

G21F 5/005 (2006.01)
G21F 5/06 (2006.01)
G21F 9/36 (2006.01)
G21F 9/28 (2006.01)

(19)
 ČESKÁ
 REPUBLIKA



ÚŘAD
 PRŮMYSLOVÉHO
 VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2019-336**
 (22) Přihlášeno: **31.05.2019**
 (40) Zveřejněno: **25.11.2020**
(Věstník č. 48/2020)
 (47) Uděleno: **19.10.2020**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **25.11.2020**
(Věstník č. 48/2020)

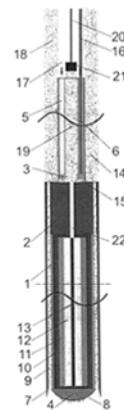
(56) Relevantní dokumenty:
 WO 2018046996; RU 2510540; DE 3109640; US 2003130557.

(73) Majitel patentu:
 Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.,
 Praha 8, Libeň, CZ
 (72) Původce:
 RNDr. Jiří Málek, Ph.D., Praha 8, Libeň, CZ
 (74) Zástupce:
 Hák Janeček & Švestka, Patentová a známková
 kancelář, RNDr. Roman Hák, U průhonu 827/5,
 170 00 Praha 7, Holešovice

kontejneru a uložení těla (1) kontejneru do studny, b) uložení vrstvy (10) grafitového moderátoru, článků (11) vyhořelého paliva a článků (12) nevyhořelého paliva do dutiny v těle (1) kontejneru, c) připojení víka (2) k tělu (1) kontejneru a jeho utěsnění a upevnění, d) zasunutí zdroje (13) neutronů do dutiny v těle (1) kontejneru kanálem (22) ve víku (2) a utěsnění a uzavření kanálu (22) a e) připojení pažicí části (3) k víku (2).

(54) Název vynálezu:
Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva a způsob hlubinného ukládání vyhořelého jaderného paliva prováděný s tímto kontejnerem

(57) Anotace:
 Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého paliva obsahuje tělo (1) kontejneru, víko (2) a pažicí část (3), kde tělo (1) a víko (2) vytvářejí dolní válcovitou část o prvním průměru a pažicí část (3) vytváří horní válcovitou část o druhém průměru, kde druhý průměr je menší než první průměr, přičemž po sestavení kontejneru tělo (1) s víkem (2) a pažicí částí (3) vytvářejí strukturu dvou na sobě postavených souosých válcovitých částí. Tělo (1) je válcovitá nádoba s dutinou pro uložení jaderného paliva, spodní část těla (1) tvoří dno (4) tvarem uzpůsobené k pronikání do horniny a ve stěně těla (1) probíhají vertikální kanály (9) pro vedení roztaveného magmatu (8). Víko (2) je válcovité těleso připojitelné k horní části těla (1), procházejí jím vertikální kanály (9) pro vedení roztavené horniny navazující na kanály (9) ve stěně těla (1) a je uzpůsobeno k napojení pažicí části (3). Pažicí část (3) je připojitelná k horní části víka (2), obsahuje vertikální centrální kanál (19) pro formování a odebírání ztuhlého magmatu (18), v dolní části obsahuje kanály (15) pro přivádění roztaveného magmatu (8) do centrálního kanálu (19) a ve stěně obsahuje vertikální chladicí kanály (5) pro přívod chladicí kapaliny spojené s vertikálními výstupními kanály (6) pro odvádění páry chladicí kapaliny. Pro provádění způsobu hlubinného ukládání vyhořelého jaderného paliva se užije shora popsaný kontejner, přičemž způsob zahrnuje kroky: a) vyhloubení studny hloubkou odpovídající výšce těla (1)



Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva a způsob hlubinného ukládání vyhořelého jaderného paliva prováděný s tímto kontejnerem

5 Oblast techniky

Vynález se týká zejména kontejneru pro ukládání radioaktivního vyhořelého paliva z jaderných elektráren a způsobu ukládání radioaktivního vyhořelého paliva. Kontejner podle tohoto vynálezu zajišťuje bezpečné uložení radioaktivního odpadu zanořením do velké hloubky (až 20 km) pod zemským povrchem. Energie, která je potřebná pro toto zanoření, je čerpána z části ze zbytkového tepla, které se uvolňuje radioaktivním rozpadem ve vyhořelém palivu a zčásti z nevyhořelého paliva pro jaderné elektrárny, které je k odpadu přidáno. Při zanořování kontejneru vzniká zároveň velmi hluboká studna, kterou je následně možno využít k získávání geotermální energie a pro výzkum zemského nitra.

15

Dosavadní stav techniky

Podle údajů WNA (Světová jaderná asociace) bylo v lednu 2019 ve světě 450 jaderných reaktorů připojených k elektrické síti, které mají výkon 399 GWe. Dalších 57 reaktorů s výkonem 62 GWe je ve výstavbě. Jeden reaktor s výkonem 1 GWe produkuje ročně 30 až 40 tun vyhořelého paliva, což představuje objem 1,5 až 2,0 m³. Palivo vyňaté z reaktoru obsahuje obvykle 95 % uranu a zbytek tvoří štěpné produkty, které jsou většinou radioaktivní. Toto vyhořelé palivo je nutné bezpečně uskladnit, aby nedošlo ke kontaminaci životního prostředí. Náklady na uskladnění vyhořelého paliva jsou značné. Současná obvyklá praxe je, že vyhořelé články se z reaktoru vyjmou a pod hladinou vody kanálem převezou do bazénu vyhořelého paliva v reaktorové hale, kde jsou pod vodou uloženy asi 3 až 4 roky. Voda je neustále chladí, protože radioaktivním rozpadem se v nich stále vyvíjí teplo. Jejich radioaktivita klesne mezitím asi na 50% původní hodnoty. Vyhořelé články se pak vloží do kontejnerů a odvezou do meziskladu vyhořelého paliva. Zde se skladují řádově několik desítek let. Po tuto dobu se stále produkuje značné teplo z radioaktivního rozpadu. V současné době se předpokládá trvalé uskladnění v hlubinných úložištích v hloubce 0,5 až 1 km po mnoho desítek tisíc let, než přestane být odpad radioaktivní. Po celou tuto dlouhou dobu je třeba zajistit, aby radioaktivita nepřekonalala umělé bariéry vytvořené při uložení odpadu.

35 V následujícím rozboru dosavadního stavu techniky se vychází z této literatury:

- Byalko, A.V. (1994): Nuclear waste disposal: Geophysical Safety. CRC Press. ISBN 0-8493-4469-7;
- Logan S.E. (1974) Deep Self-Burial of Radioactive Wastes by Rock-Melting Capsules, Nuclear Technology, 21:2, 111-124, DOI: 10.13182/NT74-A31367;
- Chen W., Jianli Hao J., Chen Z. (2013): A Study of Self-Burial of a Radioactive Waste Container by Deep Rock Melting. Hindawi Publishing Corporation, Science and Technology of Nuclear Installations, Volume 2013, Article ID 184757, 6 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/184757>;
- Aruyjunjan R.V., Bolshov L.A., Kondratenko P.S., Matveev L.V. (2012): Radioactive waste disposal method and heat-dissipating capsule for realising said method. Application: 2012134053/07, 9.8.2012.

Alternativou k tomuto postupu je koncept tzv. samouložení (self-burial concept). Tento postup byl formulován již v sedmdesátých letech minulého století (Logan, 1974), a je popsán například v knize Byalka (1994). Byl rovněž popsán v patentové přihlášce RU 2012134053/07. Z novějších prací lze uvést článek Chena et al. 2013. Koncept spočívá v tom, že vyhořelé palivo ve speciálním kontejneru způsobí v důsledku uvolňování zbytkového tepla roztavení podložní horniny, takže se protaví do velkých hloubek, kde zůstane bezpečně uloženo. Doposud však nebyl tento koncept realizován i přesto, že by tento způsob byl řádově levnější, než je tomu v případě trvalého úložiště. Důvodem jsou pochybnosti o bezpečnosti tohoto procesu v počáteční fázi, kdy by docházelo

55

k tavení horniny a vytváření ložisek magmatu v malých hloubkách, a zejména neexistence vhodného kontejneru. Předložený vynález využívá konceptu samouložení, přičemž bezpečnost ukládání je zajištěna speciální konstrukcí kontejneru a odváděním tepla pomocí studny, která při zanořování kontejneru vzniká.

5

Geotermální energie je v současnosti jedním ze zdrojů tzv. „čisté“ energie bez uvolňování skleníkových plynů. Současný výkon všech geotermálních elektráren na světě je přibližně 6 GWe. Většina z elektráren je provozována v geotermálních oblastech, kde je anomálně velký tepelný tok. Rozšíření geotermálních elektráren do ostatních oblastí je limitováno především tím, že je zde třeba vyhloubit hluboké vrty, což je velmi drahé. Kontejner podle předloženého vynálezu při ukládání jaderného odpadu vytvoří velmi hlubokou studnu s velkým průměrem, kterou lze následně využít pro získávání geotermální energie.

10

Nejhlubším vrtem, který byl vyhlouben pro vědecké účely, je vrt na poloostrově Kola s hloubkou 12 261 m. Studna vytvářená pomocí vynalezeného kontejneru může tuto hloubku překonat a tím poskytnout cenné vědecké informace.

15

Rychlost hloubení studny je možno urychlit pomocí soustředěných slunečních paprsků, které jsou pomocí systému zrcadel a čoček směřovány do vrtu. Podobného postupu se používá u některých typů solárních elektráren, které jsou v provozu již několik let a poskytují výkon desítek až stovek MW (například koncentrační elektrárna v Ivanpah v Kalifornii má výkon 392 MW).

20

Podstata vynálezu

25

Kontejner podle předkládaného vynálezu zajišťuje uložení vyhořelého paliva do zemské kůry, a sice zanořením do hloubky až 20 km. K zanoření (samouložení, self-burial) kontejneru se přitom využívá tepla, které se uvolňuje při radioaktivním rozpadu, při jaderném štěpení. Pro urychlení ukládání se k odpadu do kontejneru přidává další radioaktivní materiál (čerstvé palivo pro jaderné elektrárny nebo štěpný materiál ze starých atomových bomb) a zdroj neutronů, které podstatně zvýší tepelný výkon. Produkované teplo je možno také navýšit například elektrickým vytápěním v době přebytku elektrické energie, spalováním metanu nebo pomocí solární energie nasměrované do studny.

30

Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva obsahuje jako základní části tělo kontejneru, víko a pažicí část, přičemž tělo a víko vytvářejí dolní válcovitou část, pažicí část vytváří horní válcovitou část, přičemž průměr horní válcovité části je menší než průměr dolní válcovité části. Tělo kontejneru je v podstatě válcovitá nádoba s dutinou pro uložení vyhořelého jaderného paliva, spodní část těla tvoří dno, které je tvarem uzpůsobené k pronikání do horniny, a ve stěně těla probíhají vertikální kanály pro vedení roztaveného magmatu. Víko je válcovité těleso připojitelné k horní části těla, procházejí jím vertikální kanály pro vedení roztavené horniny navazující na kanály ve stěně těla a je uzpůsobeno k připojení pažicí části. Pažicí část je válcovitá část připojitelná k horní části víka, obsahuje vertikální centrální kanál pro formování a odebírání ztuhlého magmatu, v dolní části obsahuje kanály pro přivádění roztaveného magmatu do centrálního kanálu a ve stěně obsahuje chladicí kanály pro přívod chladicí kapaliny spojené s vertikálními výstupními kanály pro odvádění páry chladicí kapaliny. Do dutiny těla kontejneru se ukládají vyhořelé palivové články, popřípadě i nevyhořelé palivové články, v podkritickém uspořádání, obklopené vrstvou grafitu.

40

45

Kontejner zajišťuje, že teplo produkované radioaktivním rozpadem je v místě kontaktu dna kontejneru s horninou použito k dosažení teploty přilehlé horniny vyšší, než je teplota tavení horniny. Do hloubky 20 km je tato teplota tavení obvykle 600 až 1300 °C (v závislosti na hloubce a složení horniny). Roztavená hornina, magma, vytvořené pod dnem kontejneru stoupá vertikálními kanály ve stěně kontejneru a ve víku nahoru, až dosáhne vrchního okraje, kde opětovně ztuhne. Při tuhnutí je magma formováno kolem pažicí části tak, že vytváří pažení studny.

50

Materiál, který vznikne tuhnutím magmatu, má vlastnosti podobné sklu. Přebytké magma je formováno do tvaru tyčí, které jsou po ztuhnutí vytaženy na povrch.

5 Kontejner je konstruován z materiálů, jejichž teplota tání je vyšší než teplota okolního magmatu. Použité žáruvzdorné materiály jsou dvojího typu:

A) materiály s vysokou tepelnou vodivostí, například karbonová ocel, nerezová ocel, karbid wolframu, zirkonium, slitiny niklu, titanu, wolframu, kobaltu, chrómu a platiny s dalšími kovy nebo grafit a další uhlíkové materiály. Při jejich výběru je třeba optimalizovat vysokou teplotu tání, 10 mechanickou odolnost a cenu. Při konstrukci kontejneru se vodivé materiály používají především v dolní části (dnu), na kontaktu s neroztavenou horninou a případně pro pažení studny. Ocel se vzhledem k teplotě tání 1350 až 1400 °C jeví jako vhodný materiál pro konstrukci těla kontejneru i pažící části. Výhodná může být karbonová ocel, např. ocel typu A36 obsahující 0,05 % síry má teplotu tání 1426 až 1538 °C. Wolfram (teplota tání 3422 °C) může být vhodně použit jako krycí 15 (vnější) vrstva dna kontejneru.

B) materiály s malou tepelnou vodivostí, například porcelán nebo keramika na bázi Al_2O_3 . Ty se používají ve vrchní části těla kontejneru, aby zpomalovaly tok tepla směrem nahoru a byly tak minimalizovány tepelné ztráty. Dále jsou použity jako vnější vrstva po obvodu pláště kontejneru, 20 kde zpomalují přechod tepla do okolní horniny a směřují tak většinu vznikajícího tepla na dno kontejneru. Porcelán se vzhledem ke svým tepelně-izolačním vlastnostem a teplotě tání přibližně 1680 °C jeví jako materiál vhodný pro výrobu víka kontejneru, pro vnější izolaci pláště těla kontejneru a pro izolaci některých kanálů v těle kontejneru nebo případně i pažící části.

25 Přednost je dávana materiálům s vysokou hustotou, neboť průměrná hustota kontejneru s vyhořelými i nevyhořelými palivovými články musí být vyšší než hustota magmatu. V tom případě, po roztavení horniny pod kontejnerem dochází k jeho klesání směrem dolů do větších hloubek.

30 Odhad požadovaného tepelného výkonu Q kontejneru získáme tak, že spočteme teplo Q_T , potřebné k zahřátí příslušného množství horniny na teplotu tání, teplo Q_R k jejímu následnému roztavení a započteme tepelné ztráty Q_Z do okolní horniny. Dostáváme vzorec:

$$Q = Q_T + Q_R + Q_Z = S \cdot v \cdot p \cdot t (q_T \cdot d_T + q_R + q_Z) \quad (1)$$

35

kde je:

Q celkový tepelný výkon, který musí být generován v kontejneru,
 Q_T teplo potřebné k ohřátí horniny na bod tání,
 40 Q_R skupenské teplo potřebné k roztavení zahřáté horniny,
 Q_Z tepelné ztráty,
 s průřez kontejneru,
 v průměrná rychlost klesání,
 p hustota horniny,
 45 t čas, po který je teplo generováno,
 q_T měrné teplo horniny,
 d_T rozdíl teplot mezi původní teplotou horniny a teplotou tání,
 q_R skupenské teplo tání horniny a
 q_Z tepelné ztráty při zahřátí a roztavení 1 kg horniny.

50

Jestliže dosadíme orientační hodnoty pro parametry kontejneru a hodnoty pro typickou horninu v hloubce 10 km, $S = 1 \text{ m}^2$, $v = 0,0002 \text{ ms}^{-1}$, $p = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, $t = 1 \text{ s}$, $q_T = 1,4 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $d_T = 1000 \text{ K}$, $q_R = 4,0 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$, $q_Z = 5,0 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$, dostaneme, že teplo uvolněné za 1s (tepelný výkon) musí být 1,24 MW. Nutno podotknout, že tento výpočet nám dává pouze velmi hrubý odhad, 55 protože je velká nejistota ve vstupních údajích, například v odhadu tepelných ztrát q_Z . Dále je třeba

uvážit, že tepelný výkon kontejneru se během klesání postupně snižuje, že rozdíl teplot d_T se snižuje s hloubkou a že charakteristiky horniny se mohou značně lišit. Při uvažované průměrné rychlosti klesání $v = 0,0002 \text{ ms}^{-1}$ by kontejner klesnul o 17,3 m za den a dosáhl by cílové hloubky 20 km za dobu 3,17 roku.

5

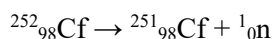
Při stejném teplotním výkonu a stejném složení horniny by kontejner klesal pomaleji v menších hloubkách než ve větších, protože v menších hloubkách je větší rozdíl mezi původní teplotou horniny a teplotou tání. Na druhou stranu, s časem bude tepelný výkon radioaktivního materiálu klesat, takže se klesání kontejneru bude zpomalovat. V určité hloubce by došlo k samovolnému zastavení kontejneru, když by produkce tepla byla rovná tepelným ztrátám a nedocházelo by tedy k ohřívání horniny. Tepelnými ztrátami přitom máme na mysli teplo, které se odvádí do okolí studny nebo je vyzařováno studnou směrem k povrchu, aniž by přispělo k ohřívání horniny pod dnem kontejneru. Konstrukce kontejneru je navržena tak, aby ještě před samovolným zastavením kontejneru došlo k řízenému zastavení. K zastavení klesání se používá chlazení kontejneru pomocí vody, která je přiváděna ke kontejneru.

Rychlost klesání a cílová hloubka je určena před započítáním ukládání a podle toho je zvoleno množství vyhořelého paliva, které se přidá k radioaktivnímu odpadu. Tepelný výkon je závislý také na množství neutronů, které se do paliva uvolňují (viz další odstavec) a na geometrickém uspořádání palivových tyčí. Rychlost klesání může být zvýšena přívodem další energie (navíc k teplu uvolňujícímu se z radioaktivního rozpadu) ke dnu kontejneru. Dodatečnou energii lze dodávat například v podobě elektrické energie, tepla vzniklého spalováním metanu nebo v podobě energie slunečního záření.

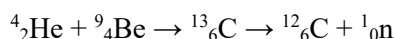
25 Teplo v aktivní zóně kontejneru je generováno (a) samovolným rozpadem radioaktivního materiálu, (b) stimulovaným rozpadem štěpného materiálu pomocí ozařování neutrony, jejichž zdroj se do kontejneru vloží.

a) Tepelný výkon generovaný samovolnou radioaktivitou vyhořelého paliva se uvolňuje ve formě záření α , β , γ , které je absorbováno materiálem kontejneru, případně okolní horninou. Deset dní po vyjmutí z kontejneru je teplotní výkon 1 tuny vyhořelého paliva přibližně 0,05 MW. Jestliže uvažujeme hmotnost vyhořelého paliva v kontejneru například 20 tun, je tepelný výkon 1 MW, což pokrývá téměř celý výkon potřebný ke klesání kontejneru. Po jednom roce klesne tento tepelný výkon na 0,2 MW. Po deseti letech výkon dále klesne přibližně na 0,02 MW. Samovolná radioaktivita tedy významně přispívá k celkovému výkonu v prvních měsících procesu ukládání.

b) Vyhořelé palivo obsahuje isotopy ^{235}U a ^{239}Pu , které se štěpí při stimulaci pomalými neutrony a uvolňují tak značné množství tepla. Přitom se uvolňují další neutrony, jejichž počet však nestačí k udržení štěpné reakce (jedná se o podkritické množství, viz další odstavec). Je proto třeba do kontejneru vložit zdroj neutronů. Vhodným zdrojem neutronů může být zářič na bázi isotopu kalifornia ^{252}Cf , který uvolňuje neutrony podle jaderné reakce:

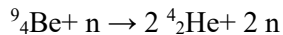


45 Poločas rozpadu tohoto isotopu je 2,645 roku. Vydrží tedy emitovat neutrony po celou dobu klesání kontejneru, i když se bude množství neutronů s časem snižovat a tím i produkovaný tepelný výkon. Nevýhodou kalifornia je jeho vysoká cena. Vyrábí se ve speciálních urychlovačích. Do budoucna je však předpoklad, že se bude jeho cena snižovat, pokud dojde k jeho zvýšené výrobě. Teplota tání kalifornia je $900 \text{ }^\circ\text{C}$, je tedy třeba počítat s jeho kapalnou formou a musí být uzavřeno do žáruvzdorné kapsle. Dalším možným zdrojem neutronů je ^9Be . Při stimulaci zářením α dochází k jaderné reakci:



55 V kontejneru je silné záření α , takže při vložení beryllia bude k této reakci intenzivně docházet.

Beryllium také funguje jako zesilovač proudu neutronů na základě jaderné reakce



5

Může tedy vyzařovat více neutronů než absorbuje.

Vhodný zdroj neutronů je tedy sestaven kombinací kalifornia a beryllia. Má tvar tyče o průměru několika cm, ve které jsou soustředně umístěny jednotlivé vrstvy. Vnitřní jádro je tvořeno roztaveným kaliforniem (teplota tání je kolem 900 °C). Další tenkou vrstvou tvoří Zirkonium, které zůstává v pevném skupenství (teplota tání je 1855 °C) a navíc má výhodnou vlastnost, že jím dobře procházejí neutrony. Další vrstvou tvoří beryllium, které je převážně v pevném skupenství (teplota tání je 1287 °C), může však dojít i k jeho roztavení. Proto je uzavřeno v další vrstvě zirkonia.

Neutrony jsou v kontejneru zpomalovány (moderovány) pomocí vhodného moderátoru (například grafitu) a účastní se pak jaderného štěpení ${}^{235}\text{U}$ a ${}^{239}\text{Pu}$. Tento proces je zcela obdobný jako v jaderných reaktorech. Zavádí se multiplikační faktor jako pravděpodobnost, že neutrony uvolněné při rozštěpení jednoho jádra způsobí rozštěpení dalšího jádra. Podstatný rozdíl mezi popisovaným kontejnerem a jaderným reaktorem spočívá v tom, že v kontejneru je multiplikační faktor menší než jedna, zatímco v reaktoru je udržován roven jedné. Tím je zajištěno, že jaderné štěpení v kontejneru je zcela bezpečné, protože řetězová reakce rychle zaniká bez zdroje neutronů. Ze stejného důvodu se nemusí řetězová reakce řídit pomocí řídicích tyčí, jako se to děje v jaderném reaktoru. Uspořádání paliva uvnitř kontejneru je zvoleno tak, že multiplikační faktor je co nejbližší jedné, ale vždy menší než 1. Toho je dosaženo tím, že zdroj neutronů je umístěn uprostřed kontejneru, kolem něhož je rozmístěno nevyhořelé palivo a dále od středu je jaderný odpad. Ještě dále od středu kontejneru je umístěna vrstva s moderátorem a reflektorem neutronů. Tato vrstva je (stejně jako v některých jaderných elektrárnách) tvořena grafitem. Tím se maximalizuje tepelný výkon. Potřebný tepelný výkon kontejneru (typicky jednotky MW) představuje jen několik promile výkonu jaderného reaktoru, ze kterého jaderný odpad pochází, a proto je spotřeba jaderného paliva během ukládání velmi malá.

Typické složení čerstvého jaderného paliva je (podle údajů z jaderné elektrárny Temelín) následující: 1000 kg paliva obsahuje 967 kg ${}^{238}\text{U}$ a 33 kg ${}^{235}\text{U}$. Po vyjmutí palivových článků z reaktoru obsahuje 1000 kg vyhořelého paliva 943 kg ${}^{238}\text{U}$, 8 kg ${}^{235}\text{U}$, 8,9 kg různých isotopů plutonia, 4,6 kg ${}^{236}\text{U}$, 0,5 kg ${}^{236}\text{Np}$, a 35 kg ostatních produktů štěpení. Většina těchto produktů je radioaktivní a produkují radioaktivní teplo. Hlavní část tepelného výkonu se ale získá štěpením jader ${}^{235}\text{U}$ a ${}^{239}\text{Pu}$.

V cílové hloubce může začít řízené zpomalování pohybu kontejneru, tedy intenzivní chlazení kontejneru pomocí vody, která se mění na vodní páru. Tím poklesne teplota kontejneru pod teplotu tavení horniny a klesání se zastaví. Radioaktivní materiál tak zůstane v této cílové hloubce bezpečně uložen. V případě, že se nevyužije možnost řízeného zpomalování, bude klesání kontejneru do větších hloubek pokračovat samovolně, až do doby, kdy poklesne tepelná produkce kontejneru pod úroveň, která dostačuje k tavení horniny.

45

V alternativním řešení může být studna využívána dlouhodobě a musí se proto zajistit její trvanlivost pomocí pažnice, např. z oceli. Tato pažnice je připevněna k horní části kontejneru, tj. k vrcholu pažicí části. Při klesání kontejneru je pažnice tažena za kontejnerem a nahoře je prodlužována tím, že se napojují její další části. Tento postup je obdobný jako v případě pažení vrtů ocelovou pažnicí a je v současné době dobře propracovaný. Stěny pažnice jsou dole silnější, aby nedošlo ke zničení studny v důsledku bočního tlaku hornin. Vnitřní průměr pažnice je přitom všude stejný, ale mění se vnější průměr pažnice. Tím se zmenšuje tření při pohybu pažnice dolů. Do pažnice mohou být výhodně vloženy také kanály pro chlazení kontejneru a světlovod při využívání dodatečné solární energie, případně elektrické kabely nebo přívod paliva, pokud používáme urychlení pomocí elektrické energie nebo spalováním metanu, jak je uvedeno dále

55

v příkladu 2.

Kontejner zůstává při zanořování stále ve svislé poloze. Toho je dosaženo tím, že spodní část kontejneru (kde je soustředěno jaderné palivo tvořené převážně uranem a plutoniem) má vyšší hustotu než vrchní část tvořená převážně např. porcelánem a ocelí. Kontejner je do jisté míry obklopen kapalinou (roztaveným magmatem) a kontejner se tedy chová jako těleso ponořené do kapaliny, kde část s vyšší hustotou klesá rychleji a zůstává tedy vždy dole.

Popsané ukládání vyhořelého paliva pomocí kontejneru podle předloženého vynálezu přináší značné výhody oproti řešení pomocí trvalého úložiště v hloubce 500 až 1000 m pod povrchem, které je nyní standardně uvažováno. Vyhořelé palivo může být ukládáno ihned po vytažení z reaktoru, a to v okolí areálu elektrárny. Zcela tak odpadá uchovávání v bazénu vyhořelého paliva, v meziskladu i v trvalém hlubinném úložišti. Rovněž odpadá nutnost převážet radioaktivní odpad na velké vzdálenosti. Uložení proběhne za dobu několika měsíců až let a následně není třeba zabezpečovat dlouhodobou udržitelnost úložiště. Vedlejším benefitem tohoto řešení je možnost vědeckého zkoumání zemského nitra. Po dosažení cílové hloubky a ochlazení kontejneru mohou být na dně studny instalovány vědecké přístroje. Je možno měřit celou řadu parametrů, které mají pro vědecké poznání značný význam, např. tenzor napjatosti, chemické složení hornin nebo rychlost seismických vln. Do studny je rovněž možno umístit seismograf, který bude takto umístěn v prostředí s mnohem nižší úrovní seismického šumu než na povrchu. Je třeba využít speciální konstrukce těchto přístrojů, které mohou pracovat při vysoké teplotě (například 300 °C).

Hlavní výhodou předloženého řešení je, že ukládání vyhořelého paliva je absolutně bezpečné. I kdyby z nějakého důvodu došlo ke zničení studny (v důsledku válečného konfliktu, teroristického činu nebo silného zemětřesení) a bylo tak přerušeno spojení s kontejnerem, bude klesání kontejneru do větších hloubek pokračovat samovolně až do doby, kdy poklesne tepelná produkce kontejneru pod úroveň, která dostačuje k tavení horniny.

V dalších alternativních řešeních je možné klesání kontejneru urychlit, a sice přívodem dodatečné tepelné energie. Technicky nejsnazší možností, jak urychlit klesání kontejneru, je využít vytápění pomocí elektrické energie. V tom případě se studnou spouští postupně elektrický kabel. Vodiče musí být vyrobeny ze slitin, které vydrží vysokou teplotu (například slitina železa a niklu). U dolního okraje kontejneru je umístěna topná spirála např. z wolframu. Uvolněné teplo zvyšuje teplotní výkon kontejneru. Ekonomicky dává toto řešení smysl, pokud se využívá elektrická energie z rozvodové soustavy v době jejího přebytku.

Další možností je použití spalování metanu, případně zemního plynu nebo dalších paliv. V tomto případě je metan veden do kontejneru jednou trubkou, další trubkou je pak přiváděn kyslík. Při dolním okraji kontejneru dochází ke smíchání obou plynů a jejich spalování.

Klesání kontejneru může být urychleno také pomocí soustředěných slunečních paprsků. V případě použití tohoto principu pro urychlení klesání kontejneru s vyhořelým palivem jsou v okolí ústí studny umístěna mírně zakřivená parabolická zrcadla, která odrážejí a soustřeďují sluneční paprsky do vrcholu věže, která je vybudována nad ústím studny. Tam jsou tyto koncentrované paprsky odráženy dalšími (menšími) zrcadly do ústí vrtu. Dále jsou paprsky vedeny vrtem jako světlovodem až ke kontejneru, kde jsou absorbovány a ohřívají kontejner. Vzhledem k měnící se poloze Slunce na obloze musejí být zrcadla směrově nastavitelná, aby bylo možno paprsky vždy nasměrovat do ústí vrtu.

V dalším alternativním řešení lze kontejner podle předloženého vynálezu využít také k hloubení hlubokých studen. Vtom případě se použije vyšší podíl čerstvého nevyhořelého jaderného paliva, aby se dosáhlo vyššího tepelného výkonu. S výhodou lze pak použít urychlení hloubení pomocí solární energie, elektrického vytápění nebo spalování metanu a zmenšit tak množství potřebného jaderného paliva. Pokud je studna zamýšlena pro následné využívání geotermální energie, mohou se dodatečné zdroje zachovat i po dokončení studny ke zvýšení výkonu geotermální elektrárny.

Vzniká tak vlastně nový typ elektrárny, který může kombinovat několik zdrojů energie.

Předmětem předloženého vynálezu je tedy kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva, jak je definován v nároku 1. Další výhodná provedení kontejneru jsou definována v závislých nárocích 2 až 10. Dalším předmětem předloženého vynálezu je způsob hlubinného ukládání vyhořelého jaderného paliva, jak je definován v dalších nárocích 11 až 13.

Objasnění výkresů

Na obr. 1A je schéma kontejneru pro ukládání vyhořelého jaderného paliva v pohledu z boku, na obr. 1B je pohled shora, na obr. 1C je svislý řez středem kontejneru a na obr. 1D je vodorovný řez kontejnerem.

Na obr. 2 je vodorovný řez pažnicí - schéma.

Příklady uskutečnění vynálezu

Příklad 1

Příkladný kontejner je kontejner pro uložení jaderného paliva.

Příklad popisuje kontejner, který slouží pouze k uložení vyhořelého paliva a vytvořená studna bude po uložení paliva uzavřena. Studna je pažena pouze ztuhlým magmatem. Předpokládá se, že během několika let se studna kvůli horizontálnímu napětí, které není stejné ve všech směrech, zdeformuje. Cílová hloubka uložení je 10 km, což je ve většině tektonických oblastí bezpečná hloubka, která zajišťuje, že radioaktivní materiál nebude vynesena na povrch.

Předpokládáme, že geologické podmínky v místě ukládání odpovídají průměrným podmínkám v kontinentální zemské kůře, tedy že teplota hornin v hloubce 10 km dosahuje 300 °C, teplota tavení hornin v této hloubce je 120 °C, průměrná hustota horniny mezi 0 a 20 km je 2700 kg m⁻³ a litostatický tlak v hloubce 10 km je tedy 270 MPa. Odborník je schopen kontejner snadno upravit i pro jiné parametry, pokud to vyžaduje geologická situace.

Kontejner (viz obr. 1A, 1C) má protáhlý tvar dvou na sebe postavených sousých válců, kde horní válcová část má menší (poloviční) průměr než dolní část a má (dvakrát) větší výšku než dolní válcová část. Poměry průměrů a výšek horní a dolní části kontejneru mohou být zvoleny odlišně v jiných provedeních kontejneru, např. v závislosti na hornině. Dolní válcovou část s výškou 10 m a průměrem 1 m tvoří tělo 1 kontejneru a víko 2. Tělo 1 je válcovitá nádoba obsahující dutinu pro uložení jaderného paliva obklopenou 10 cm silnou ocelovou stěnou (karbonová ocel), která je na vnější straně opatřena porcelánovou vrstvou silnou 2 cm. Porcelánová vrstva zde působí jako tepelná izolace a současně jako ochranná vrstva s vyšší teplotou tání, než má ocelová stěna. Ve stěně těla 1 procházejí vertikální kanály 9 pro odvádění roztaveného magmatu 8. Tyto kanály 9 pokračují i ve víku 2.

Dno 4 kontejneru je zaoblené (tvar kulového vrchlíku), je také vyrobeno z karbonové oceli a je opatřeno po celém obvodu ocelovým lemem 7, který přesahuje obvod dna 4 kontejneru. Tento lem 7 zajišťuje jímání roztaveného magmatu 8 a jeho odvádění kanály 9 ve stěně těla 1 a víku 2. Tyto kanály 9 se směrem nahoru mírně rozšiřují a umožňují tak projít případně i krystalům, které se nestačily u dna 4 kontejneru roztavit. Teplota magmatu 8 tedy může být nižší, než je teplota tání nejodolnějších krystalů obsažených v hornině. Kanály 9 jsou oválného průřezu a odolávají tak radiálnímu tlaku. Dno 4 je na svém vnějším povrchu (směrem k hornině) pokryto ochrannou vrstvou - tenkou vrstvou (o síle 1 cm) wolframu, který má velkou mechanickou a tepelnou odolnost.

Tělo 1 kontejneru je opatřeno na horním konci víkem 2, které je 1 m silné (vysoké) a je vyrobeno z porcelánu. Víko 2 je připevněno k tělu 1 pomocí ocelových šroubů, které procházejí porcelánem a jsou zavrtané do ocelové části. Šrouby jsou překryty porcelánovými zátkami. Ve víku 2 je kanál 22 s průměrem několika cm procházející skrz celé víko 2, který slouží k zasunutí zdroje 13 neutronů pro zahájení štěpné reakce.

Směrem nahoru (nad víkem 2) kontejner pokračuje pažicí částí 3, což je horní válcovitá část, která je vyrobena z nerezové oceli. Má průměr 0,5 m a délku 20 m, síla stěny je 14 až 16 cm. Víko 2 je po vsazení palivových článků 11, 12 utěsněno a pevně spojeno s tělem 1 a po vsazení zdroje 13 neutronů a uzavření kanálu 22 je k víku 2 upevněna pažicí část 3 pomocí vhodných spojovacích prostředků - příruby a šroubů.

Do těla 1 kontejneru se ukládají vyhořelé palivové články 11 i čerstvé palivové články 12 ve tvaru tyčí. Palivové články 11, 12 jsou v kontejneru umístěny v podkritickém uspořádání, které je odborníkovi známé (multiplikační faktor je menší než 1). Rozměry kontejneru jsou uzpůsobeny tak, že umožňují uložení několika desítek tun vyhořelého paliva v jednom kontejneru. Například, palivové články 11 vyjmuté z jednoho reaktoru v jaderné elektrárně Temelín při výměně paliva váží 23 tun, což odpovídá jedné čtvrtině všech palivových článků 11 v reaktoru. K tomu je přidáno několik tun čerstvého jaderného paliva. Uspořádání (viz obr. 1D) je takové, že ve svislé ose kontejneru je umístěn zdroj 13 neutronů, který je obklopen články 12 s čerstvým štěpným materiálem. Dále od osy kontejneru jsou články 11 vyhořelého paliva. Palivové články 11 jsou po celém obvodu dutiny (viz. obr. 1D) obklopeny vrstvou 10 grafitu, která slouží zároveň jako moderátor i jako reflektor neutronů.

Uprostřed pažicí části 3 kontejneru (viz obr. 1B) je válcová dutina 19, ve které se formují tyče z přebytečného magmatu, které do dutiny 19 proniká čtyřmi kanály 15 umístěnými u paty pažicí části 3. Kanály 15 mohou být v podstatě horizontální nebo šikmé, kdy jejich vyústění v dutině 19 je výš než jejich vstupní otvory na obvodu pažicí části 3, což usnadňuje tok magmatu do dutiny 19. Průměr dutiny 19 je u dolního okraje 19 cm, u horního okraje 21 cm. Toto rozšiřování směrem vzhůru zajišťuje hladký pohyb ztuhlého magmatu dutinou 19 směrem vzhůru. Válce ze ztuhlého magmatu jsou postupně vytahovány na povrch. Pažicí částí 3 procházejí dva vertikální chladicí kanály 5. Voda pro chlazení je přiváděna z povrchu trubici 17 (z nerezové oceli) a vstupuje do chladicích kanálů 5. Při spodním okraji pažicí části 3 jsou chladicí kanály 5 propojeny se dvěma výstupními kanály 6. Při průchodu kanály 5 se voda mění na páru, která uniká výstupními kanály 6 a dále druhou trubicí 16 (z nerezové oceli) vzhůru k ústí studny, kde je ochlazena a opět zkondenzuje na vodu. Chladicí kanály 5 a výstupní kanály 6 jsou uspořádány do čtverce při pohledu shora (viz obr. 1B). Kanály 5 jsou ve dvou sousedních rozích a jsou propojeny s kanály 6, které jsou umístěny ve zbývajících dvou rozích čtverce. Chlazení slouží k rychlejšímu utužení magmatu. Při klesání kontejneru je chlazení udržováno jen na takové intenzitě, aby to postačovalo ke ztuhnutí magmatu 18, které vytváří pažení studny, než dosáhne horního okraje kontejneru. Po dosažení cílové hloubky je zahájeno intenzivní chlazení, které způsobí ochlazení celého kontejneru a zastavení jeho klesání. Chlazení kontejneru probíhá až do doby, než tepelná produkce kontejneru klesne natolik, že okolní horniny jsou schopné toto teplo odvádět a nedochází již k tavení horniny.

Objem postupně taveného magmatu 8 je větší, než je množství ztuhlého magmatu 18 využité k pažení studny. V tomto příkladu, kdy je průměr kontejneru 1 m a za kontejnerem zůstává studna s průměrem 0,5 m, představuje materiál využitý na pažení 75 % původního objemu. Přebytečných 25 % magmatu je vedeno horizontálními (nebo šikmými) kanály 15 do středového kanálu 19, kde tuhne ve tvaru tyčí o průměru 0,2 m. Ty jsou pak pomocí ocelového lana 20 vyzvedávány na povrch. Používá se přitom ocelová objímka 21, která je na laně 20 spouštěna z povrchu. Při kontaktu objímky 21 s vrchní částí ztuhlého magmatu 18 se objímka 21 sevře. Nejprve se válec magmatu povytáhne o 2 m. Tím se válec oddělí v místě, kde magma přechází do tuhého skupenství. Počká se několik minut, než zcela ztuhne i dolní část vytahovaného válce magmatu a poté je vytažen až na povrch. Materiál, který vznikne po opětovném utužení magmatu, je podobný

vyvrělým horninám, které se tvoří při rychlém utužení v blízkosti zemského povrchu (například obsidián nebo další horniny, které se podobají sklu). Tento materiál má výbornou krátkodobou pevnost. Protože se jedná o amorfní materiál, po delším čase se však plasticky deformuje.

- 5 Při zahájení ukládání kontejneru se postupuje takto. Vyhloubí se studna 10 m hluboká a s průměrem přibližně 1,1 m a do ní se vloží tělo kontejneru 1 bez porcelánového víka 2. Do dutiny v těle 1 kontejneru se vloží vrstva 10 grafitu jako moderátor, články 11 vyhořelého paliva a články 12 nevyhořelého paliva. Uprostřed se ponechá prázdné místo pro zasunutí zdroje 13 neutronů. Přiklopí se porcelánové víko 2 a přišroubuje se ocelovými šrouby k tělu 1 kontejneru. Otvary nad šrouby jsou zakryty porcelánovými zátkami. Kanálem 22 ve víku 2 se do kontejneru zasune zdroj 13 neutronů, a tím dojde k zahájení štěpných reakcí a k intenzivnímu zahřívání kontejneru. Kanál 22 ve víku 2 se uzavře porcelánovou zátkou. Pak se nad víko 2 připevní pažicí část 3 pomocí příruby a ocelových šroubů. Kontejner začne klesat a magma 8 začne protékat kanály 9. Aby magma 8 nevytékalo kolem studny, uzavře se ústí studny kolem zúžené části ocelovým mezikružím. Tak se přebytečné magma 8 od počátku formuje do tvaru tyčí v kanálu 19 uprostřed pažicí části 3. Tím je nastartován proces klesání kontejneru a vytváření studny.

Příklad 2

- 20 Příkladný kontejner je kontejner pro uložení jaderného paliva a/nebo hloubení studny pro geotermální elektrárnu a pro vědecké účely.

V tomto příkladu se kontejner používá pro dosažení hloubky 20 km. Jednalo by se tak o největší dosaženou hloubku v historii. Na rozdíl od předchozího příkladu má být studna vzniklá zanořením kontejneru dlouhodobě stabilní. Proto se používá pažení z nerezové oceli po celé délce studny, které ještě zpevňuje pažení ze ztuhlého magmatu 18. Pažnice (viz obr. 2) je trubicovité těleso, které se upevňuje k vrcholu pažicí části 3 kontejneru a klesá společně s kontejnerem. Pažnice má z konstrukčních důvodů jistou omezenou délku, např. 10 až 20 m, proto jsou při zanořování kontejneru při ústí studny k pažnici postupně napojovány další její části. Tloušťka stěn 23 ocelové pažnice se mění tak, aby odolala zvyšujícímu se tlaku. U zemského povrchu jsou stěny 23 pažnice nejtenčí, dole u kontejneru jsou nejsilnější. Ocelová pažnice má průměr o 2 cm menší než studna pažená ztuhlým magmatem, takže pažnice se snadno spouští dolů. Do pažnice jsou zabudovány kanály několika druhů. Kanály 27 s chladicí vodou jsou izolovány porcelánem, aby se voda již při cestě dolů nepřeměnila v páru. Jinými kanály 28 se vede nahoru přehřátá pára. Také tyto kanály 28 jsou tepelně izolovány porcelánem, avšak pouze od povrchu přibližně do hloubky 10 km, (kde je teplota nižší než 300 °C, což je předpokládaná teplota stoupající páry). Mohou zde být další kanály, např. kanály pro umístění kovového vodiče 25 pro elektrické přitápění izolované porcelánem. Konečně, některé kanály mohou sloužit jako světlovody 26 pro sluneční energii. Středový kanál 24 pažnice zůstává volný, tudy se vytažují tyče ztuhlého magmatu 18 z kanálu 19 pažicí části 3.

40 Proces klesání kontejneru je nastartován obdobně jako v příkladu 1, jen s tím rozdílem, že k pažicí části 3 se po poklesu její horní části na úroveň terénu začne připevňovat připravená první část ocelové pažnice.

- 45 Takto hloubená studna musí být vytvořena poměrně rychle, aby nedošlo vlivem nestejného horizontálního napětí k výrazné deformaci pažnice ze ztuhlého magmatu 18, což by mohlo znemožnit další klesání kontejneru. Proto je třeba dosáhnout velkého tepelného výkonu. Navíc je výhodné zvolit menší průměr kontejneru, aby nebylo třeba roztavit tolik horniny, a navíc menší průměr studny je odolnější vůči horizontálnímu napětí. Do kontejneru se vloží výhodně plutonium nebo obohacený uran, jehož množství je mírně podkritické. Pokud použijeme plutonium, je toto množství poměrně malé. Čisté kovové plutonium ²³⁹Pu má kritické množství jen 10,5 kg, s použitím reflektoru neutronů to může být dokonce jen 2,5 kg. Pokud by se kontejner užíval pouze pro hloubení studny (bez ukládání velkého objemu vyhořelého paliva), může být tělo 1 kontejneru velmi krátké, například 1 m. Stejně jako v příkladu 1 je jako moderátor a reflektor neutronů použita vrstva 10 grafitu a jako zdroj 13 neutronů kalifornium ²⁵²Cf a beryllium ⁹Be. Tepelný výkon jaderného

paliva je projektován na 2 MW.

5 Tepelný výkon může být dále zvýšen o další 2 MW při slunečném počasí pomocí koncentrace slunečních paprsků nebo pomocí elektrického vytápění. Celkem tedy pracujeme s průměrným
10 tepelným výkonem 4 MW. Průměr válcového kontejneru je v tomto případě zvolen 0,4 m, průměr studny za kontejnerem 0,2 m. Tloušťka ocelového pažení u kontejneru (v konečné hloubce 20 km) je 3 cm, při ústí vrtu 1 cm. Vnější průměr pažení se tedy směrem k povrchu zmenšuje, což přispívá ke snadnějšímu pohybu pažnice směrem dolů. Modifikací výpočtu energetické bilance, který byl
15 proveden v kapitole popisující podstatu tohoto vynálezu, lze dospět k průměrné rychlosti klesání 0,005 ms⁻¹. Při této rychlosti se dosáhne cílové hloubky 20 km přibližně za 50 dní. Poté může být studna používána jako zdroj energie. Těsně po dosažení cílové hloubky a po zahájení intenzivního chlazení má kontejner radioaktivní tepelný výkon 2 MW. Další 2 MW pak může dodávat solární elektrárna a dalších několik MW je možno získat díky geotermální energii. Během doby však výkon radioaktivního zdroje klesá, takže po několika letech se výkon sníží o 2 MW. Elektrárna pak
20 může pracovat po mnoho let s výkonem, který vzniká kombinací geotermální energie a koncentrovaného solárního záření. Je možné provést mnoho takových vrtů na poměrně malé ploše a tím znásobit výkon elektrárny, která takto vznikne.

Protože jsou takto vytvořené studny zapažené, jsou stabilní po mnoho desetiletí a mohou sloužit
20 k umístění vědeckých přístrojů. Studny jsou chlazené, v hloubce 20 km je teplota po vychlazení kolem 300 °C. Při takové teplotě mohou pracovat některé speciálně upravené elektronické měřicí přístroje.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva, **vyznačující se tím**, že
 5 obsahuje tělo (1) kontejneru, víko (2) a pažicí část (3), kde tělo (1) a víko (2) vytvářejí dolní
 válcovitou část o prvním průměru a pažicí část (3) vytváří horní válcovitou část o druhém průměru,
 kde druhý průměr je menší než první průměr, přičemž po sestavení kontejneru tělo (1) s víkem (2)
 a pažicí částí (3) vytvářejí strukturu dvou na sobě postavených souosých válcovitých částí, přičemž
 10 tělo (1) je válcovitá nádoba s dutinou pro uložení jaderného paliva, spodní část těla (1) tvoří dno (4)
 tvarem uzpůsobené k pronikání do horniny a ve stěně těla (1) probíhají vertikální kanály (9) pro
 vedení roztaveného magmatu (8);
- víko (2) je válcovité těleso připojitelné k horní části těla (1), procházejí jím vertikální kanály (9)
 15 pro vedení roztavené horniny navazující na kanály (9) ve stěně těla (1) a je uzpůsobeno k napojení
 pažicí části (3); a
- pažicí část (3) je připojitelná k horní části víka (2), obsahuje vertikální centrální kanál (19) pro
 20 formování a odebrání ztuhlého magmatu (18), v dolní části obsahuje kanály (15) pro přivádění
 roztaveného magmatu (8) do centrálního kanálu (19) a ve stěně obsahuje vertikální chladicí
 kanály (5) pro přívod chladicí kapaliny spojené s vertikálními výstupními kanály (6) pro odvádění
 páry chladicí kapaliny.
2. Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva podle nároku 1, **vyznačující se
 25 tím**, že dno (4) kontejneru je zaoblené, výhodně je ve tvaru polokoule nebo kulového vrchlíku,
 nebo je ostře či tupě zašpičatělé, výhodně ve tvaru kužele nebo rotačního paraboloidu.
3. Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva podle nároku 1 nebo 2,
 30 **vyznačující se tím**, že stěna těla (1) a dno (4) jsou vyrobeny z oceli, výhodně z karbonové oceli
 s vysokou teplotou tání, stěna těla (1) je opatřena vnějším tepelně izolačním pláštěm z keramiky
 nebo porcelánu a dno (4) je opatřeno krycí vrstvou z tepelně vodivého materiálu s vysokou teplotou
 tání, výhodně z wolframu.
4. Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva podle kteréhokoliv
 35 z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že víko (2) je vyrobeno z porcelánu a kanál (22) je
 uzpůsoben pro vložení zdroje (13) neutronů do dutiny v těle (1) kontejneru.
5. Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva podle kteréhokoliv
 40 z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že dno (4) je opatřeno po celém obvodu lemem (7) pro
 zajištění jímání roztaveného magmatu (8) a jeho odvádění kanály (9).
6. Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva podle kteréhokoliv
 45 z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že kanály (9) umístěné ve stěně těla (1) jsou kruhového
 nebo elipsoidního průřezu.
7. Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva podle kteréhokoliv
 50 z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že v dutině těla (1) jsou uloženy vyhořelé palivové
 články (11) i nevyhořelé palivové články (12) ve tvaru tyčí v podkritickém uspořádání obklopené
 vrstvou (10) grafitu.
8. Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva podle nároku 7, **vyznačující se
 tím**, že články (11) vyhořelého paliva obsahují radioaktivní isotopy prvků a články (12) čerstvého
 paliva obsahují isotopy uranu ^{238}U a ^{235}U a plutonia ^{239}Pu .

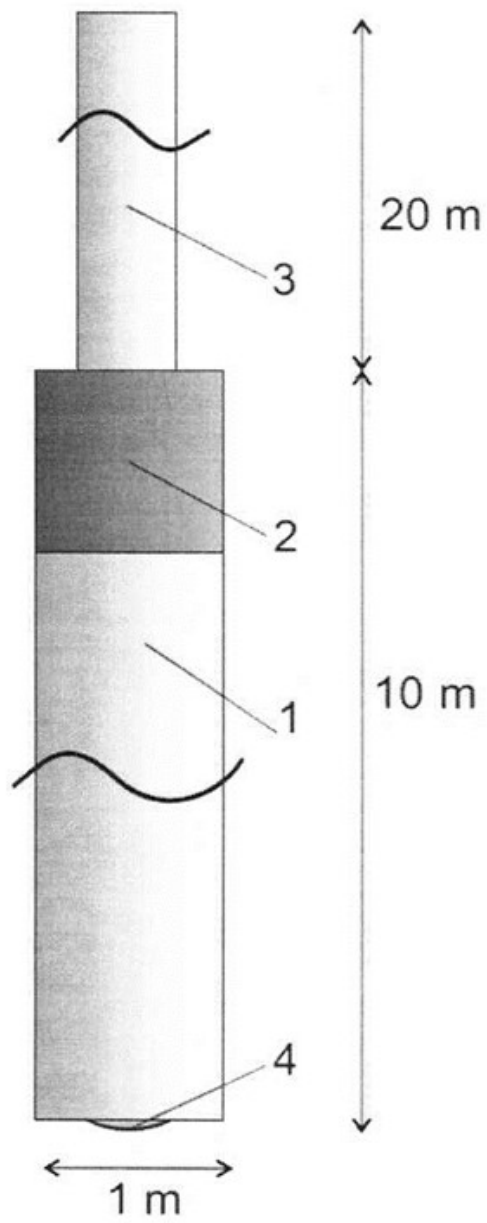
9. Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva podle nároku 7 nebo 8, **vyznačující se tím**, že v dutině těla (1) je uložen zdroj (13) neutronů, kterým je výhodně kalifornium ^{252}Cf nebo beryllium ^9Be nebo jejich kombinace.
- 5 10. Kontejner pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že k hornímu konci pažicí části (3) je upevněna pažnice, výhodně z oceli, obsahující stěnu (23), středový kanál (24), chladicí kanál (27) a výstupní kanál (28) pro vedení páry.
- 10 11. Způsob hlubinného ukládání vyhořelého jaderného paliva, **vyznačující se tím**, že se užije kontejner podle kteréhokoliv z předchozích nároků, přičemž způsob zahrnuje kroky
- a) vyhloubení studny hloubkou odpovídající výšce těla (1) kontejneru a uložení těla (1) kontejneru do studny,
- 15 b) uložení vrstvy (10) grafitového moderátoru, článků (11) vyhořelého paliva a článků (12) nevyhořelého paliva do dutiny v těle (1) kontejneru,
- c) připojení víka (2) k tělu (1) kontejneru a jeho utěsnění a upevnění,
- 20 d) zasunutí zdroje (13) neutronů do dutiny v těle (1) kontejneru kanálem (22) ve víku (2) a utěsnění a uzavření kanálu (22), a
- e) připojení pažicí části (3) k víku (2).
- 25 12. Způsob hlubinného ukládání vyhořelého jaderného paliva podle nároku 11, **vyznačující se tím**, že pažení studny po průchodu kontejneru horninou se vytvoří ztuhlým magmatem (18) tak, že roztavené magma (8) pod dnem (4) kontejneru vytéká kanály (9) nad víko (2) a postupně se ochlazuje působením vody v chladicích kanálech (5) a přechází do tuhajícího magmatu (14) až do ztuhlého magmatu (18) po obvodu pažicí části (3).
- 30 13. Způsob hlubinného ukládání vyhořelého jaderného paliva podle nároku 11 nebo 12, **vyznačující se tím**, že dále zahrnuje krok
- 35 f) připojení pažnice k vrcholu pažicí části (3).

3 výkresy

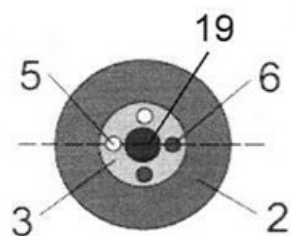
Seznam vztahových značek

- 1 tělo kontejneru
- 2 víko kontejneru
- 3 pažicí část
- 4 dno s wolframovou vrstvou
- 5 chladicí kanály
- 6 výstupní kanály
- 7 lem zabraňující úniku magmatu
- 8 roztavené magma na spodním okraji kontejneru
- 9 vertikální kanály vedoucí roztavené magma
- 10 vrstva grafitu (moderátor a reflektor neutronů)
- 11 články vyhořelého paliva
- 12 články čerstvého nevyhořelého paliva
- 13 zdroj neutronů
- 14 tuhající magma
- 15 horizontální kanály pro odvod přebytečného magmatu
- 16 trubice pro odčerpávání vodní páry

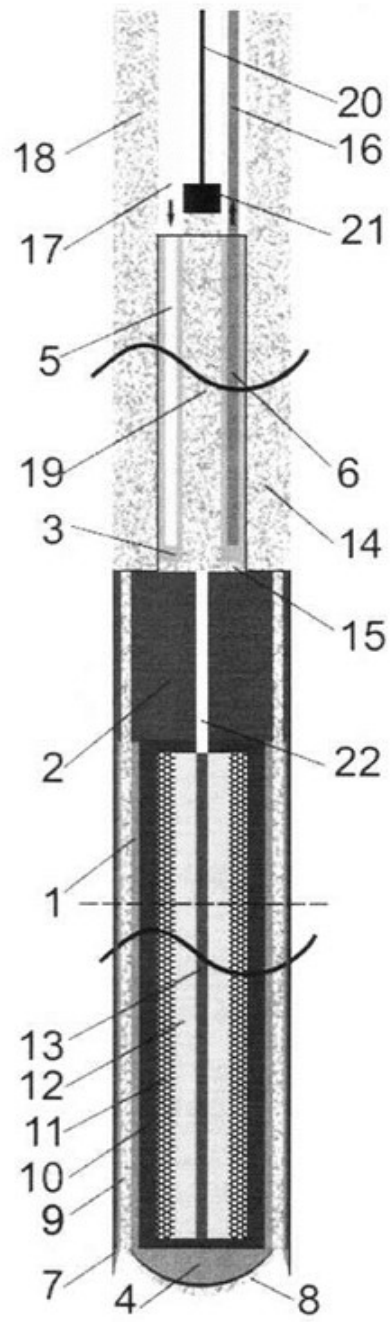
- 17 trubice přivádějící chladicí vodu
- 18 ztuhlé magma tvořící pažení studny
- 19 centrální kanál v pažící části
- 20 lano pro vytahování přebytečného ztuhlého magmatu.
- 21 objímka pro uchopení tyče ze ztuhlého magmatu
- 22 kanál pro vložení zdroje neutronů
- 23 stěna pažnice
- 24 kanál pro vytahování tyčí ze ztuhlého magmatu
- 25 elektrický vodič v porcelánovém izolátoru
- 26 světlovody
- 27 chladicí kanál v porcelánovém izolátoru
- 28 výstupní kanály pro přehřátou páru



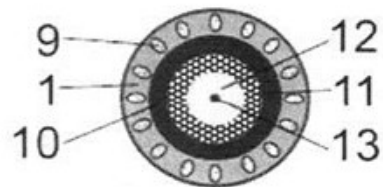
Obr. 1A



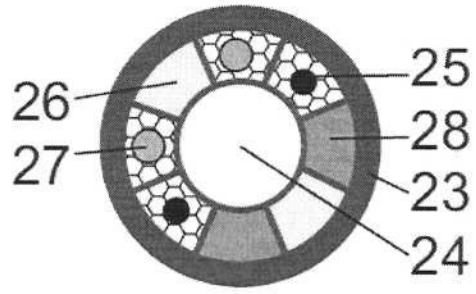
Obr. 1B



Obr. 1C



Obr. 1D



Obr. 2