchu potrubí 18 pro vypouštění vzduchu z poháněcí komory 5 do atmosféry je 5 cm. Toto potrubí ústí do poháněcí komory ve výšce 5,6 m. Průměr potrubí 13 pro přívod stlačeného vzduchu z komory na stlačený vzduch do poháněcí komory 5 je 3 cm. Teplota vody ve vodní nádrži 1 je 303 K. Na tuto teplotu se voda ohřeje při plnění komory 17 na stlačený vzduch, kdy dochází k přestupu tepla z ohřátého vzduchu z kompresoru 16 přes výměník 15 do vody ve vodní nádrži 1. Maximální výška hladiny d_{max} v poháněcí komoře 5 je 5,5 m. Minimální výška hladiny d_{min} v poháněcí komoře 5 je 0,5 m. Maximální tlak p_{max} v poháněcí komoře 5 je $2 \cdot 10^6 Pa$. Minimální tlak p_{min} v poháněcí komoře 5 je $5 \cdot 10^5 Pa$. Při výše uvedených parametrech trvá vypouštění vzduchu a napouštění vody do poháněcí komory 5 30 s, napouštění stlačeného vzduchu z komory 17 na stlačený vzduch do poháněcí

komory 5 trvá 15 s. Tlak vzduchu v komoře 17 na stlačený vzduch nesmí klesnout pod $2,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$. Potrubí 19 pro přívod vody na vodní turbínu 4 ústí do poháněcí komory 5 ve výšce 0,1 m a je na svém konci ústícím na vodní turbínu 4 opatřeno tryskou s variabilním průměrem. Tryska je zobrazena na Obr. 13. Průměr trysky se zvětšuje s poklesem tlaku vzduchu v poháněcí komoře 5, tedy s klesajícím tlakem vody proudící na vodní turbínu 4 se zvětšuje objemový průtok vody. Výkon zařízení je konstantní a činí $8,1 \cdot 10^4 \text{ W}$ po celou dobu vypouštění vody na vodní turbínu 4 a tato operace trvá 60 s. Tento výkon zařízení odpovídá průměrné spotřebě elektrické energie pro 370 obyvatel v ČR. Jestliže na vnitřním povrchu poháněcí komory 5 jsou instalovány vodivé lamely, jak je znázorněno na Obr. 7, a celková vnitřní plocha poháněcí komory 5 je čtyřnásobkem plochy hladké poháněcí komory 5, poklesne teplota vzduchu o 9 K. Při výše zmíněných parametrech poklesne teplota vody ve vodní nádrži po celodenním běhu o 4 K. Pokud má komora 17 pro stlačený vzduch objem 1200 m^3 a na začátku procesu je tlak v komoře 17 na stlačený vzduch $7 \cdot 10^6 \text{ Pa}$, pak je možné čerpat výše zmíněný výkon po dobu 24 hodin. Je třeba poznamenat, že tato varianta je efektivnější než varianta podle příkladu 1. Je však třeba automaticky regulovat průměr trysky situované na potrubí 19 ústícím na vodní turbínu 4 pro zajištění konstantní rychlosti otáčení vodní turbíny 4 napojené na elektrický generátor 20.

Příklad 3 Konstantní výkon

[00192] Tento příklad je modifikací příkladu 1 a popisuje zařízení na výrobu elektrické energie ze stlačeného vzduchu s konstantním výkonem. Na rozdíl od předcházejících příkladů je objem poháněcích komor 5 trojnásobný a tlak vzduchu v poháněcích komorách a v komoře na stlačený vzduch jsou vyšší. Toto zařízení se skládá ze dvou poháněcích komor tvaru kvádrů o průřezu 3 m^2 a výšce 7,5 m. Tyto dvě poháněcí komory 5 jsou umístěny ve vodní nádrži 1, která je naplněna vodou o objemu 92 m^3 . Výška 3 vodní hladiny ve vodní nádrži 1 je 1 m nad víkem poháněcích komor 5. Průměr napouštěcích ventilů 10 je 25 cm. Průměr odvodu vzduchu potrubí 18 pro vypouštění vzduchu z poháněcí komory 5 do atmosféry je 5 cm. Průměr potrubí 13 pro přívod stlačeného vzduchu z komory 17 na stlačený vzduch do poháněcí komory 5 je 3 cm. Teplota vody ve vodní nádrži 1 je 303 K. Na tuto teplotu se voda ohřeje při plnění komory 17 na stlačený vzduch, kdy dochází k přestupu tepla z ohřátého vzduchu z kompresoru 16 přes výměník 15 do vody ve vodní nádrži 1. Maximální výška hladiny d_{max} v poháněcí komoře 5 je 5,5 m. Minimální výška hladiny v poháněcí komoře 5 d_{min} je 0,5 m. Maximální tlak p_{max} v poháněcí komoře 5 je $5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$. Minimální tlak p_{min} v poháněcí komoře 5 je

$1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Při výše uvedených parametrech trvá vypouštění vzduchu a napouštění vody do poháněcí komory 5 110 s a napouštění stlačeného vzduchu z komory 17 na stlačený vzduch do poháněcí komory 5 trvá 40 s. Tlak vzduchu v komoře 17 na stlačený vzduch nesmí klesnout pod $5,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$. Průměr trysky situované na potrubí 19 je variabilní, způsob regulace průměru trysky je znázorněn na Obr. 13, a mění se tak, že průměr trysky se zvětšuje s poklesem tlaku vzduchu v poháněcí komoře 5. Přičemž výkon zařízení je $2 \cdot 10^6 \text{ W}$ po celou dobu vypouštění vody na vodní turbínu 4 a tato operace trvá 180 s. Tento výkon zařízení odpovídá průměrné spotřebě elektrické energie pro 9 100 obyvatel v ČR. Jestliže na vnitřním povrchu poháněcí komory 5 jsou instalovány vodivé lamely, jak je znázorněno na Obr. 7, a celková vnitřní plocha poháněcí komory 5 je čtyřnásobkem plochy hladké poháněcí komory 5, poklesne teplota vzduchu o 9 K. Při výše zmíněných parametrech poklesne teplota vody ve vodní nádrži 1 po celodenním běhu o 4 K. Pokud má komora 17 pro stlačený vzduch objem $2 800 \text{ m}^3$ a na začátku je tlak v komoře 17 na stlačený vzduch 10^7 Pa , je možné čerpat výše zmíněný výkon po dobu 24 hodin.

Příklad 4 Modelové zařízení pro demonstraci procesů

[00193] Tento příklad je modifikací Příkladu 1 a popisuje modelové zařízení pro demonstraci procesů popsaných v prvním příkladu. Toto zařízení se skládá ze dvou poháněcích komor 5 tvaru válce o průřezu $0,01 \text{ m}^2$ a výšce $0,75 \text{ m}$. Tyto dvě poháněcí komory jsou umístěny ve vodní nádrži 1, která je naplněna vodou o objemu $0,5 \text{ m}^3$. Výška 3 vodní hladiny ve vodní nádrži 1 je $0,3 \text{ m}$ nad víkem poháněcích komor 5. Průměr samočinných talířových napouštěcích ventilů 10 je $1,5 \text{ cm}$. Průměr potrubí 18 pro vypouštění vzduchu z poháněcí komory 5 do atmosféry je $0,5 \text{ cm}$. Průměr potrubí 13 pro přívod stlačeného vzduchu z komory 17 na stlačený vzduch do poháněcí komory 5 je $0,5 \text{ cm}$. Teplota vody ve vodní nádrži 1 je 303 K . Na tuto teplotu se voda ohřeje při plnění komory 17 na stlačený vzduch, kdy dochází k přestupu tepla z ohřátého vzduchu z kompresoru 16 přes výměník 15 do vody ve vodní nádrži 1. Průměr potrubí 19 vedoucího na vodní turbínu 4 je $0,3 \text{ cm}$. Maximální výška hladiny d_{max} v poháněcí komoře 5 je $0,55 \text{ m}$. Minimální výška hladiny v poháněcí komoře 5 d_{min} je $0,05 \text{ m}$. Maximální tlak p_{max} v poháněcí komoře 5 je $2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$. Minimální tlak p_{min} v poháněcí komoře 5 je $5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Při výše uvedených parametrech trvá vypouštění vzduchu a napouštění vody do poháněcí komory 5 20 s, napouštění stlačeného vzduchu z komory 17 na stlačený vzduch do poháněcí komory 5 trvá 8 s. Tlak vzduchu v komoře 17 na stlačený vzduch nesmí klesnout pod

$2,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$. Při výše zmíněném průměru potrubí 19 vedoucího na turbínu 4 je doba vypouštění vody z poháněcí komory 5 na vodní turbínu 4 60 s. Průměrný výkon zařízení je 81 W. Při hladkém povrchu poháněcí komory 5 teplota vzduchu v poháněcí komoře 5 po vypuštění vody na turbínu 4 stoupne na hodnotu 301 K. Při výše zmíněných parametrech poklesne teplota vody ve vodní nádrži 1 po celodenním provozu o 1,5 K.

Seznam vztahových značek

1. vodní nádrž
 3. hladina vody ve vodní nádrži 1
 4. vodní turbína
 5. poháněcí komora
 7. tlakové čidlo ukazující tlak vzduchu v poháněcí komoře 5
 8. tlakové čidlo ukazující tlak vody v poháněcí komoře 5
 10. napouštěcí ventil poháněcí komory 5
 11. ventil stlačeného vzduchu
 12. odvzdušňovací ventil
 13. potrubí pro přívod stlačeného vzduchu
 14. ventil vodní turbíny 4
 15. tepelný výměník
 16. kompresor
 17. komora na stlačený vzduch
 18. odvzdušňovací potrubí
 19. potrubí vodní turbíny 4
 20. elektrický generátor
-
- 5.1 první poháněcí komora v sadě dvou poháněcích komor
 - 5.2 druhá poháněcí komora v sadě dvou poháněcích komor
 - 10.1 napouštěcí ventil první poháněcí komory 5.1
 - 10.2 napouštěcí ventil druhé poháněcí komory 5.2
 - 11.1 ventil stlačeného vzduchu první poháněcí komory 5.1
 - 11.2 ventil stlačeného vzduchu druhé poháněcí komory 5.2
 - 12.1 odvzdušňovací ventil první poháněcí komory 5.1
 - 12.2 odvzdušňovací ventil druhé poháněcí komory 5.2
 - 13.1 potrubí pro přívod stlačeného vzduchu první poháněcí komory 5.1
 - 13.2 potrubí pro přívod stlačeného vzduchu druhé poháněcí komory 5.2
 - 14.1 ventil vodní turbíny 4 první poháněcí komory 5.1
 - 14.2 ventil vodní turbíny 4 druhé poháněcí komory 5.2
 - 19.1 potrubí vodní turbíny 4 první poháněcí komory 5.1
 - 19.2 potrubí vodní turbíny 4 druhé poháněcí komory 5.2

Průmyslová využitelnost

[00194] ukládání elektrické energie v době přebytku a uvolňování v době špiček ve spotřebě elektrické energie, efektivní využití alternativních zdrojů elektrické energie jako jsou fotovoltaické panely a větrné elektrárny, jejichž provoz je závislý na počasí

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Zařízení pro opakované uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a její opětovné řízené uvolnění vyznačující se tím, že zařízení obsahuje vodní nádrž (1), alespoň jednu sadu dvou poháněcích komor (5), komoru (17) na stlačený vzduch, kompresor (16), vodní turbínu (4) a elektrický generátor (20), přičemž ve vodní nádrži (1) je uložena alespoň jedna sada dvou poháněcích komor (5), přičemž vnitřní prostor každé poháněcí komory (5) je propojen s vnitřním prostorem vodní nádrže (1) napouštěcím ventilem (10) umístěným ve dně poháněcí komory (5) a dále je vnitřní prostor poháněcí komory (5) propojen potrubím (13) přes ventil (11) stlačeného vzduchu s komorou (17) na stlačený vzduch, dále je vnitřní prostor každé poháněcí komory (5) propojen s okolním prostředím odvzdušňovacím ventilem (12) a vnitřní prostor každé poháněcí komory (5) je u svého dna propojen s potrubím (19) vedoucím přes ventil (14) a ústícím na vodní turbínu (4), která je napojená na elektrický generátor (20), přičemž vnitřní prostor komory (17) na stlačený vzduch je potrubím napojen na kompresor (16) pro přívod stlačeného vzduchu.
2. Zařízení podle nároku 1 vyznačující se tím, že napouštěcí ventil (10) je jednocestný.
3. Zařízení podle nároku 1 vyznačující se tím, že poháněcí komora (5) má výšku větší než šířku.
4. Zařízení podle nároku 3 vyznačující se tím, že poháněcí komora (5) má tvar válce nebo kvádrů.
5. Zařízení podle nároku 1 vyznačující se tím, že vodní turbína (4) ústí do vodní nádrže (1).
6. Zařízení podle nároku 1 vyznačující se tím, že odvzdušňovací ventil (12) je s vnitřním prostorem poháněcí komory (5) spojen potrubím (18).
7. Zařízení podle nároku 1 vyznačující se tím, že výška vodní nádrže (1) je vyšší než výška poháněcích komor (5).

8. Zařízení podle nároku 1 vyznačující se tím, že obě poháněcí komory (5) v jedné sadě mají stejnou výšku.
9. Zařízení podle nároku 1 vyznačující se tím, že obsahuje tepelný výměník (15), který tepelně propojuje vnitřní prostor komory (17) na stlačený vzduch s vnitřním prostorem vodní nádrže (1).
10. Zařízení podle nároku 1 vyznačující se tím, že vnitřní prostor každé poháněcí komory (5) je propojen s potrubím (19) ve výšce maximálně $1/5$ celkové výšky poháněcí komory (5).
11. Zařízení podle nároku 10 vyznačující se tím, že vnitřní prostor každé poháněcí komory (5) je propojen s potrubím (19) ve výšce maximálně $1/20$ celkové výšky poháněcí komory (5).
12. Zařízení podle nároku 7 vyznačující se tím, že vodní nádrž (1) je naplněna vodou a alespoň jedna sada dvou poháněcích komor (5) je uložena ve vodní nádrži (1) pod vodní hladinou (3).
13. Zařízení podle nároku 12 vyznačující se tím, že v pracovním režimu je alespoň jedna poháněcí komora z každé sady dvou poháněcích komor (5) naplněna vodou.
14. Zařízení podle nároku 1 vyznačující se tím, že poháněcí komora (5) obsahuje čidlo tlaku vody situované u dna poháněcí komory (5) a/nebo čidlo tlaku vzduchu situované u víka poháněcí komory (5).
15. Zařízení podle nároku 12 vyznačující se tím, že čidlo tlaku vody je situované maximálně v $1/5$ celkové výšky poháněcí komory (5).
16. Zařízení podle nároku 12 vyznačující se tím, že čidlo tlaku vzduchu je situované minimálně ve výšce $4/5$ celkové výšky poháněcí komory (5).

17. Způsob opakovaného uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění pomocí zařízení podle nároku 1 vyznačující se tím, že první poháněcí komora (5.1) ze sady dvou poháněcích komor (5) je vyprázdněná a druhá poháněcí komora (5.2) ze sady dvou poháněcích komor je naplněna vodou a natlakována stlačeným vzduchem, přičemž odvzdušňovací ventil (12.1) a napouštěcí ventil ve dně (10.1) vyprázdněné první poháněcí komory (5.1) se otevřou, zároveň se otevře ventil (14.2) vodní turbíny (4) na potrubí (19.2) druhé poháněcí komory (5.2) a voda z druhé poháněcí komory (5.2) proudící z potrubí (19.2) roztáčí vodní turbínu (4) napojenou na elektrický generátor (20), přičemž po vyprázdnění druhé poháněcí komory (5.2) a naplnění první poháněcí komory (5.1) se uzavře odvzdušňovací ventil (12.1) a napouštěcí ventil (10.1) první poháněcí komory (5.1) a otevře se ventil (11.1) stlačeného vzduchu první poháněcí komory (5.1) napojený potrubím (13.1) na komoru (17) na stlačený vzduch, a ventil (11.1) se opět zavře po natlakování první poháněcí komory (5.1), zároveň se uzavře ventil (14.2) vodní turbíny (4) na potrubí (19.2) a otevře se odvzdušňovací ventil (12.2) a jednocestný napouštěcí ventil (10.2) druhé vyprázdněné poháněcí komory (5.2), zároveň se otevře ventil (14.1) vodní turbíny (4) na potrubí (19.1) první poháněcí komory (5.1) naplněné vodou a natlakované stlačeným vzduchem a voda z první poháněcí komory (5.1) proudící z potrubí (19.2) roztáčí vodní turbínu (4) napojenou na elektrický generátor (20), přičemž po vyprázdnění první poháněcí komory (5.1) a naplnění druhé poháněcí komory (5.2) se uzavře odvzdušňovací ventil (12.2) a napouštěcí ventil (10.2) druhé poháněcí komory (5.2), otevře se ventil (11.2) stlačeného vzduchu druhé poháněcí komory (5.2) napojený potrubím (13.2) na komoru (17) na stlačený vzduch, a ventil (11.2) se opět zavře po natlakování druhé poháněcí komory (5.2) a proces se opakuje.

18. Způsob opakovaného uskladnění a uvolnění energie podle nároku 17 vyznačující se tím, že napouštěcí ventil (10.1) první poháněcí komory a napouštěcí ventil (10.2) druhé poháněcí komory je jednocestný.

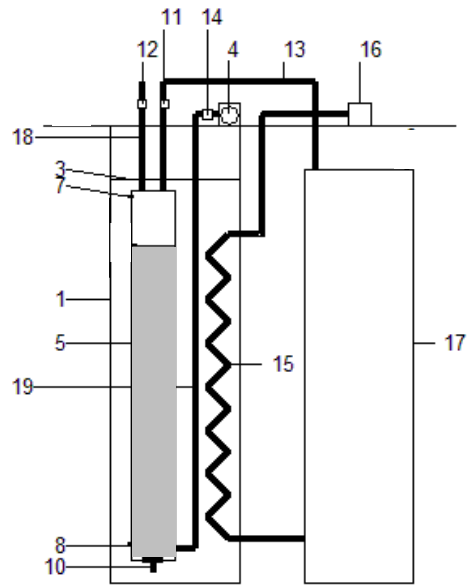
19. Způsob opakovaného uskladnění a uvolnění energie podle nároku 17 vyznačující se tím, že elektrický generátor (20) produkuje výkon, který se reguluje tlakem a průtokem vody proudící potrubím (19.1, 19.2) na vodní turbínu (4).

20. Způsob opakovaného uskladnění a uvolnění energie podle nároku 17 vyznačující se tím, že vyprazdňování první poháněcí komory (5.1) v sadě dvou poháněcích komor (5) je časově stejně dlouhé nebo delší než naplnění druhé poháněcí komory (5.2) vodou a její natlakování a zároveň vyprazdňování druhé poháněcí komory (5.2) v sadě dvou poháněcích komor (5) je časově stejně dlouhé nebo delší než naplnění první poháněcí komory (5.1) vodou a její natlakování.
21. Použití stlačeného vzduchu pro řízené uvolnění energie uložené ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění vytlačením vody z uzavřeného prostoru, kdy proudící vytlačovaná voda roztáčí vodní turbínu (4) napojenou na elektrický generátor (20) generující elektrický proud.
22. Použití vody jako média pro přenos energie uložené ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění vytlačením vody tlakem stlačeného vzduchu z uzavřeného prostoru, kdy proudící vytlačovaná voda roztáčí vodní turbínu (4) napojenou na elektrický generátor (20) generující elektrický proud.

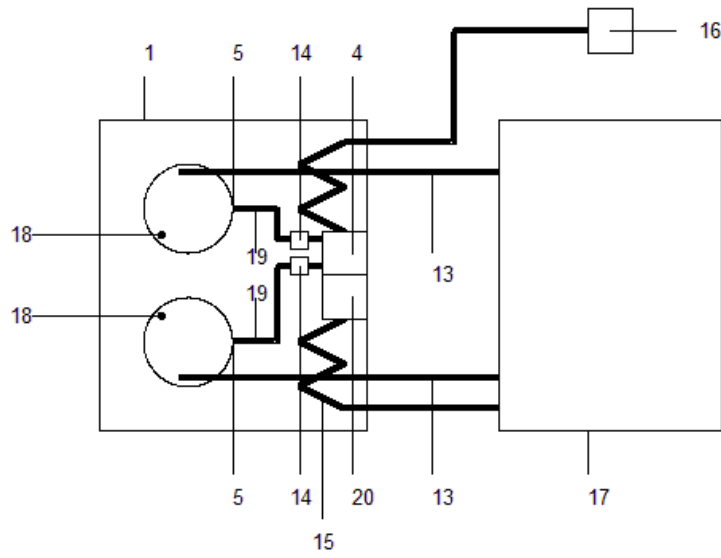
A n o t a c e

Zařízení pro opakované uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a její opětovné řízené uvolnění a způsob opakovaného uskladnění energie ve formě stlačeného vzduchu a jejího opětovného řízeného uvolnění pomocí tohoto zařízení

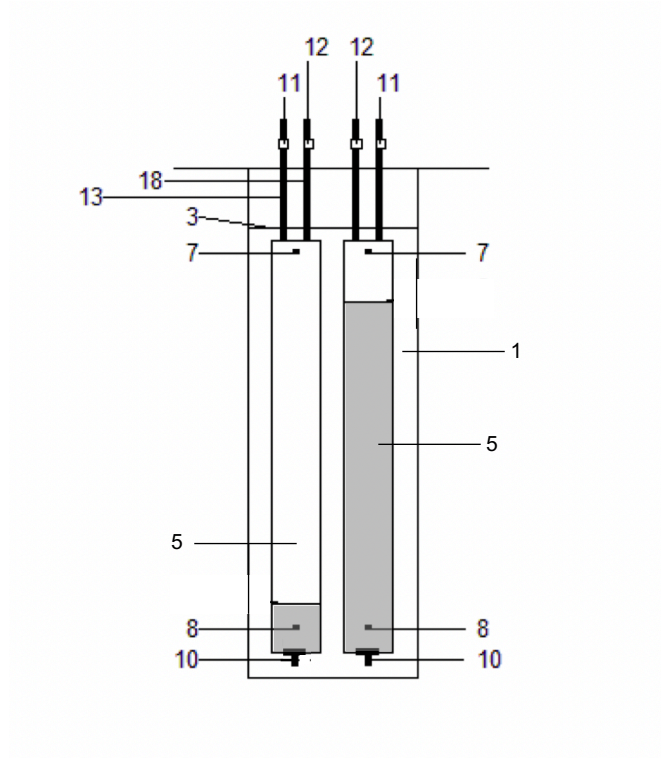
Zařízení obsahuje vodní nádrž (1), alespoň jednu sadu dvou poháněcích komor (5), komoru (17) na stlačený vzduch, kompresor (16), vodní turbínu (4) a elektrický generátor (20), přičemž ve vodní nádrži (1) je uložena alespoň jedna sada dvou poháněcích komor (5), přičemž vnitřní prostor každé poháněcí komory (5) je propojen s vnitřním prostorem vodní nádrže (1) napouštěcím ventilem (10) umístěným ve dně poháněcí komory (5) a dále je vnitřní prostor poháněcí komory (5) propojen potrubím (13) přes ventil (11) stlačeného vzduchu s komorou (17) na stlačený vzduch, dále je vnitřní prostor každé poháněcí komory (5) propojen s okolním prostředím odvzdušňovacím ventilem (12) a vnitřní prostor každé poháněcí komory (5) je u svého dna propojen s potrubím (19) vedoucím přes ventil (14) a ústícím na vodní turbínu (4), která je napojená na elektrický generátor (20), přičemž vnitřní prostor komory (17) na stlačený vzduch je potrubím napojen na kompresor (16) pro přívod stlačeného vzduchu.



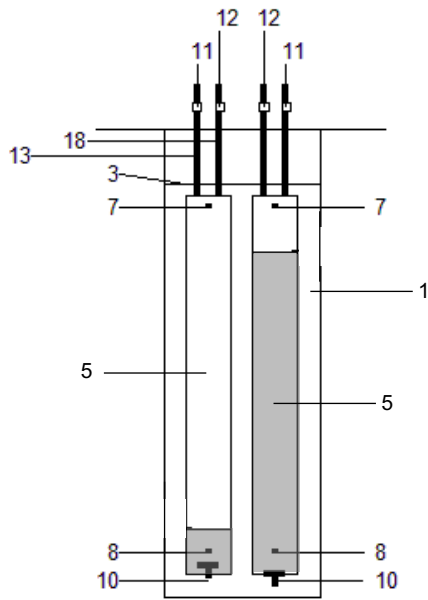
Obr. 1



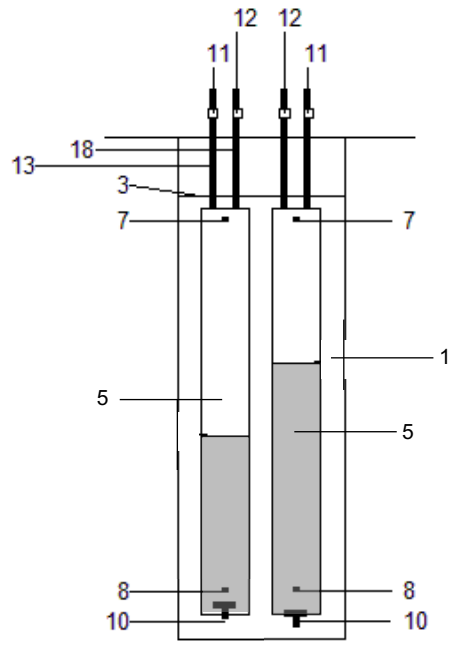
Obr. 2



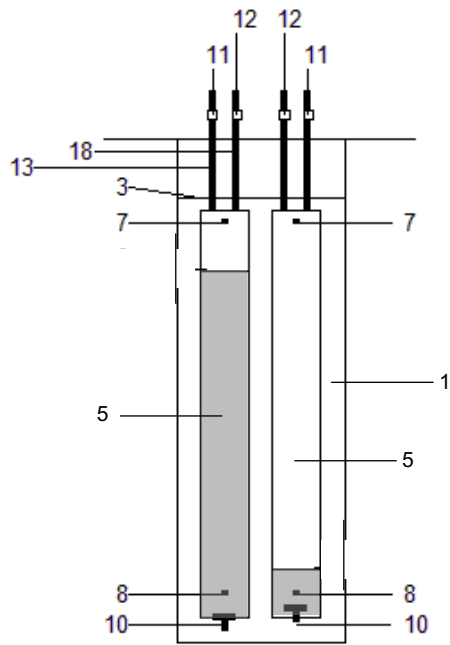
Obr. 3



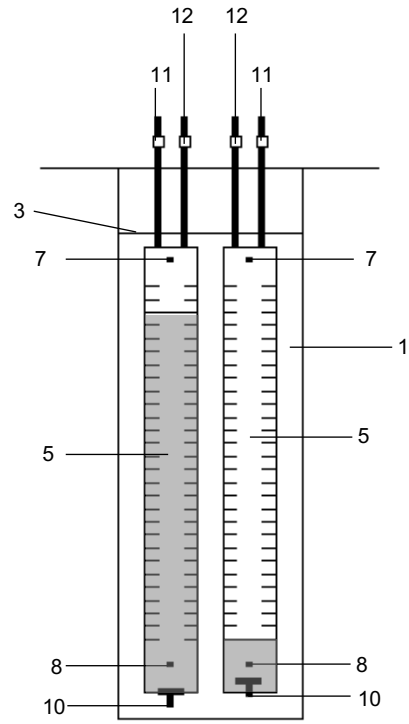
Obr. 4



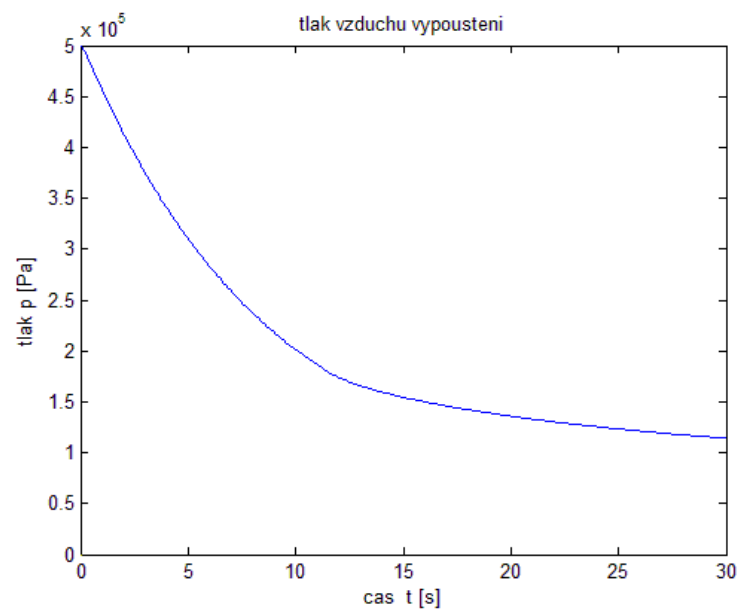
Obr. 5



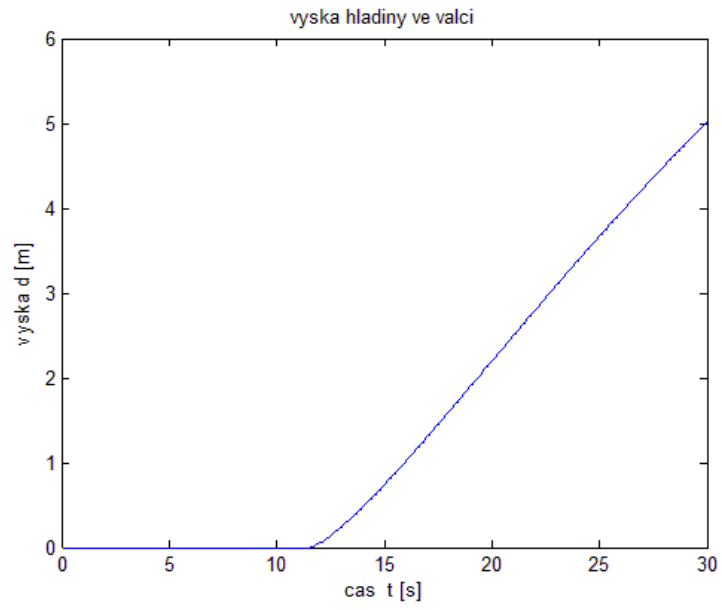
Obr. 6



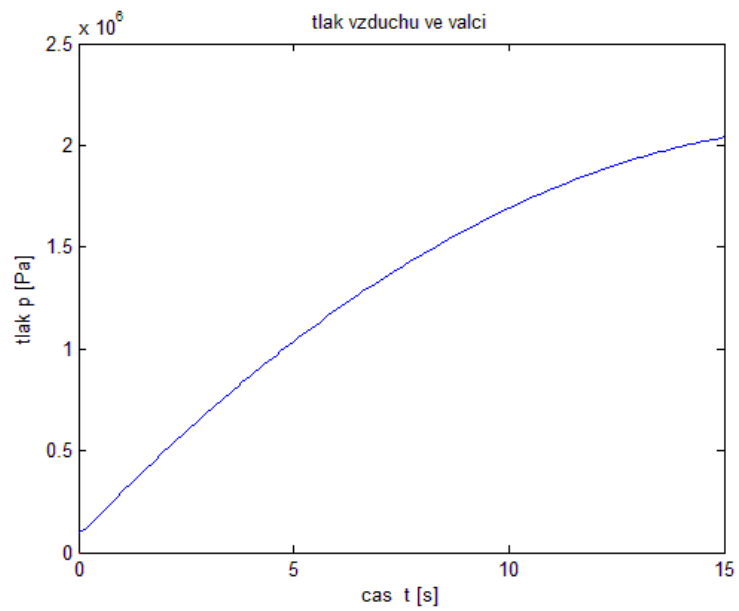
Obr. 7



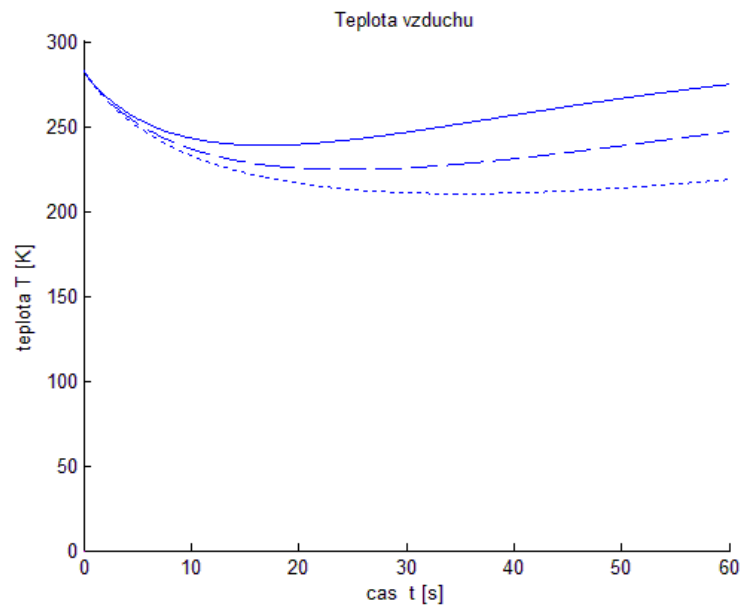
Obr. 8



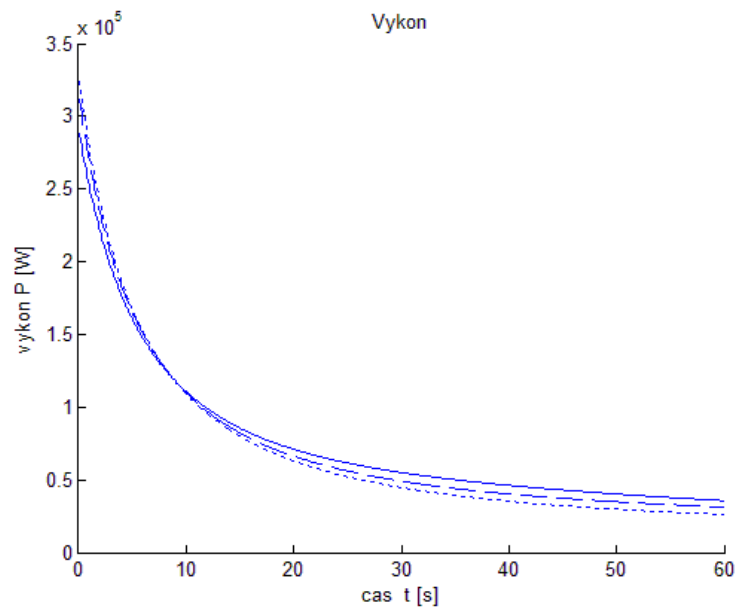
Obr. 9



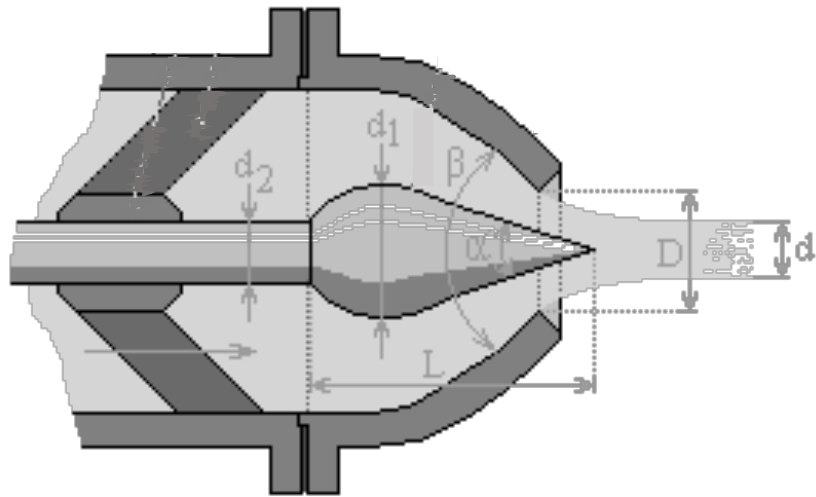
Obr. 10



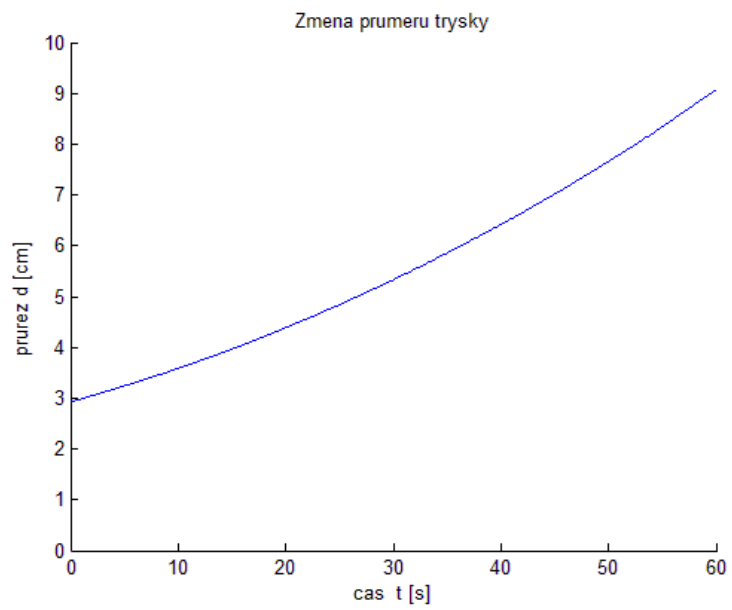
Obr. 11



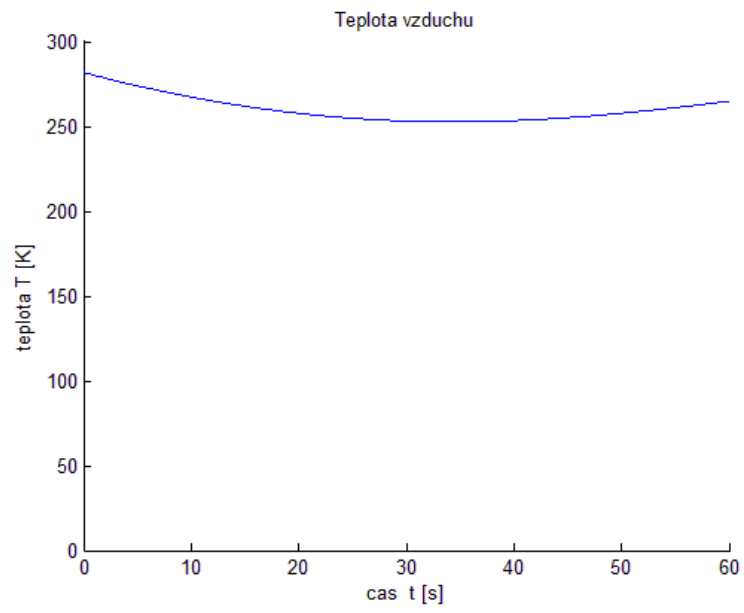
Obr. 12



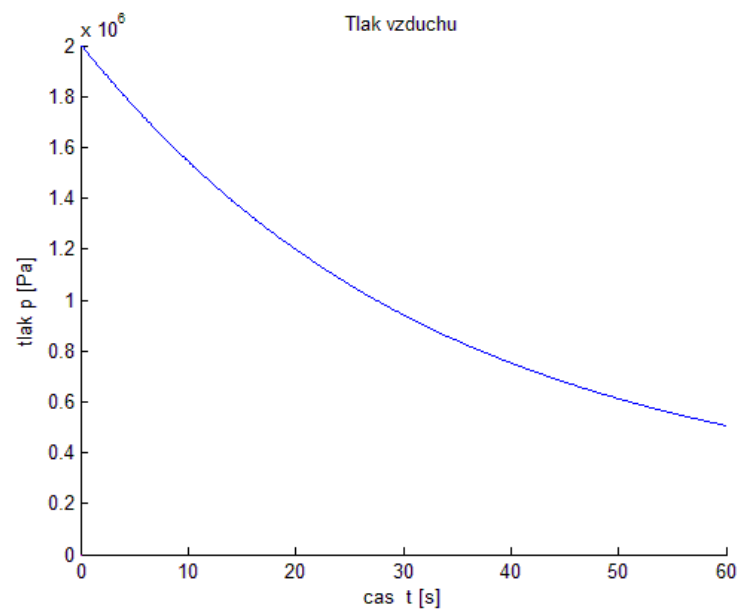
Obr. 13



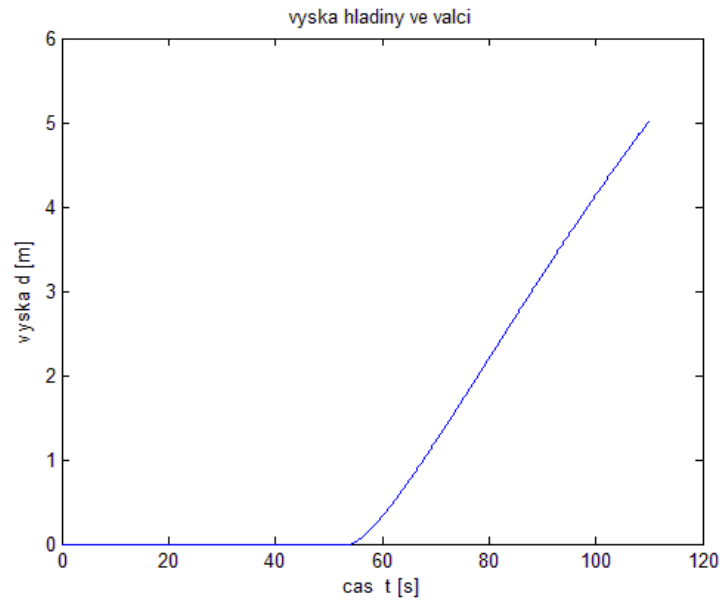
Obr. 14.



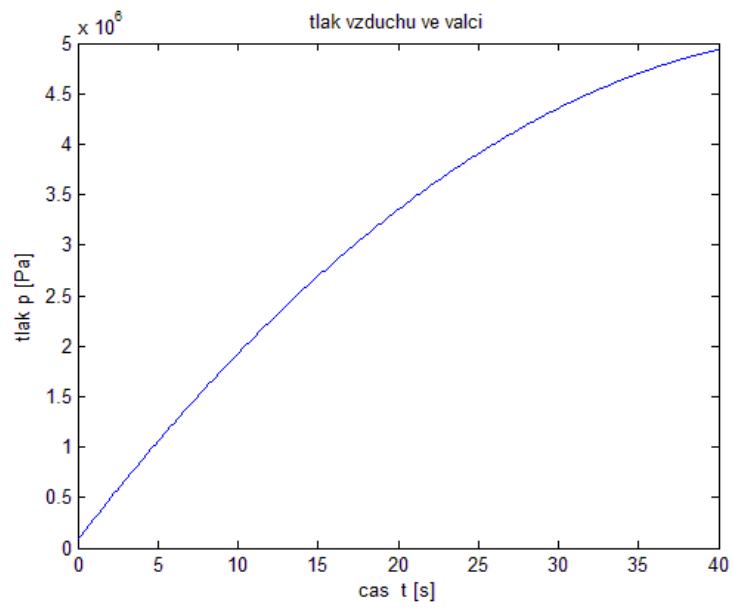
Obr. 15.



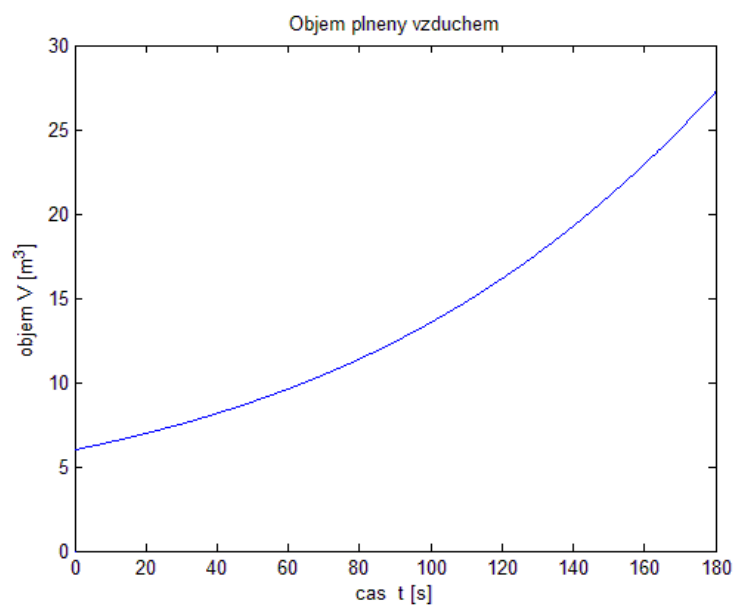
Obr. 16.



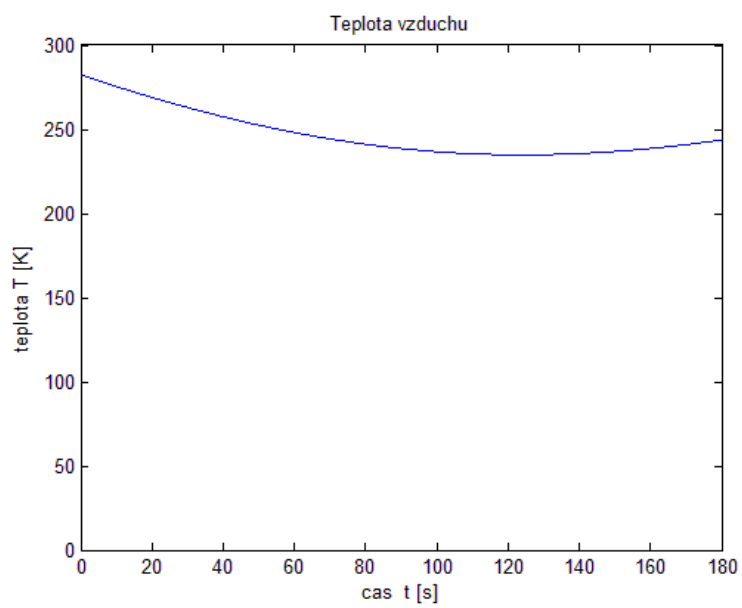
Obr. 17.



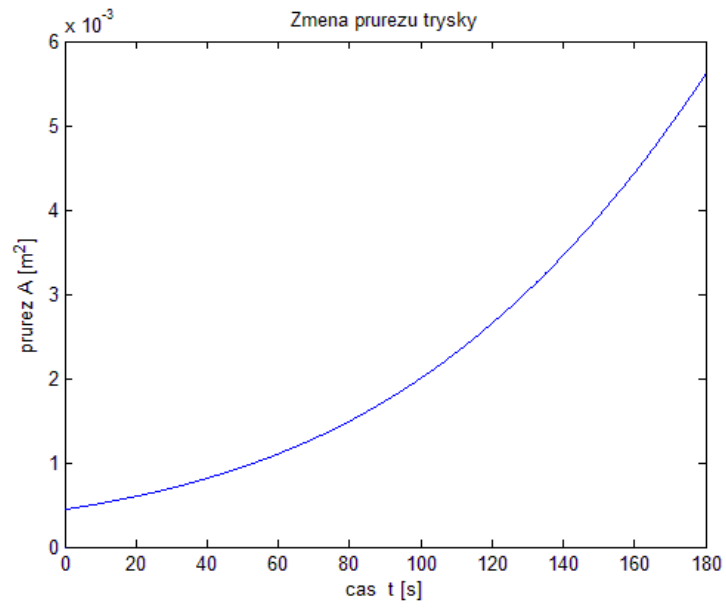
Obr. 18.



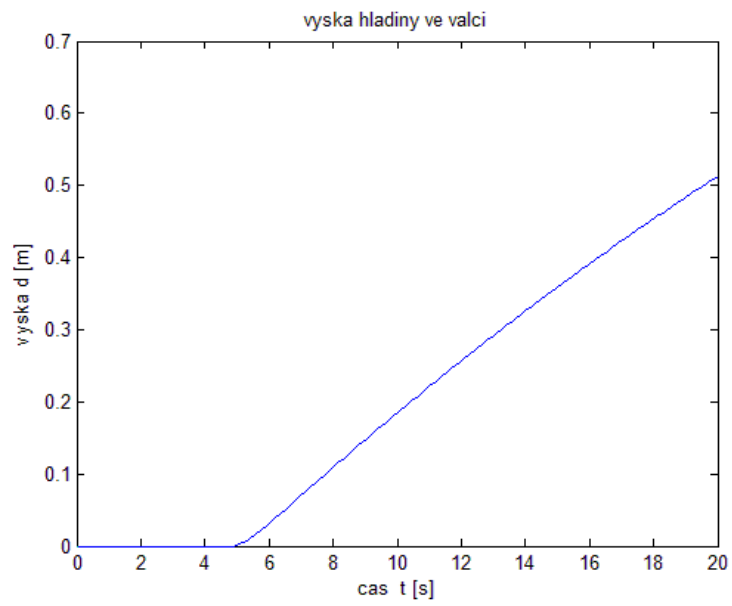
Obr. 19.



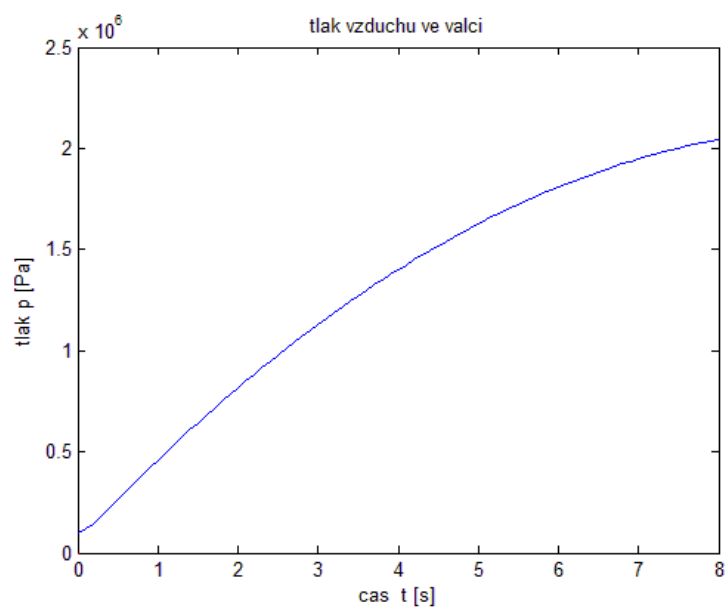
Obr. 20.



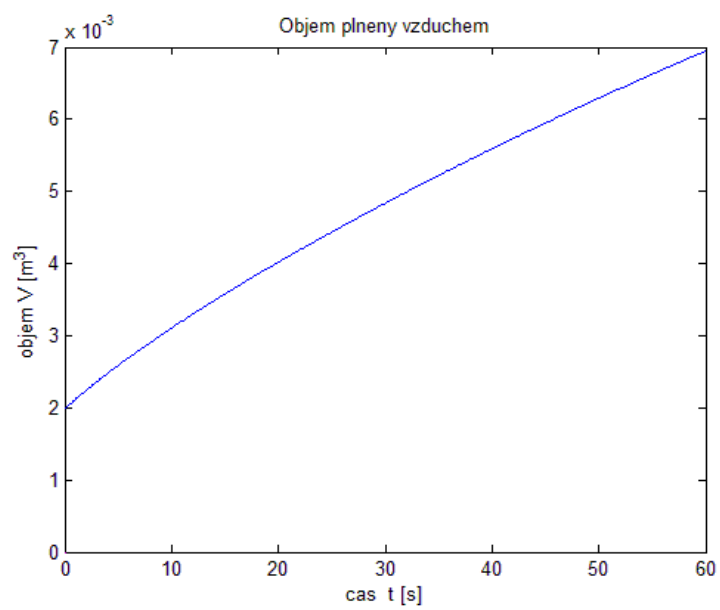
Obr. 21.



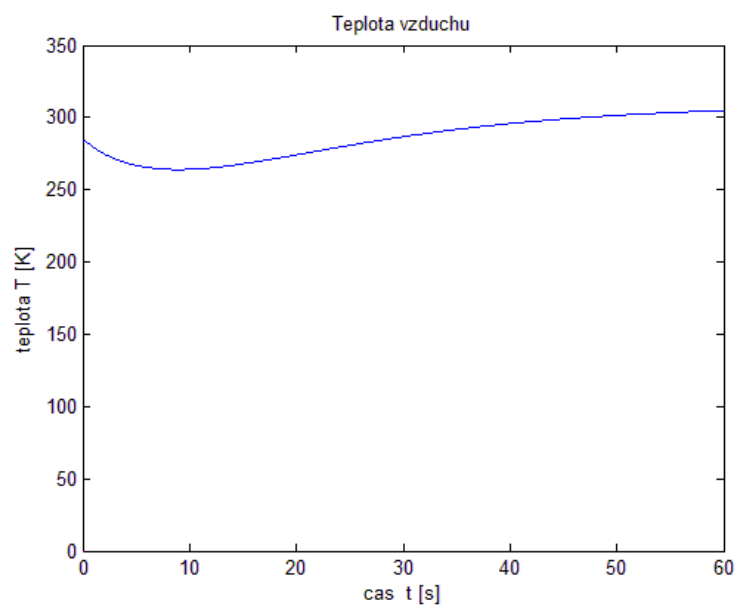
Obr. 22.



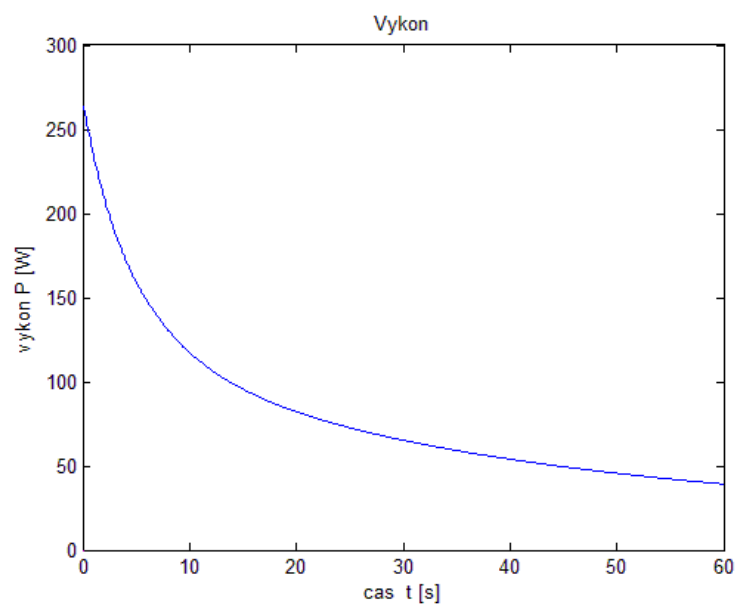
Obr. 23.



Obr. 24.



Obr. 25.



Obr. 26.