Jaderná puma a její výroba v amatérských podmínkách

Mezi nejkrásnější efekty, které je možno vytvořit, patří jaderný výbuch. V nepatrném okamžiku se uvolní ohromné množství energie, které zbytek nálože odpaří a promění v ideální plazma o teplotě několika miliónů kelvinů. Toto se navenek projevuje jako nesmírně jasná, krásná a rozpínající se koule ohně, šířící kolem sebe tlakovou vlnu ničící vše živé i neživé a zametající zemský povrch. Tlakovou vlnu předchází vlna světelná a tepelná, které trvají několik sekund a způsobují oslepnutí a až smrtelné popálení nechráněných osob. Jsou provázeny rádiovým zářením, zářením gama a neutrony. Rádiový a magnetický impuls působí poškození elektroniky, radiační vlna působí silně ionizačně, čímž se narušuje struktura např. živé tkáně a dochází k poškození živých organismů, v konečném důsledku vždy smrtelného (čímž vás samozřejmě nechci odradit od konstrukce takovéhoto veselého zařízeni, vždyť jednou tam musíme všichni. . .).

Sekundárním důsledkem jaderného výbuchu je radioaktivní zamoření rozsáhlého prostoru, což však jeho obyvatele, zejména z blízkosti epicentra výbuchu, už nemusí zajímat.

Ionizující záření vyvolává fragmentaci molekul, denaturaci bílkovin, štěpení aminokyselinb a vznik amoniaku a sulfanu, vznik vodíku a kyslíku z vody, inaktivaci enzymů, polymerizaci a depolymerizaci makromolekul – fragmentaci chromozómů a genetickým poruchám, v extrémních dávkách až lýzi buňky. Podprahovou dávku nelze nijak pocítit. Vyšší dávky, působící již dosti škodlivě, se pociťují jako stav kocoviny po vypití většího množství alkoholu (tzv. rentgenová kocovina).

Mírné přechodné zarudnutí kůže způsobuje již místní ozáření 5 Gy. Při dávce 10–20 Gy se kůže rozpadá, objevují se vředy. Za dva týdny vypadají vlasy a byla-li celková dávka vyšší než 5 Gy, již nenarostou.

Prodromální reakce se projevuje až se zpožděním. Charakterizují ji obtíže zažívací a nervové, nechutenství (12 000 Gy), nevolnost (1 700 Gy), únavnost (180 000 Gy), skleslost, pocení, bolesti hlavy a apatie, někdy střídaná neklidem. Již malé dávky způsobují poškození kostní dřeně s následnou anémií a poškozením, eventuelne selháním imunity organismu. Při vyšší dávce se objevují zvracení (210 000 Gy), průjmy (2 400 000 Gy) a časté krvácení. Dávka 280 000 Gy působí po krátke době smrt, smrt do 30–60 dnů (pro 50% subjektů) nastává pro jednorázové ozáření cca 4,5 Gy (odhad individuálně kolísá mezi 2 a 7 Gy). I velmi nízké dávky působí silně teratogenicky.

Pozdní projevy záření jsou například poškození kůže – rozšíření kožních cévek, zvýšená pigmentace, někdy i odumírání a zvředovatění, často vedoucí až ke vzniku rakoviny. Dosti běžný je i zákal oční čočky, zhoršující zrak až k slepotě. Zvýšený sklon k tvorbě nádorů přetrvává až desítky let, stoupá též pravděpodobnost vzniku leukémie. Asi 0,5 % populace je citlivá už na dávku 1 Gy. Řada farmakologických preparátů, radioprotektiv, může zčásti zmírnit účinky záření. Většinou jde o látky obsahující síru, v nouzi lze použít i vaječný bílek ve větším množství. Tyto látky se však musí užít asi půl hodiny před předpokládaným ozářením.

Nebezpečnost radioaktivního záření spočívá hlavně v jeho smyslové nezjistitelnosti. Vysoké intenzity záření způsobují modravou fluorescenci očního obsahu, uvidíte-li však někdy něco takového, pište závěť, neboť se v dalších několika hodinách nebo možná i dnech rozloučíte s vaší pozemskou existencí. Somatické příznaky nejsou žádné, eventuelní nepříjemné pocity jsou již příznaky rozvíjející se nemoci z ozáření.

Principem jaderné pumy je náhlé uvolnění velkého množství energie ve formě elektromagnetického záření pestré palety vlnových délek a kinetické energie vzniklých částic. Tato energie vzniká při štěpení atomového jádra za dodání malého množství energie zachyceným neutronem. Z přirozených nuklidů je pouze nuklid ^{235}U schopný samovolného štěpení jádra po záchytu tepelného neutronu.

Jádro tohoto izotopu uranu je již v klidovém stavu deformované, po zachycení neutronu se rozkmitá a posléze se zaškrcuje a rozpadá na dvě štěpné trosky, 2–3 neutrony (ale někdy i 0–8) štěpící další jádra a způsobující řetězovou reakci a několik kvant záření γ. Štěpné reakci však konkuruje reakce (n, γ), protože emise fotonu je alternativní metoda ztráty energie. Neutron však může být zachycen i jádrem ^{238}U, přičemž probíhají reakce $^{238}\mathrm{U}(\mathrm{n}, \gamma) \to {}^{239}\mathrm{U}$, $^{239}\mathrm{U} \to {}^{239}\mathrm{Np} \to {}^{239}\mathrm{Pu}$. Této reakce se využívá v tzv. množivých reaktorech, perspektivních pro jadernou energetiku, protože vznikající plutonium lze použít jako štěpný materiál pro jadernou reakci. Štěpná reakce probíhá podle rovnice:

$$ {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}\mathrm{U} \to {}^{\mathrm{A1}}_{\mathrm{Z1}}\mathrm{L} + {}^{\mathrm{A2}}_{\mathrm{Z2}}\mathrm{M} + z\,{}^{1}_{0}\mathrm{n} + x\,\gamma $$

kde Z1 + Z2 = 92, A1 + A2 + z = 236 a $\bar{z} = 2{,}41$. Produkty štěpné reakce jsou velmi různorodé. Může vzniknout přes 90 různých jader s výtěžky mezi 0,001 ppm až 7 %. Maximální výtěžky jsou při štěpení tepelnými neutrony v oblasti jader s A = 85–105 a A = 130–150, při štěpení rychlými neutrony (obvyklé v množivých reaktorech a zejména v jaderných zbraních) mezi 158–178. V nezanedbatelném množství vzniká ještě třetí jádro – tzv. minoritní štěpná troska, kterou je obvykle tritium, helium, lithium či beryllium. Poměr A/Z u vznikajících jader je stejný jako u ^{236}U, tedy 1,57 což je pro dané nuklidy nevýhodné a poměr se upravuje negatronovou přeměnou v kratších či delších generických řetězcích (lze odvodit z tabulkových údajů). Celková energie uvolněná při štěpné reakci je 211 MeV (včetně energie vzniklé při radioaktivních přeměnách sekundárních produktů – cca 14 MeV). Z toho využitelná energie se počítá cca 201 MeV, neboť asi 10 MeV odnášejí neutrina, která mají obrovskou pronikavost.

Vlastní řetězová reakce bohužel nemá 100%-ní účinnost, protože část zasažených jader se nerozštěpí, část neutronů je pohlcena neštěpitelnými příměsmi a konstrukčními prvky a část neutronů ze soustavy uniká. Na těchto vlivech závisí hodnota multiplikačního faktoru k, což je poměr počtu neutronů vzniklých štěpením k počtu neutronů pohlcených v soustavě za určitý časový interval. Je-li $k > 1$ (čím větší, tím lépe), dochází k řetězové štěpné reakci se všemi důsledky (světelné a zvukové efekty).

Kritická hmotnost soustavy je stav, kdy je únik neutronů z povrchu soustavy kompenzován zvýšením počtu neutronů vzniklých v celém objemu soustavy. Závisí na složení soustavy (neúčinné zachycování neutronů), materiálu okolí (odraz uniklých neutronů zpět do soustavy – použitím neutronových zrcadel lze kritickou hmotnost soustavy značně snížit) a geometrické formě (na té závisí počet uniklých neutronů – nejlepší je koule). Kritické hmotnosti je v soustavě s kovovým uranem možné dosáhnout jen zvýšením podílu štěpitelného izotopu – obohacováním uranu. Pro uran obohacený na 90 % je to 24,5 kg pro kouli obklopenou vodou (doporučuji použít neutronová zrcadla a přidat malé množství moderátoru – snížení pravděpodobnosti neúčinného záchytu neutronu (pozn.aut.)).

U termojaderné pumy se využívá principu jaderné fúze. Vysokou vazebnou energii vztaženou na 1 nukleon má helium ${}^4_2$He, proto se jádra s nižší vazebnou energií mohou přeměňovat na helium. Reakce mohou probíhat pouze za velmi vysoké teploty a tlaku (zajistí jaderná puma). Při výbuchu vodíkové pumy připadají v úvahu tyto reakce (zobrazené vedľa), (a některé další):

$$^1\mathrm{H} + {}^1\mathrm{H} \rightarrow {}^2\mathrm{H} + {}^{\ 0}_{+1}\mathrm{e}$$
$$^2\mathrm{H} + {}^1\mathrm{H} \rightarrow {}^3\mathrm{He} + \mathrm{g}$$
$$^2\mathrm{H} + {}^2\mathrm{H} \rightarrow {}^3\mathrm{H} + {}^1\mathrm{H}$$
$$^2\mathrm{H} + {}^2\mathrm{H} \rightarrow {}^3\mathrm{He} + {}^1_0\mathrm{n}$$
$$^3\mathrm{H} + {}^2\mathrm{H} \rightarrow {}^4\mathrm{H} + {}^1_0\mathrm{n}$$
$$^3\mathrm{He} + {}^3\mathrm{He} \rightarrow {}^4\mathrm{He} + {}^1\mathrm{H} + {}^1\mathrm{H}$$
$$^6\mathrm{Li} + {}^1_0\mathrm{n} \rightarrow {}^4\mathrm{He} + {}^3\mathrm{H}$$
$$^2\mathrm{H} + {}^1\mathrm{H} \rightarrow {}^2\mathrm{H} + {}^{\ 0}_{+1}\mathrm{e}$$

Při každé z těchto reakcí se uvolní 2–18 MeV energie (vyjma poslední reakce, kde se 2,5 MeV spotřebuje). Tato uvolněná energie mnohonásobně zvyšuje účinnost vodíkové pumy oproti pumě jaderné. Jaderná puma se zde používá pouze jako rozbuška. Smrtící účinek má vlna záření, tlaková vlna a vysokoenergetické neutrony.

Rozeznáváme tři základní typy jaderných pum:

- klasická jaderná puma – Jde o základní typ, jehož princip je popsán výše.
- termojaderná puma – U tohoto typu se uvolňuje větší množství energie, jejíž hlavní část pochází z termojaderné reakce. Konstrukčně jde o klasickou nálož (zdroj aktivační energie) obalenou vrstvou hydridu a deuteridu lithného LiH a LiD (neškodně vyhlížející bílý prášek).
- neutronová puma – Tento typ má omezenou emisi elektromagnetického záření, ničivý účinek je směřován především proti živé síle a je zapříčiněn emisí velkého množství vysokoenergetických neutronů, získaných reakcí ^{9}Be(a, n) → ^{12}C a zejména reakcí $^9Be(\gamma, n) \rightarrow {}^8Be$. Konstrukčně jde o klasickou nálož (zdroj záření gama) obalenou berylliovým pláštěm. Puma má snížené mechanické destrukční účinky.

Základním problémem je dostatečné množství štěpného materiálu. Musí jím být buď uran (izotop ^{235}U) nebo plutonium (izotop ^{239}Pu), který navíc musí být dost čistý (alespoň 95 %, raději více). Máte-li dostatečné množství finančních prostředků, můžete si jej opatřit na černém trhu, nejlépe z bývalého Sovětského svazu – odtamtud je nejlevnější. Pravděpodobně však nebude mít požadovanou čistotu. Nezoufejte, přečistit se dá.

Při nedostatku peněz existují dvě řešení. Zpracování uranové rudy vylučuji, jde o práci nevděčnou a v domácích podmínkách neuskutečnitelnou – bylo by nutno zpracovat několik desítek tun rudy (nebo spíše mnohem více). Zbývá tedy zpracování vyhořelého jaderného paliva.

Jak sehnat vyhořelé palivo vám neporadím z důvodů možné cenzury časopisu. Legálně to však asi nepůjde, doporučuji tedy sklady jaderného odpadu – při důkladné přípravě se vám snad podaří příslušné množství "ojetých" palivových tyčí sehnat.

Nejsnáze si opatříte palivové tyče z lehkovodního reaktoru, označovaného VVER, u nás VVER-440 v Jaslovských Bohunicích a v Dukovanech, nebo VVER-1000 v Temelíně.

Do jaderného reaktoru se palivo vkládá v tzv. palivových kazetách. Aktivní zóna reaktoru obsahuje několik set takovýchto palivových kazet. Palivová kazeta se skládá ze 100–200 palivových prutů, délkou odpovídajících výšce aktivní zóny reaktoru – t.j. 2–3 m. Palivový prut je tvořen tyčí o průměru 10 mm, složené z na sobě postavených tablet sintrovaného UO_2 hermeticky uzavřených v trubce ze speciální slitiny zirkonu. Vsázka uranu do reaktoru VVER-440 je 42 t obohacených na 3,5 %, pro reaktor VVER-1000 je to 66 t obohacených na 3,3–4,4 %. Palivové pruty mají délku 2 500 mm pro VVER-440 nebo 3 500 mm pro VVER-1000.

Velmi důležitou hodnotou pro vyhořelé jaderné palivo je stupeň vyhoření. Udává se nejčastěji jako poměr množství uvolněné tepelné energie ku původnímu množství jaderného paliva. Prakticky se udává v jednotkách MW · den/tuna paliva.

Vyhoření 10 000 MW · dní/1tunupaliva odpovídá cca 12,3 kg spotřebovaného štěpného materiálu, což odpovídá asi 1,2 % paliva. V současných tepelných reaktorech se dosahuje vyhoření 10 000–35 000 MW · dní/t (1–3,5 %).

Velmi důležité je též izotopové složení vyhořelého paliva. Je podstatně závislé na stupni vyhoření. Obsah nuklidů v použitém palivu udává následující tabulka (hodnoty v kg/t uranu), (viď tabuľka):

nuklid	stupeň vyhoření		
	17700	24300	31800
^{235}U	19,0	15,9	11,8
Pu	7,56	10,5	10,2
^{239}Pu	5,60	7,42	6,27
^{237}Np	0,21	0,46	0,47
^{241}Am	0,09	0,12	0,14
^{244}Cm	–	0,008	0,016
^{137}Cs	0,80	0,88	1,12
^{90}Sr	0,29	0,36	0,47
^{99}Tc	0,43	0,58	0,77
Pd	0,41	0,72	–

Z tabulky vyplývá, že základními izolovatelnými aktivními komponenty jsou uran a plutonium. Jelikož se vám pravděpodobně nebude chtít zpracovávat více než 1,5–2 tuny výchozího materiálu, mohli byste zkusit smísit kovový uran s plutoniem – teoreticky by to nemělo být na újmu účinnosti konstruovaného přístroje.

První fází zpracování štěpného materiálu je odstranění obalů a převedení do roztoku. Pro nejčastěji používané palivo ve formě UO_2 pokrytého nerezavějící ocelí nebo slitinou zirkonu je nejlepší obaly odstranit mechanicky (odsoustružením či odřezáním – jen pro silné povahy) nebo otavit. Tablety spolu se zbytkem pokrytí se rozpustí v zředěné HNO_3 s přídavkem malého množství HF. Roztok se filtrací zbaví nerozpuštěných částí. Obsahuje velké množství uranu (1 až $2\,\mathrm{mol}\cdot\mathrm{dm}^{-3}$), plutonium a ostatní v tabulce uvedené nuklidy.

POZOR – při rozpouštění unikají plynné nebo alespoň silně těkavé radioaktivní produkty – jod, ruthenium, xenon, krypton. Vystavovat se jejich působení se nedoporučuje – kdo by chtěl přijít o život ještě před dokončením práce? Je tedy nutno je zachycovat (vzhledem k jejich chemickým vlastnostem je to činnost velmi nevděčná), nebo vypouštět do okolí, pokud možno ve větší vzdálenosti od vás a v méně obydlené oblasti – kdo by stál o předčasné prozrazení?

Máme tedy kyselý roztok dusičnanu uranylu, plutonia a ostatních aktivních i neaktivních nuklidů. Jako separační metodu doporučuji ověřený a celosvětově používaný proces Purex. Tento proces využívá dobrou extrahovatelnost uranu a plutonia z tohoto roztoku roztokem tributylfosfátu $(CH_3CH_2CH_2CH_2O)_3PO$ označovaného zkratkou TBP v petroleji nebo v CCl_4. Nejlepší extrahovatelnost vykazuje plutonium v oxidačním stavu IV, proto se do výchozího roztoku přidává dusitan sodný, který jej v tomto stavu stabilizuje. Z roztoku 3 M HNO_3 o obsahu uranu $0{,}03\,\mathrm{mol}\cdot\mathrm{dm}^{-3}$ lze 30%-ním roztokem TBP v petroleji získat až 89 % U a 60,7 % Pu (poměr vodné a organické fáze je 1 : 1). Naproti tomu ostatní štěpné produkty se v roztoku TBP téměř nerozpouštějí. Z toho vyplývá, že nejlepší výtěžky dosáhnete při alespoň dvojí extrakci.

Plutonium v oxidačním stavu III je na rozdíl od plutonia v oxidačním stavu IV v roztoku TBP téměř nerozpustné. Lze jej odstranit selektivní redukcí kyselým roztokem nejlépe amidosíranu železnatého a poté odstraněním z vodné fáze a redukcí na kov, nejlépe vodíkem.

Uran se dá z roztoku TBP reextrahovat vodou nebo velmi zředěnou kyselinou dusičnou. TBP se regeneruje a opakovaně používá, uran se převede na těkavý fluorid, dělí izotopovou separací například na skleněné membráně a nakonec redukuje nejlépe vodíkem na čistý kov.

Zajímavá metoda zpracování použitého paliva je fluorace oxidového paliva rozpuštěním v kyselině fluorovodíkové nebo působením elementárního fluoru (jen pro silné povahy), oddělením těkavých fluoridů a poté jejich frakční destilací, u uranu i izotopovou separací a následnou redukcí vodíkem získat čisté kovy. Teploty varu udané ve %C jsou vypsány v následující tabulce:

fluorid	barva	teplota tání	teplota varu
UF4	zelený	1003	1418
UF6	bezbarvý	64,5	56,6(subl.)
PuF4	černý	1037	
PuF6	červený	50,75	62,3
ZrF4	bílý		600 (subl.)
CsF	bezbarvý	682	1251
FeF2	bílý	1100	
FeF3	zelený	1027	1327

Z tabulky vyplývá poměrně jednoduchá oddělitelnost jednotlivých fluoridů. Vzhledem k malému rozdílu mezi teplotou varu UF_6 a PuF_6 doporučuji oddestilovat jejich směs a oba fluoridy oddělit od sebe destilací za použití kolony. Přípravu fluoridů je nutno provádět v oxidačním prostředí, aby bylo dosaženo maximálního výtěžku jediných dvou těkavých fluoridů a nevznikal výtěžek snižující netěkavý UF_4 a PuF_4. Jako oxidační činidlo doporučuji použít malý přídavek HNO_3 nebo $K_2Cr_2O_7$.

Při použití suché a zejména mokré metody separace je třeba věnovat velkou pozornost kritickému množství, zejména při mokré separaci, kde voda působí jako moderátor. Překročíte-li toto množství, těšte se na rychlý vzrůst teploty a radiace a následné destrukce zařízení i vaší ctěné osoby, nehledě na nežádoucí upozornění okolí zvukovými a možná i světelnými efekty. Začne-li vám podezřele růst teplota v nádobě s radionuklidy, neprodleně přelijte část obsahu nádoby do nádoby jiné, pokud možno vzdálenější. Že jste to nestihli? Omlouvám se, měli jste být rychlejší.

Získaný UF_6 obsahuje šeredné množství neštěpitelného izotopu, pro výrobu jaderné pumy nepoužitelného až škodlivého. Izotopová separace je však v domácích podmínkách obtížně použitelná. Ultracentrifugu o dostatečné kapacitě se vám pravděpodobně opatřit nepodaří, fotochemická metoda vyžaduje nedostupný zdroj záření o přesné vlnové délce a metoda termodifúze není vzhledem k technickým problémům dost dobře možná, zbývá tedy metoda difúze.

Metoda difúze se vyznačuje drobnou nevýhodou – je velmi pomalá, vyžaduje speciální membrány a mnoho separačních jednotek zapojených za sebou podle následujícího schématu (teorií funkce se nebudu zabývat).

Pro požadovanou čistotu izotopu je bohužel nutno zapojit za sebe až 2 300 separačních jednotek. Produktivita je asi 1–2 $\mathrm{g}^{235}U$ na $1\,\mathrm{m}^2$ membrány za rok.

Vlastní technické provedení separátoru je možné realizovat jako dlouhou trubku, v níž je uprostřed upevněna trubka tvořená membránou:

```
                       +====
                       |     > ochuzený tok
                       | +==
            +==========+ |
            |  podtlak   |
          ==+------------+==
nástřik >     přetlak       > obohacený tok
          ==================
```

Závěrem základní pravidlo: čím větší povrch membrány, tím vyšší rychlost separace.

Jinou perspektivní metodou je separace ve velmi silném magnetickém poli tvořeném supravodivým magnetem (jehož konstrukci popíšeme dle zájmu čtenářu jindy nebo nikdy) ponořeném do kapalného dusíku.

POZOR!!!

Při této fázi výroby je nutno více než kdekoliv jinde dávat pozor na kritické množství! Aparatura je velmi drahá (a její získání jinou cestou než koupí obtížné), byla by jí škoda.

Máte-li alespoň 25 kg čistého uranu 235, plutonia 239 nebo slitiny obou, máte nejobtížnější část za sebou. S větším množstvím nedoporučuji pracovat, neboť vzniklé potíže amatér nezvládne. Nyní přichází finále výroby – konstrukce vlastní jaderné pumy.

Nejprve si připravíte dvě stejné části polokulovitého tvaru. Jedna z možností je kov roztavit v ochranné atmosféře (například dusíkové), jinak riskujete, že kov vzplane, což by bylo nejen nebezpečné, ale byla by to i škoda, navíc se uvolňují radioaktivní výpary. Ale protože po redukci vodíkem získáte kov v podobě jemného prášku, doporučuji jej slisovat do požadovaného tvaru.

Pochopitelně jste kovový prach neskladovali všechen pohromadě, protože jinak by byl můj další výklad zcela zbytečný a vy byste byli rozptýleni v podobě jednoduchých molekul a radikálů ve stále se rozpínající části atmosféry.

Nyní je nutno sehnat nebo dle snadno sehnatelných receptů (kvůli jistému členovi redakce nesmím uveřejnit pramen, který však jistě všichni sami znáte) vyrobit něco výbušniny, nejlépe TNT nebo kyseliny pikrové. V případě horizontálního postavení vlastního přístroje doporučuji spíše jakékoliv raketové palivo.

Pro začátečníky doporučuji nestavět hned rakety, ale umístit nálož do nějaké budovy. Je-li alespoň jednopatrová, můžete postavit vertikální konstrukci, je-li pouze přízemní nebo jde-li o sklep, pak (pokud nechcete kopat šachtu, což je práce nevděčná a nedůstojná) se musíte spokojit s horizontální konstrukcí.

Vertikální konstrukce se skládá ze tří alespoň šestimetrových rovnoběžných svislých trubek postavených v rozích rovnostranného trojúhelníku. Dolů upevníte jednu polokouli hladkou plochou nahoru, nahoře na lyžinách bude spočívat druhá polokoule, hladkou plochou dolů. Samozřejmě že se má setkat s tou spodní. Doporučuje se horní polokouli blokovat např. ocelovým lankem přiměřené tloušťky. Nad polokoulí umístíme vhodně tvarovanou nálož, která jí ve správném okamžiku odmrští směrem dolů (a přetrhne to lanko, proto mělo být příliš silné, dovedete si představit tu ostudu kdyby vám to nevyšlo?). Odmrštění je důležité, protože polokoule se spolu musí setkat po dostatečně dlouhou dobu (cca 0,5 sekundy), přestože se zpočátku vehementně odpuzují.

Horizontální konstrukce se skládá ze dvou alespoň 6 metrů dlouhých kolejnic, kde na jedné straně je upevněna polokoule rovnou plochou obrácená k druhé polokouli, upevněné na vozíku poháNitelném raketovými motory (ze stejných důvodů, jako je u vertikální konstrukce použita výbušnina, ale zde musí vyvinutý tah trvat déle). Kolejnice by měly mít stoupání 2–3 % aby se vozík samovolně nerozjel. Jinak byste byli úspěšnějším konstruktérům k smíchu.

V obou případech se doporučuje k roznětce zažehávající raketový motor či výbušninu připojit časovač. Zde se nedoporučuje příliš šetřit, pořiďte přístroj přesný a spolehlivý, protože by nebylo nejefektnější, kdyby vaše dlouholeté snažení skončilo fiaskem. Dobu odpálení načasujte asi za 12 hodin a zmizte co nejdál. Pak z bezpečné vzdálenosti pozorujte výsledný efekt.

Během výroby pozor na záření – můžete dostat smrtelnou dávku ani se nedozvíte jak.

Použitá a doporučená literatura:

Navrátil a kol. – Jaderná chemie

Šulc, Dvořák, Morávek – Člověk na pokraji svých sil

Branná výchova pro 1. ročník

Chemické tabulky anorganických sloučenin