



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU 200 699

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

(11) (B1)

(61) Autorské osvědčení je závislé na AO č. 190161

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 23 03 78
(21) PV 1851 - 78

(51) Int. Cl.⁶ 21 C 15/18

(40) Zveřejněno 31 01 80

(45) Vydáno 01 02 83

(75)

Autor vynálezu SÝKORA DALIBOR ing., PRAHA

(54) Zařízení pasivního podeystému havarijního dochlazování tlakovodního jaderného reaktoru

1

Vynález se týká zařízení pasivního podeystému havarijního dochlazování tlakovodního jaderného reaktoru, které je důležitým bezpečnostním zařízením dvouokruhové jaderné elektrárny. Je podmíněn instalací jednoduchého přídavného zařízení do současných pasivních podeystémů havarijního dochlazování, jejichž funkce významně ovlivňuje průběh maximální projektové havárie, za kterou se považuje náhlá ztráta teploenergetického média z primárního okruhu jaderné centrály. Použitím souboru zařízení podle vynálezu se zvýší efektivnost celého dochlazovacího podeystému, a to při zachování principu jeho pasivní funkce. Provozní postup, respektive režim zabezpečovaný předmětným zařízením vychází ze "Způsobu havarijního dochlazování tlakovodního jaderného reaktoru" podle ČS. autorského osvědčení č. 190161.

V dnešní době jsou již u existujících i projektovaných jaderných elektráren s tlakovodními reaktory realizovány či uvažovány pasivní dochlazovací podeystémy reprezentované havarijními akumulátory. Tyto jsou provedeny jako jednoduché svislé válcové tlakové nádoby. Objem havarijních akumulátorů je z větší části zaplněn dochlazovací bōrovanou vodou. Nad ní je stlačený hnací plyn, jímž bývá dusík. Počáteční nebo pohotovostní pracovní tlak v havarijních akumulátorech bývá v rozmezí 2 až 6 MPa. Při havarijní poruše primárního okruhu, kdy dochází vlivem prudkého výtoku primárního teploenergetického média, tj. tlakové horké odpařující se vody k rychlému poklesu tlaku v primárním okruhu, začne dochlazovací bōrovaná voda proudit z havarijních akumulátorů do primárního okruhu, resp. přímo do

200 899

reaktoru, aby ochladila aktivní zonu. Časové zpoždění začátku havarijního dochlazování vůči okamžiku vzniku havárie, které silně ovlivňuje havarijní růst teploty pokrytí paliva, je velmi závislé na tlaku hnacího plynu v havarijních akumulátorech. Dnešní pasivní zařízení pro dochlazování tlakovodního reaktoru, především jednoduché havarijní akumulátory, musí být z výše uvedených důvodů konstruováno na poměrně vysoký tlak. Tím je dána jeho značná hmotnost i cena a tedy i hlavní nevýhoda celého pasivního pod systému.

Výše uvedené nevýhody jsou odstraněny nebo sníženy u zařízení pasivního pod systému havarijního dochlazování tlakovodního jaderného reaktoru podle vynálezu, který spočívá v tom, že mezi havarijní akumulátor, respektive zásobní nádrž a primární potrubí či reaktor je v potrubí dochlazovací bôrované vody zařazen injektor, jehož hnací dýza je přímo nebo nepřímo napojena na sekundární stranu parogenerátoru, respektive na sekundární okruh centrály, přičemž v parním přívodním potrubí mezi parogenerátor a havarijní akumulátor je umístěna přípouštěcí redukční armatura.

Pokrokovost nového dochlazovacího zařízení možno charakterizovat i následujícími výhodami. Především je dosaženo vyšší efektivity celého pasivního dochlazovacího pod systému, neboť vzroste jeho střední výkon i využití objemu havarijních akumulátorů. Za druhé, zkracuje se časový interval mezi vznikem havárie primárního okruhu a samočinným startem pasivního dochlazovacího pod systému. Interval je zde dán tlakem média před hnací dýzou injektoru, tedy pracovním tlakem teplotosného média v sekundárním okruhu. Za třetí, odpadá respektive podstatně se snižuje tepelný ráz, jemuž je vystavena především tlaková nádoba reaktoru, která je nejexponovanější a současně nezálohovatenou komponentou celého jaderného zdroje páry, respektive celé jaderné elektrárny. Za čtvrté, použité proudové čerpadlo respektive injektor je v podstatě zařízením s pasivní funkcí. Je sestaven jen ze statických konstrukčních dílů, je velmi jednoduchý a proto funkčně vysoce spolehlivý. Injektor vyžaduje jen minimální údržbu a snadno se opravuje. Za páté, předřazený výměník tepla bude malý a tím i levný. Jeho teplosměnná plocha vychází malá vlivem velkých teplotních rozdílů mezi oběma médii, která jím protékají. Za šesté, při instalaci samostatného injektoru pro dopravu dochlazovací bôrované vody ze zásobní nádrže lze použít i paro-vodní injektor, kde vlastní případně cizí hnací pára může mít nižší parametry. Tak vznikne nové, vysoce spolehlivé, pasivní a na jiném principu fungující záložní zařízení vůči nízkotlakým dochlazovacím čerpadlům včetně jejich zdroje zajištěného elektrického napájení, a to pro kritické období startu a rozběhu tohoto aktivního dochlazovacího pod systému, jímž tato relativně velká čerpadla jsou. Za sedmé, u již realizovaných či provozovaných jaderných centrál s tlakovodními reaktory lze snadno přídavné zařízení dodatečně instalovat a tím intenzifikovat funkci jejich stávajícího pasivního pod systému dochlazování. Za osmé, u projektovaných jaderných centrál tohoto typu je možno při použití chráněných přídavných zařízení snížit už stanovený pracovní tlak havarijních akumulátorů. K výše uvedeným hlavním výhodám nutno připojit i základní nevýhodu klíčového zařízení, jímž zde je injektor, která je dána poměrně nízkou účinností proudových čerpadel. Nutno ale uvážit, že zde toto zařízení pracuje jen krátkodobě a velice zřídka, tj. jen při eventuální havárii primárního okruhu. Pokud jde o druhou nepříjemnou vlastnost proudových

čerpadel, kterou je jejich omezená regulovatelnost, nutno konstatovat, že se zde regulace nevyžaduje. Parametry obou médií na vstupu do injektoru jsou prakticky konstantní a proti-tlak se během havárie rychle snižuje.

Na připojených výkresech je schematicky a funkčně znázorněno hlavní zařízení pasivního podsytemu havarijního dochlazování, kde značí obr. 1 schéma s variantním napojením hnací dýzy injektoru, obr. 2 funkční diagram změn stavu hnacího média uvnitř havarijního akumulátoru, obr. 3 tepelný diagram znázorňující funkci injektoru a připouštěcí redukční armatury a poslední obr. 4 teplotní diagram výměníku tepla vloženého před injektor.

Na obr. 1 je nakreslena jedna z několika paralelních smyček primárního okruhu jaderné centrály. Smyčka sestává z tlakovodního reaktoru 1, parogenerátoru 2, oběhového čerpadla 3 a potrubí primárního okruhu 4. Napojení sekundárního okruhu jaderné centrály je symbolicky znázorněno potrubím napájecí vody 13 a potrubím páry 14. Obvykle ke každé smyčce primárního okruhu je přiřazeno zařízení pasivního podsytemu dochlazování, které doposud sestávalo jen z havarijního akumulátoru 5, v jeho výstupu instalovaných dvou zpětných armatur 12 a vodní uzavírací armatury 11, jakož i z příslušné části potrubí dochlazovací borované vody 21, napojené na potrubí primárního okruhu 4, eventuálně přímo na tlakovodní reaktor 1. Jak je dále patrné z obr. 1, je k popsanému zařízení připojeno zařízení přídavné, jímž jest proudové čerpadlo, resp. injektor 17 s vyznačenou hnací dýzou 18, připouštěcí redukční armatura 19, parní přívodní potrubí 20 s parní uzavírací armaturou 29, potrubí hnacího média 22 s odtavovací armaturou 26, případně i výměník tepla 23. Takto zvětšený podsytem má stále pasivní charakter neboť i všechna přídavná zařízení pracují na principu pasivní funkce. Pro úplnost jsou znázorněny i nízkotlaký pojistný ventil 24 a vysokotlaký pojistný ventil 25, jakož i plynová armatura 30. Čárkovane je znázorněno variantní zapojení příslušných potrubí. Silné čáry označují páru a čerchovaná čára dusík. Vlnovky se šipkami znázorňují havarijní výtok vody z primárního okruhu a tečkovaná čára značí přenos impulsu pro změnu polohy příslušných armatur při dosažení minimální hladiny v havarijním akumulátoru 5. Symbolem -L je naznačeno že se vodní uzavírací armatura 11 a parní uzavírací armatura 29 zavřou. Podobně +L značí, že se současně otevře otevírací armatura 27, přes níž pak pokračuje přívod dochlazovací borované vody ze zásobní nádrže 28 k injektoru 17. Symbol -P definuje funkci připouštěcí redukční armatury 19, která se přivírá při vzrůstu tlaku v místě odběru tlakového impulsu, i činného média v případě přímochinného provedení této armatury. Funkce znázorněného pasivního podsytemu havarijního dochlazování nastává samočinně v průběhu havarijního poklesu tlaku média v primárním okruhu postupným otevřením zpětných armatur 12. Funkce podsytemu je odvozena z činnosti injektoru 17, který umožňuje při použití energie a hmoty média sekundárního okruhu dopravovat dochlazovací borovanou vodu z nižšího tlaku v havarijním akumulátoru 5 do počátku vyššího tlaku v havarovaném primárním okruhu. Existence prakticky stálého tlaku média v hnací dýze 18 je dána poměrně velkou hmotou sekundárního média v parogenerátoru 2, resp. i v dalších zařízeních sekundárního okruhu. Pokud jde o stálost tlaku dochlazovací borované vody na vstupu do injektoru 17, je tato při zanedbání vlivu poklesu hladiny vody v havarijním akumulátoru 5 zaručena funkcí připouštěcí redukční armatury 19, která udržuje nastavený konstantní celkový

200 899

tlak směsi dusíku a přípouštěné páry v havarijním akumulátoru 5. Je zřejmé, že se oba parciální tlaky během této etapy dochlazování mění; parciální tlak dusíku klesá a parciální tlak páry vzrůstá. Přiznivý je zde i tlakový efekt ohřevu dusíku parou během jeho expanze, neboť snižuje celkové množství páry, které je nutno přivést do havarijního akumulátoru 5. Zařazení tepelného výměníku 23 je nutné, žádá-li se snížení teplotního rozdílu mezi hnacím a hnaným médiem před injektorem 17. Konec první etapy činnosti předmětného zařízení je odvozen, stejně jako u podsystemů dosavadních, od dosažení nastavené minimální hladiny vody v havarijním akumulátoru 5. Tehdy se uzavřou vodní uzavírací armatura 11 i parní uzavírací armatura 29, ale otevře se otevírací armatura 27. Injektor 17 začne přisávat dochlazovací bōrovanou vodu ze zásobní nádrže 28 a čerpat ji taktéž do havarovaného primárního okruhu, ve kterém mezitím dále poklesl tlak. Tato etapa dochlazování by mohla pokračovat až do vyčerpání přebytku energie i hmoty média sekundárního okruhu, ale je účelné ukončit ji dříve, vzhledem k nežádoucímu převodu tepla ze sekundárního okruhu do okruhu primárního, resp. do jeho vnějšího uzavřeného okolí. Uzavření odtavovací armatury 26 se provede po rozběhu již nenakreslených nízkotlakých čerpadel, jejichž start je pak možno o několik minut oddělit. Další objasnění funkcí hlavních zařízení nového pasivního podsystemu dochlazování poskytují dále uvedené diagramy. Na obr. 2 je P-V diagram popisující změny tlaku P a objemu V hnacího dusíku, resp. směsi dusíku a páry v havarijním akumulátoru. Čerchovaná čára 1-2-3 znázorňuje adiabatickou expanzi samotného dusíku. Plná čára 2-5 odpovídá průběhu celkového tlaku v havarijním akumulátoru při přípouštění páry. Čárkovaná čára 2-4 naznačuje průběh parciálního tlaku dusíku P_{N_2} a parciálního tlaku páry P_{H_2O} uvnitř havarijního akumulátoru. Vyšrafovaná plocha znázorňuje práci předanou dochlazovací bōrované vodě od páry přípouštěné do havarijního akumulátoru. Na obr. 3 je uveden H-S diagram znázorňující změny entalpie H a entropie S při činnosti injektoru a přípouštěcí redukční armatury. Čára 1-2 popisuje stavové změny média v hnací dýze injektoru, čára 3-4 změnu stavu dochlazovací bōrované vody před jejím smíšením s médiem z hnací dýzy a čára 5-6 ukazuje vzrůst tlaku směsi obou médií v koncové části injektoru, tj. v jeho difuzoru. Čára 7-8 znázorňuje změnu stavu páry v přípouštěcí redukční armatuře. Tlak páry po redukci odpovídá konstantní hodnotě celkového tlaku v havarijním akumulátoru během jeho vyprazdňování, což ukazuje výše popsaný obr. 2. K obr. 3 nutno ještě podotknout, že je z důvodu "čitelnosti" velmi stylizován zejména v části dolní mezní křivky, tj. vlevo od kritického bodu K, resp. v oblasti podchlazené vody, v níž izobary téměř splývají. Na obr. 4 je vidět jak vstupní a výstupní rozdíly teplot obou médií, tak i přibližné průběhy teplot T podél teplosměnné plochy F ve výše uvedeném výměníku tepla. Čára 1-2 patří mediu hnacímu, odebíranému ze sekundárního okruhu a čára 3-4 hnané dochlazovací bōrované vodě.

Konkrétní orientační úvahy byly vztaženy k zařízení pasivního podsystemu havarijního dochlazování tlakovodního, resp. vodovodního jaderného reaktoru o tepelném výkonu okolo 3000 MW, kde parogenerátory produkují sytou páru o tlaku přibližně 6,3 MPa.

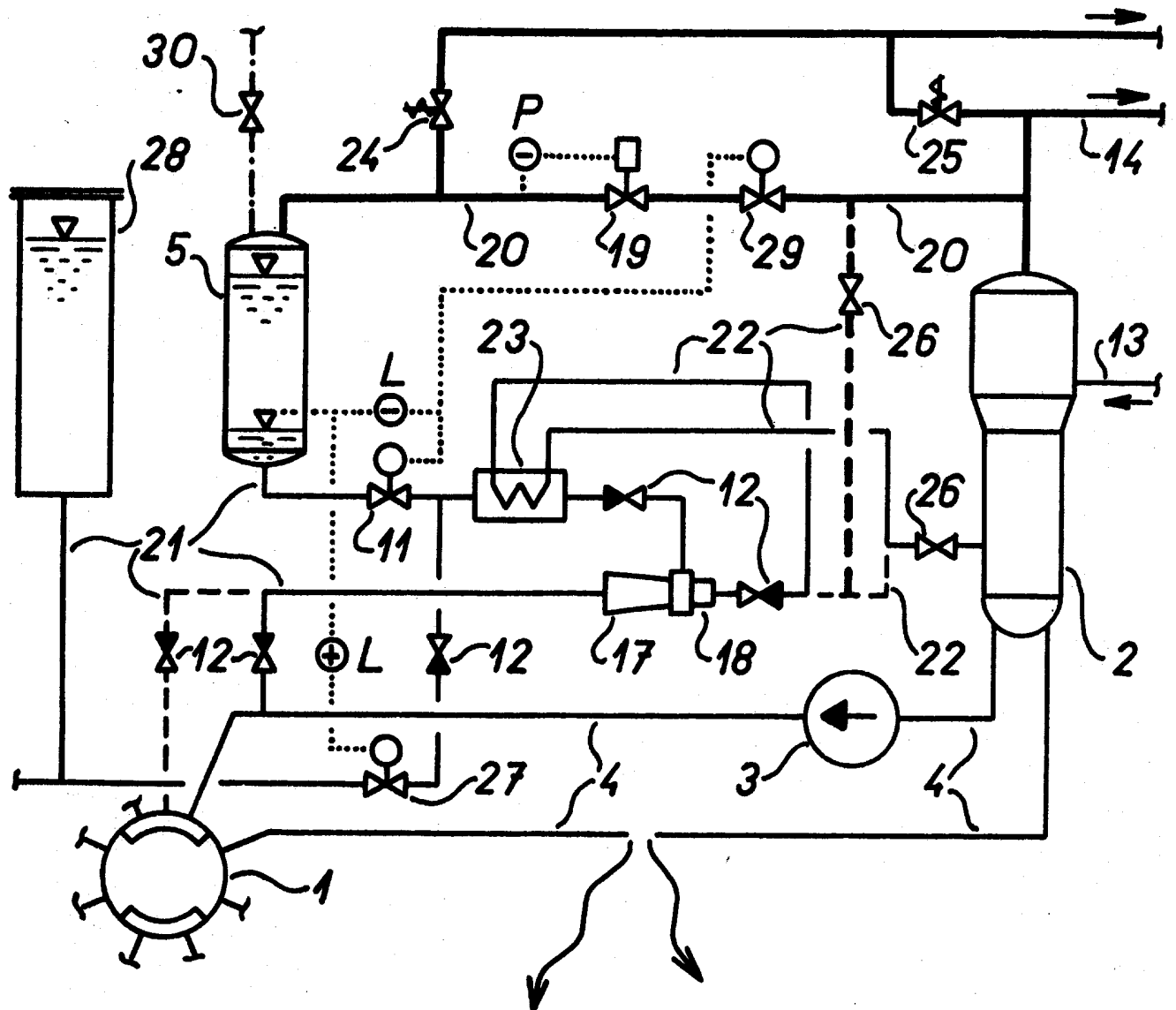
Možno předpokládat, že po pečlivém vývoji a důkladném experimentálním ověření i provozním odzkoušení na příslušných zkušebních zařízeních pro výzkum vodovodních reaktorů se

ukáže všeobecná výhodnost instalace předmětného přidavného zařízení. Pak by se rychlá aplikace výše uvedeného přidavného zařízení týkala i současné realizační etapy čs. jaderného programu.

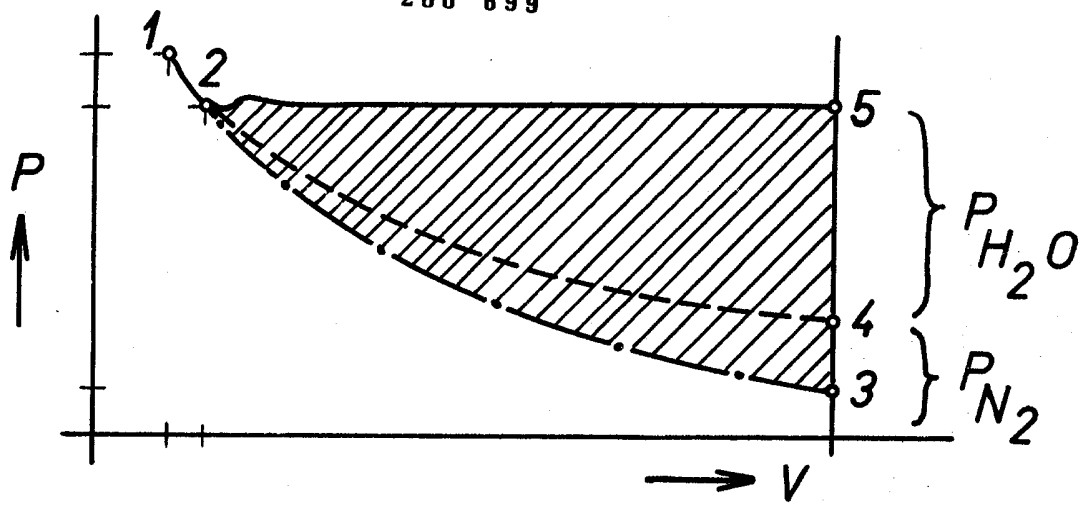
PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Zařízení pasivního podsystemu havarijního dochlazování tlakovodního jaderného reaktoru pro provádění způsobu havarijního dochlazování tlakovodního jaderného reaktoru podle čs. autorského osvědčení č. 190161, vyznačené tím, že mezi havarijní akumulátor /5/, respektive zásobní nádrž /28/ a primární potrubí /4/ nebo reaktor /1/ je v potrubí dochlazovací borované vody /21/ zařazen injektor /17/, jehož hnací dýza /18/ je přímo nebo nepřímo napojena na sekundární stranu parogenerátoru /2/, respektive na sekundární okruh centrály, přičemž v parním přívodním potrubí /20/ mezi parogenerátor /2/ a havarijní akumulátor /5/ je umístěna připouštěcí redukční armatura /19/.
2. Zařízení podle bodu 1, vyznačené tím, že v potrubí dochlazovací borované vody /21/ je zařazen před injektorem /17/ tepelný výměník /23/.

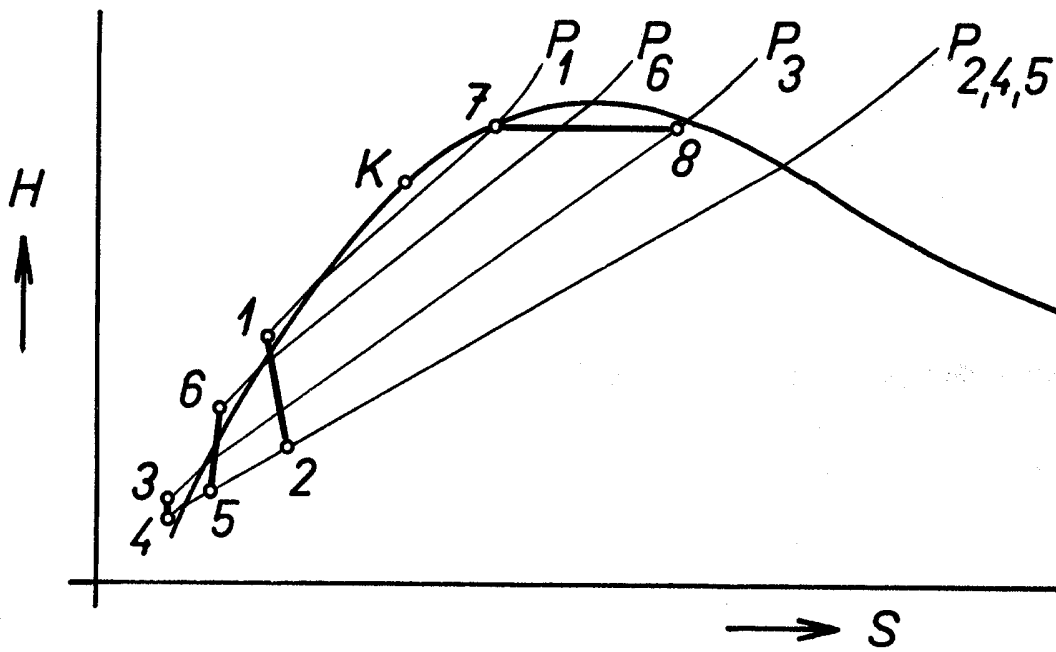
4 výkresy



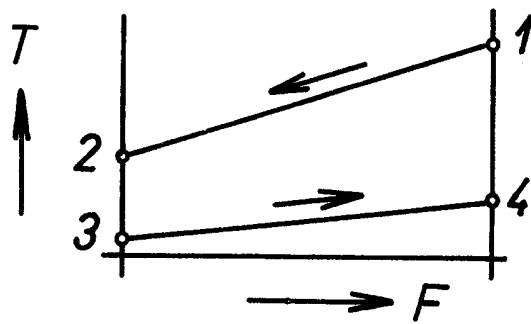
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4