



Středoškolská technika 2014

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na
ČVUT**

Jaderné zbraně a šíření spadu

Marek Tošovský

Gymnázium Botičská

Botičská 1, Praha 2

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jakuba Šafaříka. Dále prohlašuji, že práci jsem vypracoval pomocí legálního programového vybavení a uvedl jsem veškeré zdroje informací.

.....
Marek Tošovský

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Jakubovi Šafaříkovi za vedení práce a za jeho nápadité náměty k praktické části. Dále chci poděkovat svým rodičům za sponzorování mého projektu a mámě za to, že vydržela ten nepořádek.

Anotace

Terorismus je v dnešní době aktuálnější téma, než kdy dříve, nevyjímaje možné útoky za použití zbraní hromadného ničení, tedy i těch atomových. V teoretické části vysvětlím princip fungování nukleárních a termonukleárních zbraní, dále rozdělím mezi nimi a přiblížím jejich výrobu. V mé praktické části budu simulovat rozprášení radioaktivního materiálu nad územím a budu zjišťovat, jak terén a vítr ovlivňují rozptyl spadu.

Obsah

Úvod	9
Přehled literatury	10
Jaderné zbraně.....	10
Základní rozdělení.....	10
Jednofázové jaderné zbraně.....	10
Vhodné izotopy a jejich příprava	11
Konstrukce jednofázových jaderných pum	13
„Gun-type“ bomba	13
Implozivní bomba	13
Dvou a třífázové jaderné zbraně.....	14
Syntéza a vhodné izotopy	15
Teller-Ulamova konstrukce.....	16
Neutronová bomba.....	17
Slaná bomba	18
Špinavá bomba	18
Metodika.....	19
Testovací komora.....	19
Měření.....	19
Zpracování.....	21
Výsledky a diskuse.....	22
Výchozí hodnoty.....	22
Měření s obvodem A.....	23
Kužel	23
Půl-válec.....	24
Čtvrt-hranol	25
Měření s obvody AB.....	26
Kužel	26

Půl-válec.....	26
Čtvrt-hranol.....	27
Shrnutí.....	28
Finální pokus.....	29
Předpoklady.....	29
Výsledky.....	31
Závěr.....	31
Seznam literatury.....	32
Přílohy.....	34

Úvod

Děje na úrovni atomů jsou fascinující, okem nepostřehnutelné, ale tak silné a s velkým potenciálem. I tím ničivým. To je důvod, proč jsem si vybral právě toto téma. Chtěl jsem se dozvědět něco víc o fungování tohoto neviditelného světa, poskytnout nabyté informace ostatním a snad i někoho nadchnout tímto tématem.

Vymyslet vhodné téma pro praktickou část nebyl jednoduchý úkol. Člověk si prostě sám doma nukleární pumu nesestrojí. Proto jsem se vydal jinou cestou a rozhodl se vyzkoušet, zda dokážu vytvořit něco originálnějšího. Tak se zrodil nápad na měření ovlivňování jaderného spadu větrem a terénem. Nechtěl jsem jen něco měřit, ale i zkusit něco dokázat, proto jsem si dal za úkol předpovědět chování spadu v krajině na základě dílčích měření. K těmto úkolům jsem potřeboval měřicí zařízení a prostor, ve kterém bych měřil. Pro tento účel jsem postavil komoru, ve které jsem poté prováděl všechny pokusy. K zpracování výsledků jsem používal počítač a následně i tužku a pravítko. Některé postupy a vylepšení mě napadly až při samotné práci, a právě improvizování mě na práci bavilo nejvíce.

Přehled literatury

Jaderné zbraně

Jaderná energie je všední součástí našeho života. Bez jaderných elektráren si jen těžko můžeme představit fungování moderní společnosti tolik náročné na energii. Nesmíme zapomenout ani na samotné radioaktivní záření, jež se dnes běžně používá v lékařství nebo v potravinářství. Když byla radioaktivita objevena, vědci tušili, že má obrovský potenciál. Také si ale uvědomovali rizika, která může přinést. V roce 1935 francouzský fyzik Frédéric Joliot, při přebírání Nobelovy ceny se svou manželkou Irène Joliot-Curie za objevení umělé radioaktivity (1), řekl: „*Smíme právem myslet na možnost, že vědci, kteří dovedou podle libosti prvky sestavovat a rozbíjet, uskuteční i jaderné přeměny výbušné povahy... Dokážeme-li aby se takové přeměny samy sebou v hmotě šířily, uvolní se patrně velké množství užitečné energie.*“ (2, str. 27) S rokem 1939 přišel zvrát. Začala druhá světová válka. V tu chvíli bylo jasné, že pokud někdo vytvoří zbraň s tak velkou potencialem ničivou silou, pravděpodobně válku vyhraje. A zde začíná éra atomových zbraní.

Základní rozdělení

Atomové zbraně se dělí na dva typy: termionukleární a nukleární. Nukleární zbraně jsou jednodušší konstrukce. Také se jim říká jednofázové, protože při jejich odpalu v nich probíhá pouze štěpení těžkých jader. Termionukleární zbraně jsou složitější - dvofázové nebo třífázové. Zde dochází v první řadě k štěpení těžkých jader. Za druhou fázi se označuje syntéza lehkých jader. Může být použit vodík a jeho izotopy, nebo lithium a jeho izotopy. Třetí fáze je opět štěpení těžkých jader. Tentokrát obalu, který obklopuje náplň z lehkých jader. Tato třetí fáze může zvýšit účinnost bomby až o desítky megatun. (3)

Jednofázové jaderné zbraně

Jednofázové nukleární zbraně fungují na principu štěpení těžkých jader, při kterém se uvolňuje obrovské množství energie. Pro štěpení se používají neutrony, protože nemají žádný elektrický náboj, a tak nemohou být odraženy elektrickými silami jádra a elektronového obalu. Když dojde na výběr izotopu vhodného k výrobě bomby, musíme brát v úvahu hned několik věcí. Jedno ze zásadních kritérií je, aby se po rozpadu daného izotopu uvolnil alespoň jeden neutron, který by se podílel na řetězové reakci. Pokud by tomu tak nebylo, žádná řetězová reakce by nenastala. Příkladem vhodného izotopu je uran 235. Pokud do něj narazí pomalu letící neutron,

jádro se rozpadne na dva jiné lehčí atomy, tzv. trosky, uvolní se velké množství energie, až 200MeV, a také dva až tři neutrony. To znamená, že na jeden spotřebovaný neutron, nám vzniknou dva až tři nové. Počet jader vstupujících do reakce se nám tedy geometrickou řadou zvyšuje. Je zde však ještě jeden neméně podstatný faktor. Jádro je velmi malé oproti velikosti celého atomu. A právě do jádra se volný neutron musí trefit. Průměrná vzdálenost, kterou neutron musí urazit, aby zasáhl jádro nějakého atomu, se nazývá střední volná dráha neutronu. Pokud použijeme příliš málo štěpného materiálu, neutrony budou vylétávat do volného prostoru. Ideální je mít štěpný materiál ve tvaru koule. Ten je zvolen, protože má nejmenší povrch, tudíž i nejmenší únik neutronů do volného prostoru. Nyní si zadáme koeficient, který nám řekne, kdy bude probíhat řetězová reakce, a kdy nebude. Pokud ve štěpném materiálu na jeden spotřebovaný neutron vznikne právě jeden další, který se bude dále podílet na štěpení, koeficient bude 1. Množství materiálu je „kritické“. V případě, že na jeden spotřebovaný neutron vznikne více neutronů, které se budou podílet na štěpení dalších jader, poté je koeficient větší než jedna. Říkáme, že množství materiálu je „Nadkritické“. Pokud dosáhneme nadkritického množství, bude mít řetězová reakce povahu výbuchu. Čím větší bude koeficient, tím rychleji reakce proběhne a tím větší bude ničivá síla případné bomby. (3)

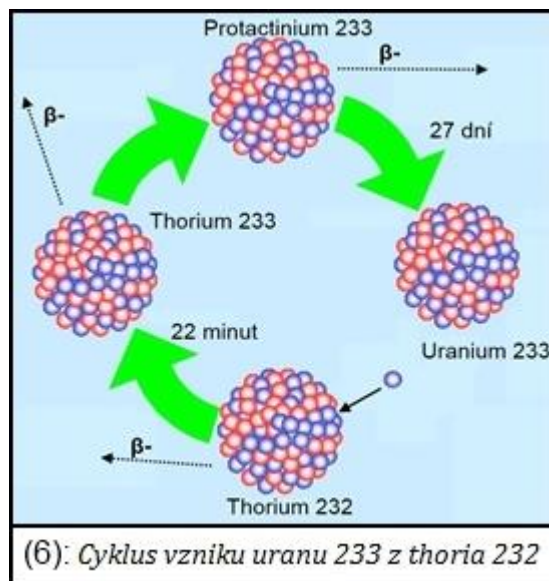
Pro zvýšení účinnosti atomové bomby, se používá několik metod. První je obalení nálože reflektorem neutronů, například beryliem. Neutron, který by za normálních okolností vyletěl do volného prostoru, je odražen zpět a dostává „další šanci“. Tím se zvýší množství neutronů, které se podílejí na reakci. Druhá možnost je použití neutronových zářičů. Ty do štěpného materiálu vysílají další neutrony, takže se nám opět zvýší počet neutronů, které se podílejí na reakci. Charakteristický pro atomové zbraně je vznik velkého množství energie za velmi malý časový úsek. Reálně tedy hrozí, že bomba exploduje ještě předtím, než většina štěpného materiálu stačí vstoupit do reakce. Tento štěpný materiál pak přijde nazmar a je rozmetán do okolí jako radioaktivní spad. A zde se dostáváme k třetímu způsobu zesílení účinku. Bud' štěpný materiál obalíme konvenční trhavinou, která při výbuchu vytvoří dostatečný tlak, aby většina jader štěpného materiálu vstoupila do reakce předtím, než se energie uvolní do volného prostoru, nebo můžeme vyrobit plášť pumy z odolného materiálu, který zamezí okamžitému roztrhnutí pumy. Tím docílíme stejného efektu. (4)

Vhodné izotopy a jejich příprava

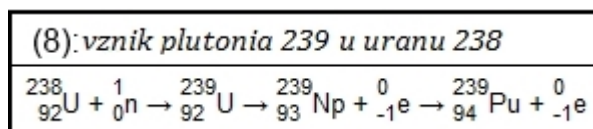
Při výběru štěpného materiálu je nejdůležitější, aby se při rozštěpení jednoho atomu uvolnila co největší energie a potřebný počet neutronů. Dále musí mít dostatečně dlouhý poločas rozpadu. Čím větší bude jeho hodnota, tím lépe. Pokud by byl příliš krátký, vyžadovala by taková bomba častou údržbu. V případě uranu známe dva jeho izotopy, které jsou vhodné pro konstrukci jaderných bomb. První je uran 235. Toho

připadá na 1 kilogram přírodního uranu zhruba sedm desetin procenta. Na vojensky čistý uran pro výrobu jaderných zbraní, je požadována koncentrace alespoň 90%. V praxi jsou tyto hodnoty ještě vyšší. (3) Uran se v přírodě vyskytuje jen ve sloučeninách. Pro získání čistého uranu musíme provést několik náročných kroků. Na konci tohoto procesu dostaneme čistý kovový uran. Ten obsahuje, jak již bylo zmíněno, jen nepatrné množství potřebného uranu 235. Abychom dosáhli požadované koncentrace, používá se v současnosti nejvíce metody centrifugální separace. Zde se molekuly oddělují na základě rozdílné hmotnosti, tudíž hybnosti. Tento způsob je nejefektivnější, jak z hlediska energetické náročnosti, tak z hlediska množství získaného materiálu. Ještě před zavedením centrifugální separace, se používalo hlavně metody difuzní. Plynné sloučeniny uranu se nechávaly procházet speciálně zhotovenou porézní keramickou přepážkou. Principem bylo, že izotopy 235 jsou lehčí, tudíž oproti izotopům 238 budou o něco málo rychleji procházet přes přepážku. K tomu, abychom nakonec dostali čistý, vojensky použitelný uran 235, se musel tento proces opakovat alespoň tisícinásobně. K tomu sloužily kaskády těchto difusorů. Velkou nevýhodou je velká energetická náročnost procesu a prostor, který je potřeba pro difusory. V současnosti se tohoto postupu využívá již jen jako doplňkového procesu výroby uranu 235 v případě přebytečného množství proudu v elektrické síti. Uran 235 má poločas rozpadu $7,038 \cdot 10^8$ let. (5)

Druhý vhodný izotop je uran 233, který se získává obohacováním thoria 232. To se děje v jaderném reaktoru ozařováním thoria neutrony. Po ozáření vznikne thorium 233. Tento izotop má poločas rozpadu 22 minut. Poté se vyzářením elektronu mění na protaktinium 233. Ten je také nestabilní a radioaktivní a tak se mění na uran 233. Při tom opět uvolňuje elektron. Uran 233 má poločas rozpadu zhruba 160 000 let. (7)



Jako třetí materiál na výrobu jaderných zbraní se používá plutonium 239. To se získává ozařováním uranu 238 středně rychlými neutrony. Kdyby měly neutrony příliš velkou rychlost, hrozilo by rozštěpení uranu 238. Ovšem pomalejší neutrony uran 238 pohltí a vznikne tak nový izotop - uran 239. Tento proces probíhá v klasických jaderných reaktorech. Uran 239 je nestálý, jeho poločas rozpadu je 23,5 minuty. Vyzařuje elektron a rozpadá se na neptunium 239.



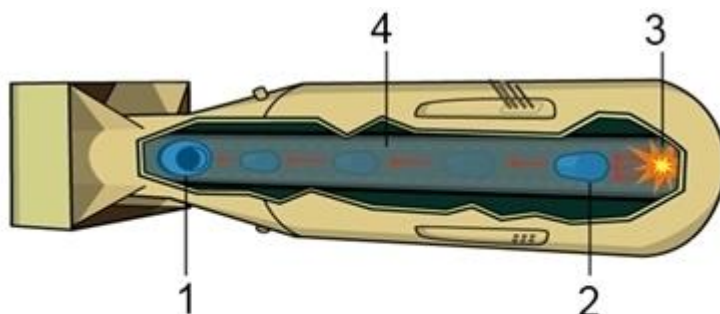
Neptunium je opět nestabilní. Jeho poločas rozpadu je 2,3 dny. β - zářením konečně vzniká požadované plutonium 239. Plutonium má poločas rozpadu 24 000let (3)

Konstrukce jednofázových jaderných pum

U jednofázových jaderných bomb rozlišujeme dvě konstrukce: implozivní a „gun-type“.

„Gun-type“ bomba

Tato konstrukce patří mezi nejjednodušší. Zároveň je však nejspolehlivější. Byla použita u atomové pumy Little boy, která byla svržena na Hirošimu. Materiál vhodný pro tuto pumu je pouze uran. Štěpný materiál je zde rozdělen na dvě podkritické části. Jedna je pevně ukotvena¹ a druhá je na pohyblivém nosiči². Pro odpálení se používá konvenční chemická trhavina³. Ta vymrští pohyblivou část štěpného materiálu vpřed trubici⁴. Na konci se srazí s druhou částí štěpného materiálu. Tak dosáhneme nadkritické hodnoty a dojde k řetězové reakci, která má za následek explozi. (4)

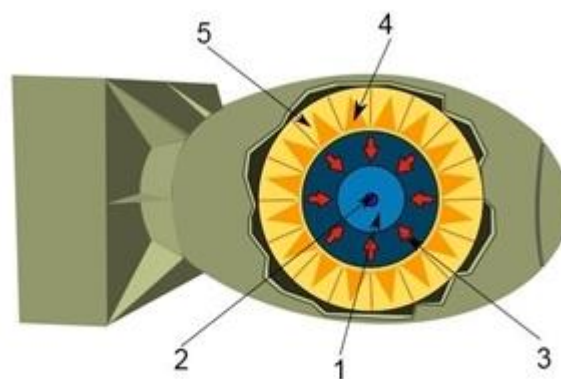


(9) Jednoduché schéma „gun-type“ bomby

Pokud chceme zvýšit tonáž bomby, můžeme vzít tři podkritická množství štěpného materiálu. Stacionární část bude uprostřed. Z obou stran bomby se pak najednou vymrští další dvě pohyblivé části. Ty po spojení se stacionární částí utvoří nadkritické množství, teoreticky o jednu třetinu větší, než jakého by se dalo dosáhnout u předchozího typu. Zde je velmi podstatné načasování, protože pokud by jedna část dorazila k stacionární dříve než druhá, následný výbuch by znemožnil účast - „opožděné“ části na reakci. (3)

Implozivní bomba

Tato bomba je poněkud složitější konstrukce. Jsou zde použity dvě polokoule plutonia 239 nebo uranu 235, 233. Ty se spojí do duté koule podkritické hodnoty¹. Doprostřed se umístí Neutronový zářič², například kalifornium, pro snadné zažehnutí reakce. Plutoniová náplň se obklopí



(10): Jednoduché schéma implozivní bomby

reflektorem neutronů³. Poslední vrstvou je konvenční trhavina, pomalá⁴ a rychlá⁵, která spouští reakci. Při detonaci roznětek exploduje konvenční trhavina. Energie z tohoto výbuchu stlačí štěpný materiál, zvýší se jeho hustota, a tak se z podkritického množství stane nadkritické. Této konstrukce bylo užito u vůbec první odpálené atomové bomby Gadget. Bomba tohoto typu, nazvaná Fat man, byla svržena na Nagasaki.

Implozivní bomba byla v mnoha ohledech lepší než „gun-type“. Pro dosažení kritického množství je potřeba menší množství štěpného materiálu. Pro příklad si uveďme, že pro bombu Little boy, která byla typu „gun-type“, bylo použito celkem 64 kg uranu. 25 kg na stacionární a 39 kg na pohyblivou část. Naproti tomu u bomby Fat man, jež byla typu implozivního, bylo použito pouze 6kg plutonia. Dnes je již možno, vhodnou konstrukcí, snížit množství potřebného plutonia až na 900g. To umožňuje použití jaderných hlavic malých rozměrů, při zachování tonáže. Postupem času se zastaralé bomby prvního typu přestaly používat. U moderních vojenských zbraní se používají pouze implozivní typ bomb. Ovšem zde již mají jinou funkci, a to zažehnutí jaderné fúze lehkých prvků v termonukleárních zbraních. (4)

Dvou a třífázové jaderné zbraně

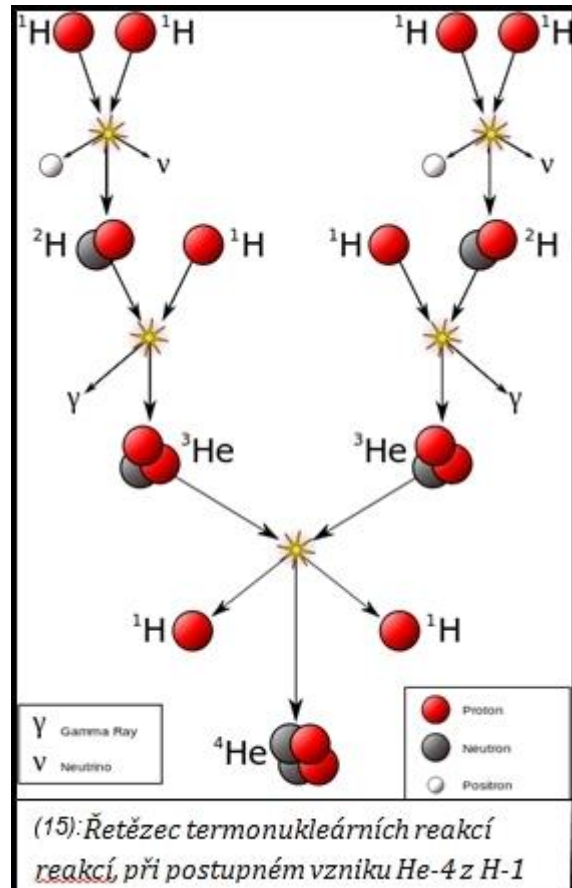
Dvoufázové jaderné zbraně se dnes využívají v raketách středního a krátkého doletu.(11) Třífázové se používají u hlavic mezikontinentálních raket, nebo do klasických gravitačních bomb.(12) Zásadní rozdíl mezi třífázovým a dvoufázovým systémem je v opláštění. U třífázového se na plášť použije například uran 238. Tím se dosáhne zvýšení účinnosti, protože se v uranu 238, ve třetí fázi, spustí řetězová reakce. Nejpoužívanější konstrukce termonukleárních zbraní je Teller-Ulamova. Edward Teller je považován za „otce“ termonukleární bomby, ovšem bez Stanislava Ulama a jeho převratné konstrukce, kterou poté Teller rozpracoval, by cíle nejspíše dosáhl později nebo vůbec. (13)

Principem termonukleárních zbraní je slučování lehkých prvků. Při tomto procesu se uvolní ohromné množství energie. Například pokud sloučíme 1kg vodíku v hélium, tak se nám uvolní zhruba 4 krát více energie, než kdybychom rozštěpili všechny atomy v 1kg uranu 235. Díky tomu jsou i rozměry těchto bomb o mnoho menší. Velkou výhodou je také to, že zde neexistuje pojem kritické množství. Fúze jader probíhá až za velkých teplot a tlaku, tudíž množství náplně může být v podstatě neomezené. Například největší odpálená termonukleární ruská bomba, „Tsar bomb“, měla ekvivalent 50 Mt. U jednofázových, implozivních bomb, je teoretické maximum síly výbuchu pouze 500 Kt. Ovšem konečná účinnost nevzrůstá úměrně s nárůstem tonáže, jak bychom si mohli myslet, ale mnohem pomaleji. Například termonukleární

puma, která bude mít tonáž 10 Mt, bude mít oproti jaderné pumě o tonáži 10 Kt, pouze 10 krát větší ničivou sílu. I tak je to ovšem obrovský nárůst. (3)

Syntéza a vhodné izotopy

Syntéza se přirozeně uskutečňuje ve hvězdách. Právě díky této reakci produkují teplo a světlo. Pro představu si uvedeme děje ve Slunci. V něm probíhá hlavně syntéza vodíku v deuterium, následně za přispění dalšího vodíku v hélium 3 a nakonec v hélium 4. Z tohoto procesu vyrobí Slunce 86% veškeré své energie. Uvolněná energie umožňuje dalším jádrům slučovat se a tak se uvolní další energie. To vyvolá řetězovou reakci. Z jednoho cyklu, který vidíme na obrázku vpravo, získáme 26,73 MeV. (14) V termonukleárních zbraních však nemůžeme použít reakce probíhající ve Slunci. Ne všechny. Trvají totiž příliš dlouho. Při konstrukci bomby se snažíme dosáhnout uvolnění co největší energie, v co nejmenším čase. V přílohách najdeme tabulku č. 1. V té jsou vypsány některé termonukleární



reakce a doba jejich trvání při teplotě $20 \cdot 10^6$ °C a energii, která se při nich uvolní. Z této tabulky jasně vyplývá, že nejvhodnější reakcí je slučování deuteria a tritia. Rychlost reakce je dostatečná a uvolněná energie je dokonce druhá nejvyšší. (3) V praxi je to ovšem velmi složité. Tritium se přirozeně v přírodě skoro nevyskytuje a musí se vyrábět uměle. Navíc je nestálé a jeho poločas rozpadu je 12,3 let. (16) V neposlední řadě je problém s jeho skladováním. Pokud bychom ho chtěli použít v termonukleární zbrani, muselo by být tritium čisté. Použití těžké vody (T_2O) není možné, protože většinu energie, by pohltily atomy kyslíku. Další variantou je kapalné tritium. To se musí uchovávat ve speciálních vakuových chladících nádobách s tekutým dusíkem. I přesto se však tritium v těchto nádob rychle vypařuje, proto tato varianta také není vhodná. Nejlépe se tritium uskládá v plynném stavu, kdy je hustě stlačené. Zde je však další problém. Pro uchování 1 kg tritia při tlaku 200 atmosfér potřebujeme tlakovou lahev, která je vysoká asi jako dospělý člověk. To

znemožňuje použití většího množství tritia, protože objem by byl příliš velký. Vědci však našli východisko. A to použití deuteridu lithia. Tato sloučenina deuteria a lithia 6 je pevná látka a má malý objem. Při zažehnutí syntézy se každý atom lithia 6 promění na tritium. To se dále sloučí se zbylým deuteriem. Použitím deuteridu lithia nám také odpadají problémy s deuteriem. To se sice získává mnohem snáze, protože v přírodě se ve stopovém množství vyskytuje a dá se oddělit od vodíku destilací, ovšem problémy s objemem jsou stejné jako u tritia. Tudíž deuterid lithia je nejlepší volbou. (3) Tritium se ale přece jen používá ve své čisté plynné formě, a to jako umocňovatel v implozivních jaderných bombách.(13)

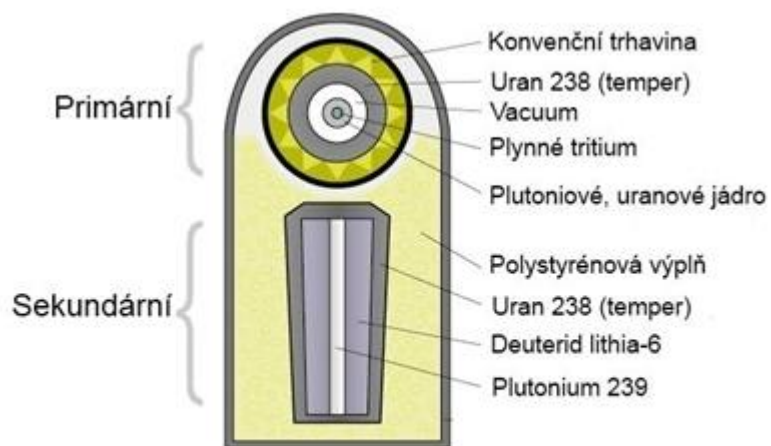
Teller-Ulamova konstrukce

Když nyní víme, jakou látku použít, můžeme si podrobněji představit Teller-Ulamovu konstrukci. Ta se používá v drtivé většině moderních termonukleárních zbraní. Může být jak dvofázového typu, štěpení-fúze, tak třífázového, štěpení-fúze-štěpení. K zažehnutí fúze se používá nukleární implozivní nálož. Tato část bomby je částí primární a její odpálení se nazývá první fáze. Konstrukce je o něco vylepšená, než u prvních bomb tohoto typu. Na povrchu je reflektor neutronů a pod ním konvenční trhavina. Pro zvýšení

účinnosti se hned pod konvenční výbušninou nenachází štěpný materiál, ale „tamper“. Ten je vyroben například z uranu 238. Štěpení se ale neúčastní, pouze udržuje štěpný materiál po hromadě o pár nanosekund déle. Tak může efektivněji proběhnout řetězová reakce. Pod touto vrstvou je vakuum, které

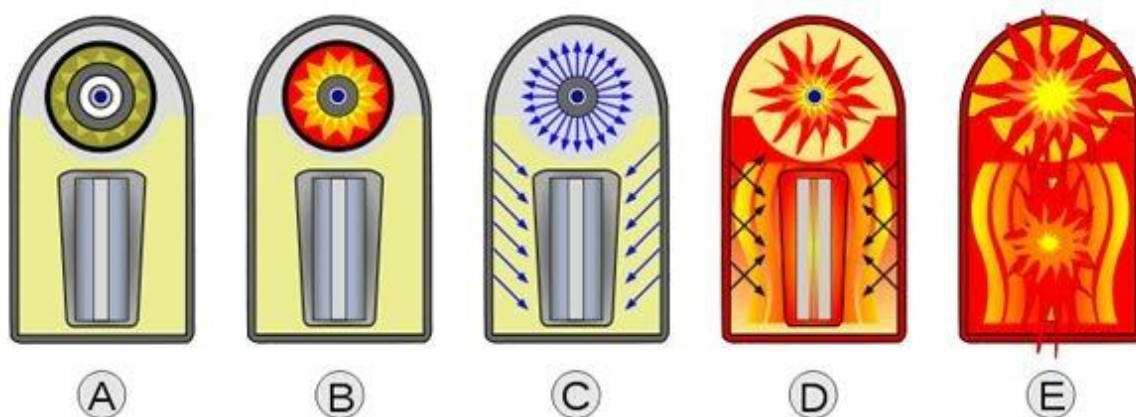
zabraňuje reakcím štěpného materiálu s jinými látkami. Předposlední vrstvou je jádro bomby tvořené buď uranem 235, 233, nebo častěji plutoniem 239. Uprostřed se nenachází zářič neutronů, jak tomu bylo u dřívějších typů, ale místo něj je zde plynné tritium, popřípadě tritium a deuterium, které plní funkci posilovače výbuchu.

Sekundární část bomby je zásobník s deuteridem lithia. Stěny jsou tvořeny z uranu 238, jež zde opět slouží jako temper. Uvnitř je deuterid lithia jako fúzní palivo. Velmi důležitou součástí je dutá tyč z plutonia 239, která je zasunuta doprostřed zásobníku. Primární část bomby se umístí nad sekundární. Volný prostor se vyplní například polystyrenem, nebo jiným lehkým plastem. Celá bomba je obalena uranem 238. Ten slouží nejen jako odražeč gama paprsků, ale také jako třetí stupeň bomby.



(17) Jednoduché schéma konstrukce Teller-Ulamovy bomby

Výbuch probíhá takto. Nejdříve je odpálena implozivní bomba a je zahájeno štěpení jádra.^(B) Jako první se začne uvolňovat rentgenové záření.^(C) To promění polystyren v horké plasma. Uran 238 na mikrosendu zadrží teplo, které by jinak zasáhlo fužní matriál. Díky tomu na sekundární část působí nejdříve tlaková síla, tím pádem i na plutoniovou tyč uvnitř. Vyvinutým tlakem dosáhne plutonium nadkritické hodnoty a začne se štěpit. Nyní na deuterid lithia působí z obou stran obrovská teplota a tlak způsobený dvěma jadernými výbuchy.^(D) Síla je dostatečná, aby se lithium přeměnilo na tritium plus jednu alfa částici a mohla proběhnout fúze s deuteriem. V tu samou chvíli je zažehnuta syntéza tritia i v primární části bomby. Vznikne hélium a jeden neutron. Samotná fúze udržuje teplotu dostatečně vysoko a po tak dlouhou dobu, aby i zbytek náplně mohl vstoupit do reakce. Při tom vzniká obrovské množství energie a rychlé neutrony. Nyní nastává třetí fáze výbuchu. Neutrony jsou tak rychlé, že dokážou rozštěpit i obal bomby z uranu 238^(E), což by za teploty a pomocí neutronů,



(19) schéma výbuchu termonukleární bomby, Teller-Ulamov konstrukce.

(A) Bomba před explozí. Primární část nahoře, sekundární dole.

(B) Výbuch konvenční trhaviny spouští štěpení

(C) Při štěpení se nejrychleji uvolňuje rentgenové záření. To prostupuje vnitřkem bomby

(D) Rentgenové záření roztaví polystyren na horké plasma, To stlačí temper sekundární části, který následně stlačí celý vnitřek a nastartuje řetězovou reakci v Plutoniu 239. V tuto chvíli většina štěpného materiálu z primární části již byla rozštěpena.

(E) Velkou teplotou a tlakem se zažehne termonukleární reakce v sekundární i v primární části bomby. Rychlé neutrony rozštěpí obal z uranu 238 a exploze se projeví navenek

vznikajících při jaderném štěpení, nebylo možné. Zde se ovšem teploty pohybují v řádech stovek milionů stupňů celsia, což udělí neutronům dostatečnou energii. (18)

Neutronová bomba

U běžných termonukleárních zbraní se konstruktéři snaží dosáhnout toho, aby se co nejmenší množství energie uvolnilo v radioaktivním záření a co největší v podobě

tlakové vlny a tepelného záření. U neutronové bomby je to naopak. Zde se klade důraz právě na vysokoenergetické záření. Nejvíce na neutronové, protože neutrony mají v porovnání s gama zářením, až desetkrát větší biologickou účinnost. Neutronová bomba je upravená dvoufázová puma s přísadkou kalifornia. Když neutron projde nějakým materiálem, nastane interakce s jeho jádrem. Materiál se pak může stát radioaktivním a ohrožovat okolí. V praxi to znamená, že pokud se použije neutronová bomba, účinek tlakové a tepelné vlny je sice potlačen, ale neutrony proniknou i přes silné stínění. Objekty, tedy i bojová technika, v zasažené oblasti se na nějakou dobu stávají radioaktivními. Až hladina radioaktivity klesne na únosnou mez, ozářená vojenská technika protivníka se dá ukořistit a opět použít. (4)

Slaná bomba

Pokud na vnější plášť třífázové termionukleární bomby použijeme místo uranu 238 nějaký prvek, který podléhá vhodným reakcím s neutrony, můžeme dát vzniknout velmi nebezpečnému radioaktivnímu spadu. Když například použijeme kobalt 59, při explozi se změní na izotop 60, který je silně radioaktivní a vyzařuje nebezpečné gama paprsky. Účelem těchto bomb je co nejsilnější zamoření daného prostoru. Prvky se používají v závislosti na požadovaném čase zamoření. Škála je velká. Například u zmiňovaného kobaltu je oblast zamořena zhruba po dobu pěti let. Poté je zóna bezpečná. Když použijeme sodík, tak do oblasti můžeme proniknout již po půl hodině. (4)

Špinavá bomba

Při použití špinavé bomby se snažíme nějaký prostor, území zamořit radioaktivním materiálem. Něčím, co by zářilo a tak poškozovalo okolí. Název je přitom zavádějící, protože nemusí jít vůbec o bombu. Radioaktivní látka se dá rozšířit mnoha různými způsoby, nejen trhavinou. Největším rizikem je její relativně snadná výroba. Potřebujeme jen radioaktivní materiál, který rozhodně není nesehnatelný. Je zde riziko, že by se nějaká teroristická skupina mohla uchýlit k použití této zbraně. Kdyby se pak látka rozptýlila do ovzduší a člověk by ji vdechl, neměl by velké šance na přežití.

Metodika

Testovací komora

V praktické části jsem provedl experiment, jak vítr a terén ovlivňují rozptýlení radioaktivního materiálu, který je vypuštěn ve vzduchu, ať už z letadla nebo raketou. Protože rakety i letadla jsou drahé, rozhodl jsem se postavit si testovací komoru. V té jsem prováděl všechna měření.

Komora má tvar krychle. Podrobné rozměry jsou uvedené v příloze č. 2. Nyní budu pracovat pouze se schematickým nákresem. Celá konstrukce je rozdělena na tři části. Komora je i na tyto tři části rozložitelná. Na obrázku č. 20 jsou oddělené barvami. Začneme u zelené, což je dno vyrobené z dřevotřísky. Šedé jsou dva čtverce vyrobené z dřevěných latí. Na jeden čtverec byly potřeba čtyři latě, které jsem stloukl hřebíky a poté zajistil lepicí páskou, což celkově konstrukci zpevnilo. Tedy na šedou část 8 latí. Tam, kde se dva čtverce setkávají, jsou spojeny panty, aby se daly pohodlně složit a uskladnit. Modrá část je nejdůležitější. Základem je, stejně jako předtím, dvojice čtverců z dřevěných latí spojených panty. Navíc jsou zde dvě latě v dolní části. Ty slouží k ukotvení větráček. Nyní přichází na řadu elektrický obvod. Jeho náčrt je v příloze č. 3. Podle návrhu a rozměru komory jsem zhruba odhadl délky drátků, potřebných k sestavení obvodu. Drátky jsem nastříhal a konce zbavil bužírky. Když jsem měl vše připravené, opět jsem si vzal k ruce schéma a podle něj vše sletoval dohromady za pomoci trafo pájky a pájecího cínu. Ještě před instalací obvodu na konstrukci je třeba vyzkoušet, zda funguje. Pokud by byl někde problém, jeho oprava by byla v pozdější fázi zbytečně složitá. Po kontrole už mi nic nebránilo v instalaci obvodu. Mezeru mezi laťkami jsem zvolil o trošku menší než je výška větráčku. Poté jsem do této mezery větráčky vtlačil a upevnil izolepou, tudíž jsem nepotřeboval žádné šrouby. Kabele jsem k laťkám připevnil lepicí páskou, aby nepřekážely ve vnitřním prostoru komory.

Měření

A nyní k samotnému experimentu. Mým cílem bylo z dílčích měření předpovědět, jak se bude chovat spad, pokud jej rozpráším nad krajinou. Vyrobil jsem si tedy modely typických přírodních útvarů. Přesné rozměry jsou uvedeny v příloze č. 4. Nejdříve jsem se zamyslel, které útvary se v přírodě vyskytují. Nakonec jsem došel k závěru, že vše je z půl-válců a kuželů. Půl-válce jako pohoří, nebo valy a kužely jako hory, kopce. Samozřejmě že příroda nerýsuje podle pravítka, ale pro mé potřeby toto rozdělení úplně stačilo. Ještě jsem ale přidal třetí tvar a to čtvrt-kosočtverec. Ve své podstatě skalní stěnu. Zde jsem totiž očekával větší ovlivnění, hlavně co se týče plochy

rozšíření spadu. Na simulaci spadu jsem použil mouku. Každý geometrický tvar má různý počet os. To jsem musel zohlednit při dílčích měření. Začnu kuželem. Ten je nejjednodušší, protože ať ho otočím jak chci, nemění se mi jeho profil. Tudíž pro kužel stačí 1 měření. Půl-válec je už něco jiného. Pokud s ním otáčím, jeho profil se mění. Je jasné, že když se půl-válec otočí o 180° tak se nachází ve výchozí pozici. Rozdělil jsem si měření po 45° a tak na půl-válec vycházejí 4 měření. Nyní se přesuňme k čtvrt-válci. Zde je potřeba rotovat o 360° . Opět sem prováděl měření po 45° , tudíž celkem 8 měření.

Výše popsaný postup měření platí v případě, že jsou zapnuty oba větráčky. To znamená, že vítr se na úhlopříčce podstavy střetává a dál vane v jejím směru. Já jsem však v komoře oddělil vždy dvojici větráčků na jedné stěně do samostatného obvodu, jež se dá nezávisle spínat a vypínat. Díky tomu jsem mohl provést druhou sadu měření, kdy byl zapnutý jen jeden obvod. Vítr tedy foukal od větráčků dál. Nikde se nestřetával s dalším proudem vzduchu, tudíž jeho směr nebyl odkloněn. Při tomto měření jsem mouku sypal po přímce, protože pokud bych mouku sypal bodově, šířila by se jen ve směru větru, protože by nebyla ovlivněna druhým proudem vzduchu. Tak by experiment pozbyl smyslu. U kuželu jsem opět provedl jedno měření. Na půl-válce mi však už stačili jen tři. Čtvrté by bylo analogické k druhému, tudíž nemělo smysl. Podobný případ nastal u čtvrt-kosočtverce. Zde jsem provedl pouze šest měření. Sedmé je analogické k čtvrtému a osmé je analogické k třetímu.

Dno komory a modely jsem nabarvil na černo. Posloužil mi k tomu černý lak. Černou jsem zvolil z praktických důvodů. Mouka je bílá a s černou dobře kontrastuje, což mi usnadnilo vyhodnocení experimentu. K samotnému rozprašování jsem použil malý, jemný cedníček. Rozprašoval jsem vždy 12g hladké mouky v oblasti, kde se střetává vítr z prvního větráčku z jedné stěny a prvního větráčku z druhé stěny. Při pokusu s jedním obvodem, jak už jsem řekl, v přímce.

Při prvním měření jsem rozprášil mouku při bezvětří a na rovný povrch. Prostor, který byl zasažen, jsem si určil jako výchozí hodnotu. Další dvě měření proběhla jednou s jedním zapnutým obvodem, poté s oběma. Tím jsem získal zhruba představu, jak vítr ovlivňuje rozšíření spadu. Nyní přišly na řadu samotné modely. Postup při měření je popsán výše, pro upřesnění a ujasnění jsou v příloze č.5 obrázky z měření a přesný postup.

Následoval finální experiment. Ten spočíval v navržení krajiny (příloha č. 6). Z nákresu jsem měl, právě díky dílčím měřením, předpovědět, jak tato krajina ovlivní výsledné zamoření. Krajinu jsem si rozdělil na útvary, u kterých už jejich schopnost ovlivňovat spad znám a nakonec jsem vše dal dohromady. Poslední fází je ověření předpokladu v praxi. K tomu jsem potřeboval model krajiny. Vyrobil jsem ho za pomoci metody kašírování. Ta spočívá v tom, že namáčíme novinový papír do tapetového lepidla. Noviny vrstvíme na kostru. Po zaschnutí papír ztvrdne a drží tvar.

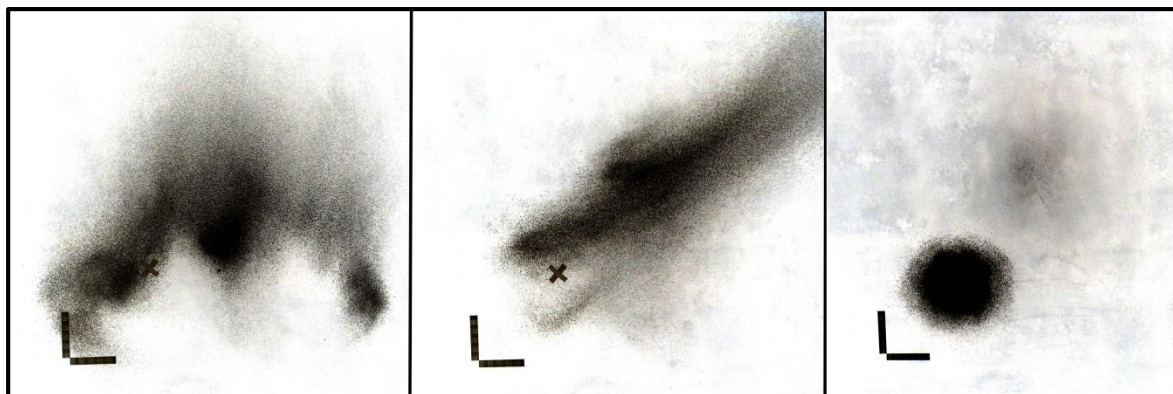
Zpracování

Po každém dílčím pokusu jsem komoru shora vyfotil. Snímek jsem poté nahrál do počítače. V grafickém editoru jsem jej ořízl na potřebnou velikost a zinvertoval barvy. Jinak řečeno, černá byla nyní bílou a naopak. Tak my ještě lépe vystoupil z obrázku spad a navíc jsem měl v úmyslu tyto obrázky tisknout a prohozením jsem ušetřil toner. Tím jsem už prozradil, co dál. Vše jsem si vytiskl. Měření spadu má jednu velkou nevýhodu. Obrazce jsou značně nepravidelné. Rozdělil jsem si tedy pravítkem nepravidelné útvary na vícero útvarů, u kterých již dokážu vypočítat plochu. Výsledná plocha však není konečná. Musíme brát v potaz měřítko. Měřítka jsem měl přilepené na dně komory. Byl to deseticentimetrový proužek papíru. Když jsem pak změřil, jak dlouhý je papírek na obrázku, mohl jsem vypočítat poměr vzdáleností. Tím jsem vynásobil již spočítaný povrch a dostal jsem povrch reálný. S tím jsem dále mohl pracovat

To je vše k teorii a přípravě experimentu. Nyní se budeme věnovat výsledkům měření, a zda byla moje předpověď správná, či nikoliv.

Výsledky a diskuse

Výchozí hodnoty



(20) Výchozí měření. Vlevo se zapnutým obvodem A, uprostřed s obvody A i B. Vpravo bez větru.

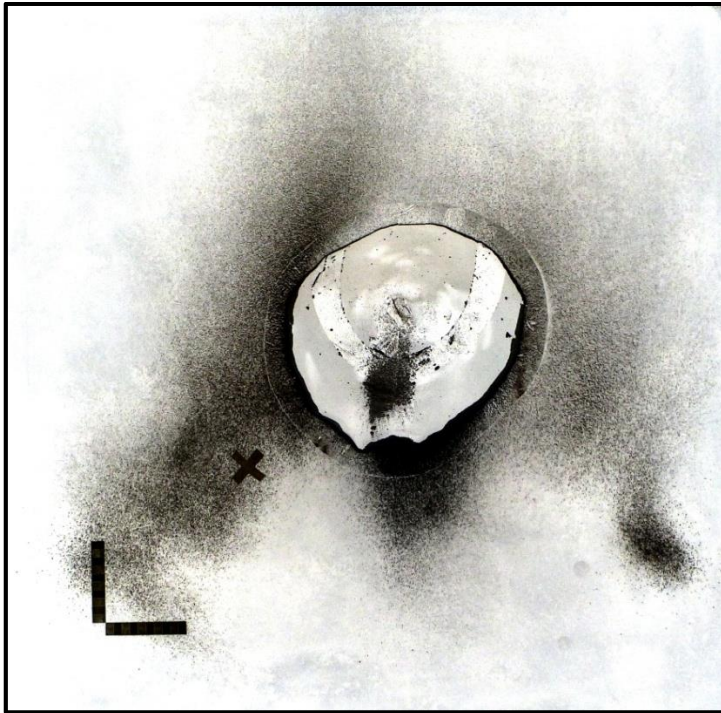
	Obvod A	Obvod A+B	Bezvětrí
Plocha	468 cm ²	385 cm ²	169 cm ²

(21) Zamořená plocha při výchozím měření

Z měření vyplynulo, že vítr zvětšuje plochu zamořenou spadem. U měření s obvodu A+B je zasažené území zhruba 2,3 krát větší, než při nulovém větru. V případě, že byl zapnutý jen obvod A je zamořený povrch přibližně 2,8 krát větší, než při bezvětrí. Výsledek z těchto měření, tedy je, že vítr ovlivňuje spad ve velmi vysoké míře.

Měření s obvodem A

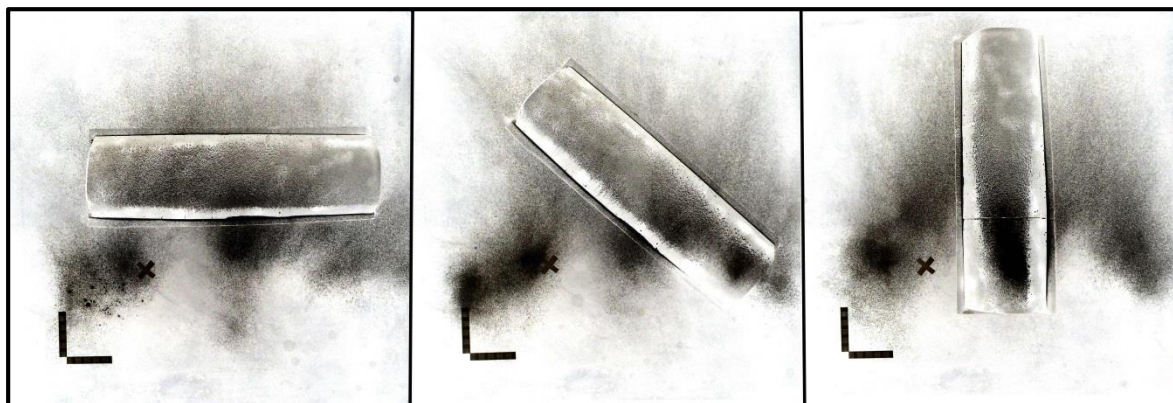
Kužel



(22)Ovlivnění spadu, kužel, obvod A.

V případě kuželu je spad omezen pouze na povrch okolo něj. Oblast zamoření se tedy snížila o povrch podstavy kužele. V konkrétních číslech je to 324 cm^2 zamořeného území. To je zhruba 1,45 krát menší zamoření, než u výchozího měření. Můžeme si také všimnout poklesu zamoření za kuželem a naopak silnějšího zamoření po jeho stranách, obzvláště u jeho paty. To je způsobeno obtékáním částic okolo a jejich následné nahromadění v proudech vytvořených po okrajích kuželu.

Půl-válec



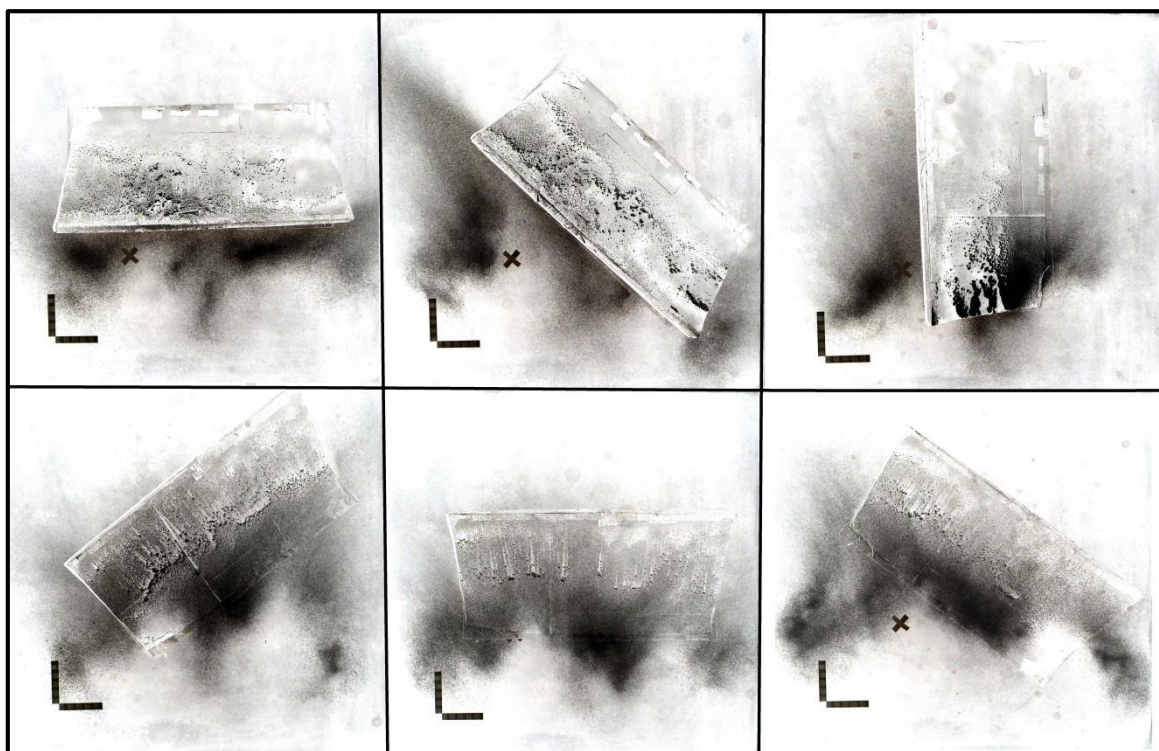
(23) Ovlivnění spadu, půl-válec, obvod A.

Úhel natočení	0°	45°	90°
Plocha	489 cm ²	501 cm ²	472 cm ²

(24) Zamořená plocha v závislosti na úhlu natočení půl-válce

Půl válec byl relativně nízký. Na výšku pouze 10cm. Nezastavil tedy spad, ale naopak. Ve většině případů ještě zvýšil plochu zamoření, protože sice neovlivnil horní vrstvy spadu, ale spodní ano. Ty odklonil do stran a tak se celková plocha zvětšila. Zvětšení není nijak výrazné, ale pro mě to je nečekaný výsledek, protože jsem předpokládal, že se plocha zmenší.

Čtvrt-hranol



(25) Ovlivnění spadu, čtvrt-hranol, obvod A.

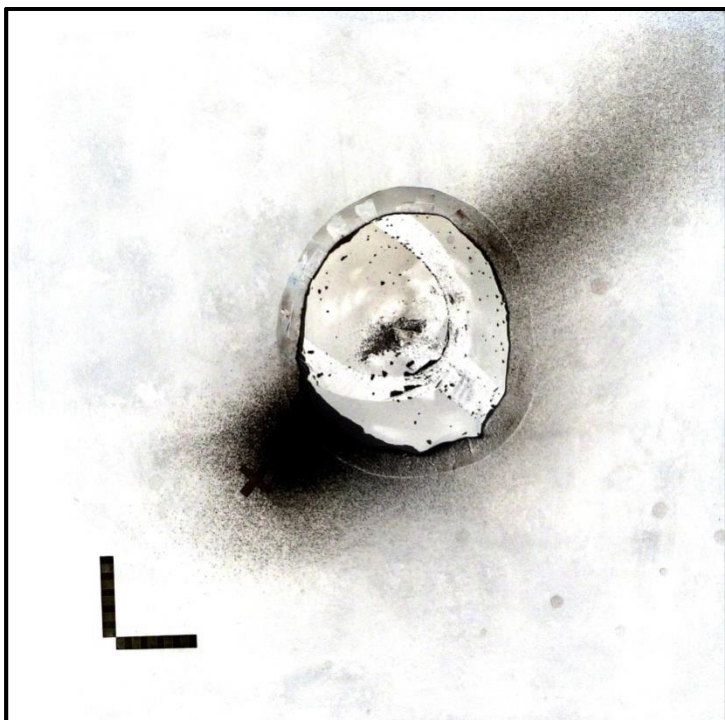
Úhel natočení	0°	45°	90°	135°	180°	225°
Plocha	154 cm ²	241 cm ²	202 cm ²	400 cm ²	386 cm ²	405 cm ²

(26) Zamořená plocha v závislosti na úhlu natočení čtvrt-hranolu,

U čtvrt-hranolu se výsledky značně liší. Dá se říct, že v rozmezí natočení o úhel 0 - 90°, čtvrt-hranol zmenšuje zasaženou plochu a to o nezanedbatelný kus. Při úhlu 0° dokonce až třikrát. Při úhlu 45° poté dvakrát a při úhlu 90° 2,3 krát. Ve zbývajících případech, tedy natočení o 135 - 225° je také patrné zmenšení. Ovšem již ne tak výrazné. Tento velký rozdíl je způsoben přivrácením kolmé stěny směrem proti větru právě při úhlech 0 - 90°. Stěna je tak vysoká, že částice úplně zastaví a tak spad zasáhne pouze její patu, ale dále se nedostane. Tato skutečnost je krásně pozorovatelná při natočení o 45°. Vidíme, jak jsou částice odkloněny. Na konci stěny pak pokračují stále ve stejném směru. Malé zmenšení zasažené plochy při natočení o 135 - 225° je také způsobeno výškou stěny. Z obrázku je patrné, že přes vrchol stěny se nic nedostane. Spad se tedy rozpráší po jejím svahu, ale dále nemůže.

Měření s obvody AB

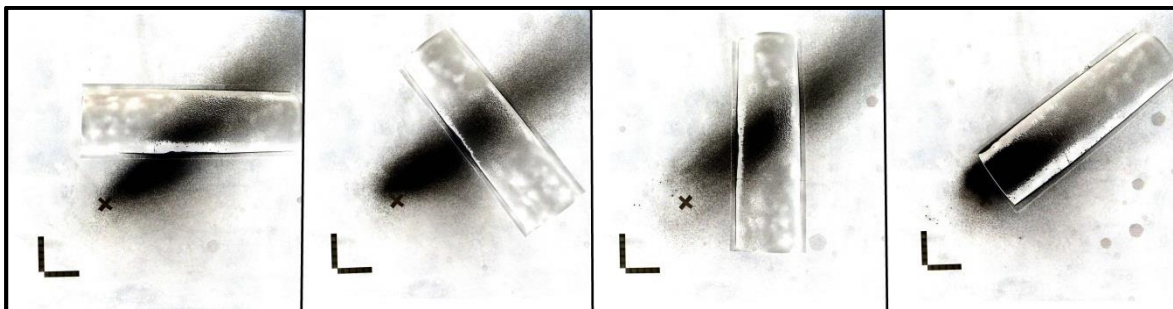
Kužel



(27) Ovlivnění spadu, kužel, obvod A+B.

V situaci, kdy jsme prováděly pokus se zapnutými obvody A i B, je výsledek velice podobný, jako když, jsme měli zapnutý jen obvod A. Kužel prostě zastavil částice u své paty. Je tu ale rozdíl. Stopa šíření je v tomto případě užší. Na obrázku vidíme, že skoro veškerý spad se nahromadil před kuželem. Za kuželem je patrná světlejší stopa. Plocha zasažená spadem je 285 cm^2 . To je přibližně 1,35 krát méně, než výchozí hodnota zamoření.

Půl-válec



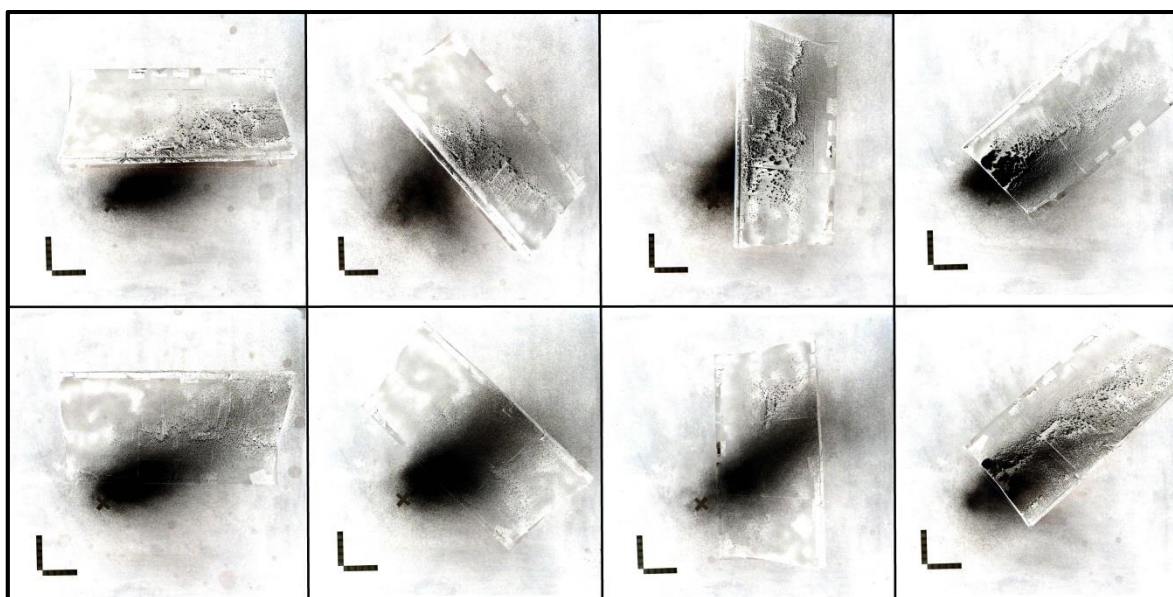
(28) Ovlivnění spadu, půl-válec, obvod A+B.

Úhel natočení	0°	45°	90°	135°
Plocha	347 cm ²	362 cm ²	350 cm ²	276 cm ²

(29) Zamořená plocha v závislosti na úhlu natočení půl-válce.

Z obrázků i tabulky je patrné minimální zmenšení zamořené plochy. Jediná výjimka je při natočení o 135°. Zde se proud vzduchu rozbíjí o kratší stěnu půl-válce, která je kolmá k podložce. Je tedy oslaben a neodnese částice na takovou vzdálenost. Při natočení o 45° můžeme pozorovat lehké prořídnutí spadu za půl-válcem. Avšak toto prořídnutí není dostatečné, aby se plocha nezapočítala do zamořené oblasti. Půl válec tedy neovlivnil spad skoro vůbec, až na výše zmiňovaný případ. Tento výkyv je způsoben kolmostí stěny, natočené proti směru větru.

Čtvrt-hranol



(30) Ovlivnění spadu, čtvrt-hranol, obvod A+B.

Úhel natočení	0°	45°	90°	135°
Plocha	82	133	74	93
Úhel natočení	180°	225°	270°	315°
Plocha	115	160	127	99

(31) Zamořená plocha v závislosti natočení čtvrt-hranolu.

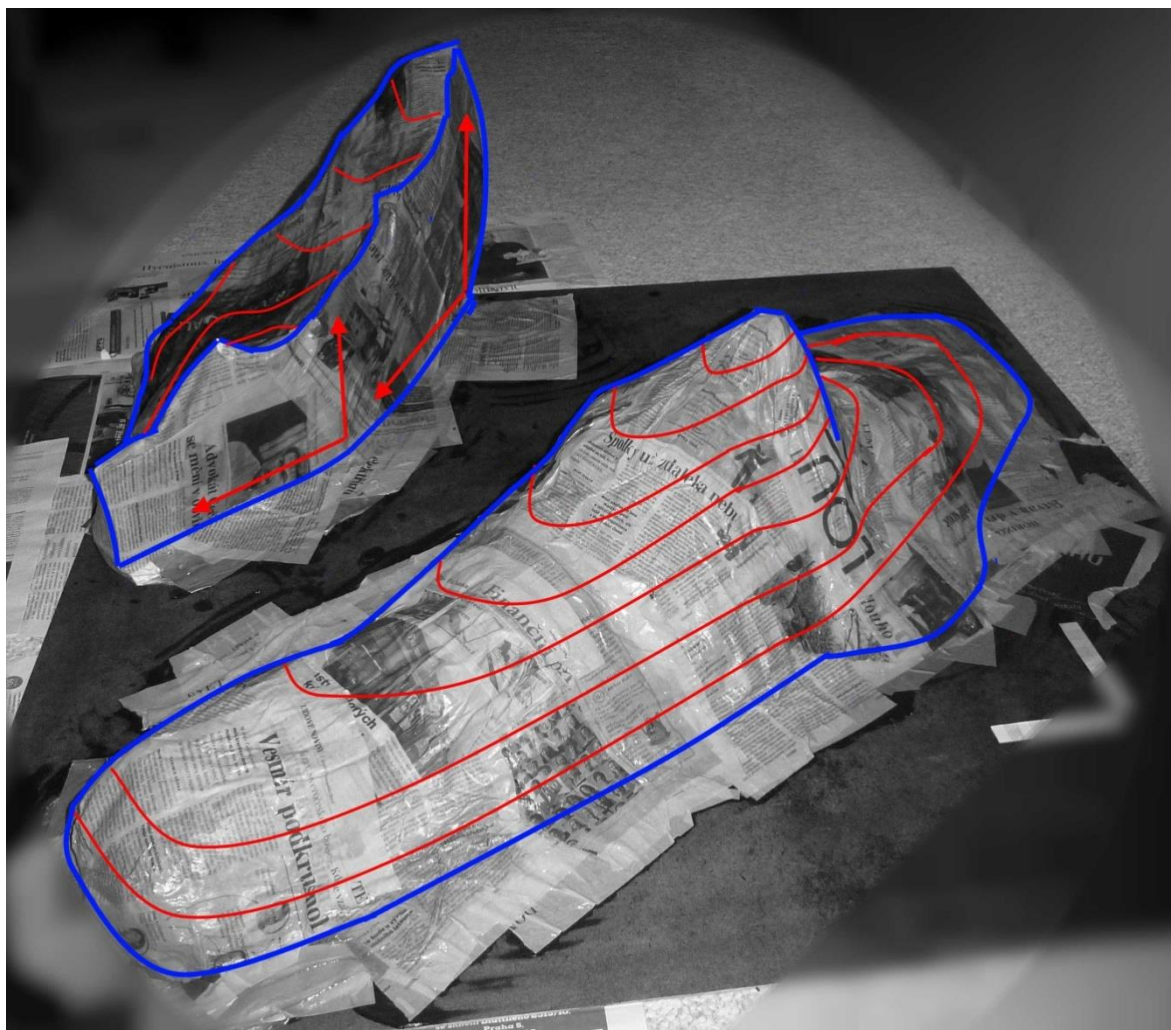
Čtvrt-hranol markantně zmenšil zasaženou plochu. V průměru 3,5 krát. Důvod je stejný, jako při experimentu, prováděném, při zapnutém jeden obvodu. Výška stěny neumožnila spadu dále se šířit. Když k tomu ještě přidáme šířku stopy, která je při sepnutí obou obvodů úzká, dostaneme nejvýraznější ovlivnění, ze všech provedených měření.

Shrnutí

Nejméně ovlivňuje šíření spadu půl-válec. V některých případech dokonce zhoršil situaci. Příčinou je jeho malá výška a relativně aerodynamický tvar. Uprostřed je kužel. Zamořená oblast je vždy menší, než výchozí. Kužel deformuje dráhu proudění větru. Ten obtéká okolo kuželu a za ním se zase spojuje. Proto se oblast zamoření zmenšuje, ve své podstatě, jen o podstavu kuželu. Nejvýraznějších rozdílů, mezi kontrolními a prováděnými měřeními dosáhl čtvrt-hranol. Ve všech případech zmenšil plochu zasažení. Někdy nepatrně, ale v mnoha případech byl rozdíl nepřehlédnutelný. Jeho výška a sklon jedné z jeho stěn o 90° mu umožnily úplné zastavení částic a proudu vzduchu, nebo jejich výrazné ovlivnění.

Finální pokus

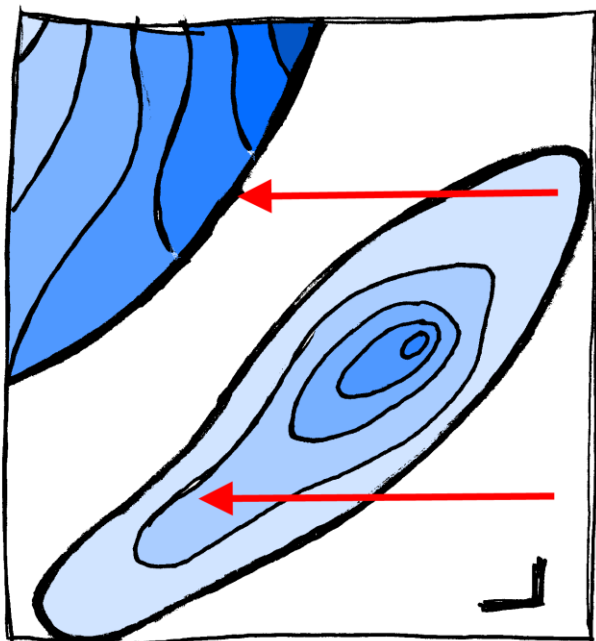
Předpoklady



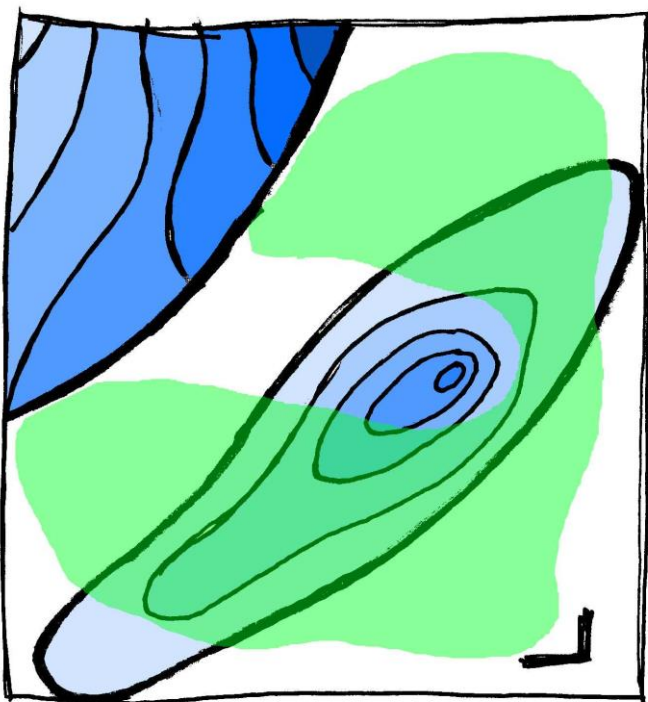
(32) Model krajiny, s vyznačenými vrstevnicemi.

Na obrázku je model krajiny, který jsem použil při finálním experimentu. Model není dokončený. Nakonec jsem jej ještě přestříkal černou barvou. Pro účel představení modelu, jsem ale ponechal světlou barvu. U černé by se ztrácely obrysy tvarů proti podložce. Máme zde 2 útvary. V popředí je to hora, která směrem doprava pozvolna klesá, na stranu druhou se od ní táhne horský hřbet. Ten končí až u hranice podložky. V pozadí vidíme horskou stěnu. Zleva doprava lehce stoupá a úplně napravo je její nejvyšší bod.

Experiment jsem provedl se zapnutým obvodem A. Podle měření předpokládám, že spad obteče okolo hory, ale horský hřbet nebude mít zásadní vliv na rozptýlení. Naproti tomu stěna by měla spad odklonit a ten by měl pokračovat podél její paty. Největší zamoření můžeme tedy očekávat v údolí mezi stěnou a horou.

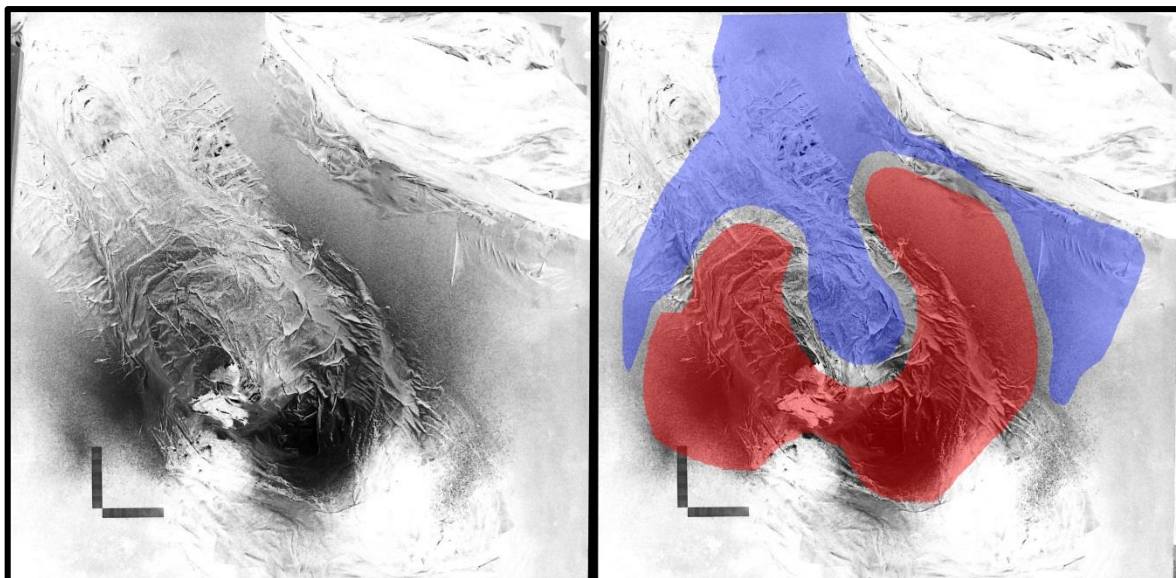


(33) Nákres modelu při pohledu z vrchu. Odstíny modré prezentují výškové rozdíly. Červené šipky určuje směr větru.



(34) Nákres modelu při pohledu z vrchu. Zelenou barvou je vyznačena mnou předpokládaná plocha zasažení.

Výsledky



(35) Nalevo obrázek z finálního měření. Vpravo jsou použity červená a modrá barva k odlišení různé koncentrace spadu.

Oproti předpokladům, bylo zasažené území větší, avšak šíření spadu jsem odhadl celkem dobře. Vidíme, že koncentrace okolo vrcholku hory je menší a směrem po větru je modrá zóna. To znamená, že spad je zde redukován. Stěna skutečně spad odklonila podél paty a je patrné rozšíření do vzdálenější části údolí. Za stěnou k žádnému zamoření nedošlo.

Závěr

S určitostí můžeme říct, že vítr i terén ovlivňují spad ve velké míře. Co se týče předpovědi rozšíření spadu, tak ta byla neúspěšná i úspěšná. Neúspěch vidím ve špatně předpovězené ploše zamoření, která se liší od provedeného měření. Naproti tomu předpověď, jak se bude spad chovat, vyšla skoro na sto procent.

Pokud by nastala situace použití špinavé bomby v reálu, můžeme říci, že v hornatých oblastech by byli nejhůře zasaženi lidé v údolích. Vyšší terén však spad odkloní, nebo i zastaví, proto by výsledná plocha zamoření byla malá. Pokud bychom tedy chtěli provést plošný útok, právě špinavou bombou, je ideální mít terén co nejrovnější a zároveň, čím větší vítr fouká, tím lépe.

Seznam literatury

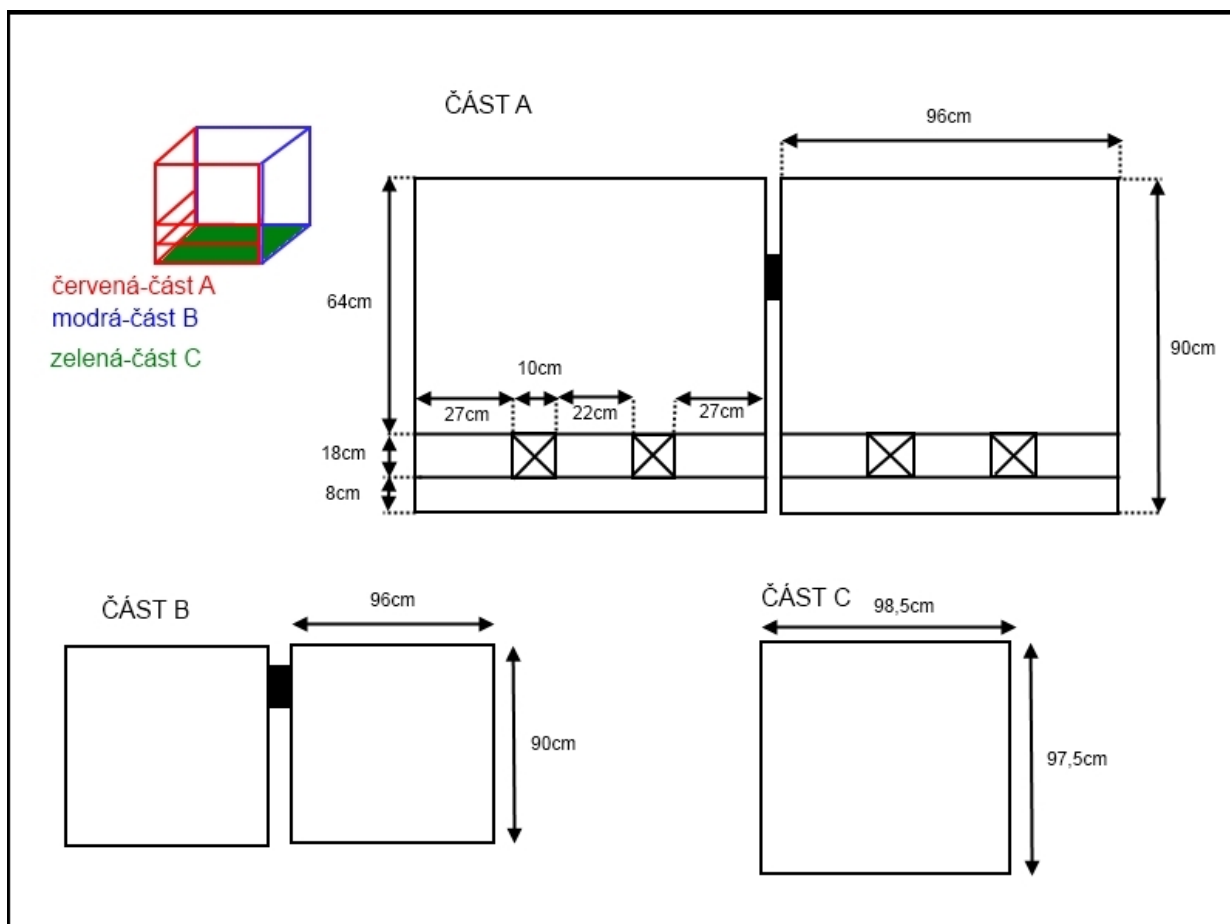
- (1) **The Official Web Site of the Nobel Prize**. All Nobel prizes in Chemistry. [online] 28. únor 2012. [cit. 28-02-2012] Dostupné na: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/
- (2) VLADIMÍR PITSCHMANN. *Jaderné zbraně: nejvyšší forma zabíjení*. Praha: Naše vojsko, 2005. ISBN 80-206-0784-6.
- (3) *Termonukleární zbraň*. Praha: Naše vojsko, 1959. III-7. D-593319
- (4) JIŘÍ DUŠEK; JAN PÍŠŤALA. *Jaderné zbraně*. Brno: Computer Press, 2006. ISBN 80-251-0817-1
- (5) MARIE DUFKOVÁ. **3pol**. *Jak se obohacuje jaderné palivo*. [online] 26. březen 2008. [cit. 28-02-2012] Dostupné na: <http://3pol.cz/655-jak-se-obohacuje-jaderne-palivo>
- (6) **Living in the lot**. Thorium- a new direction in power generation. [online] 24. července 2011. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: <http://4.bp.blogspot.com/-amz5JtwEZg4/Tik09Mgm4bI/AAAAAAAAAB0Q/m62Zz-QnEuk/s1600/thorium+cycle.gif>
- (7) WLADIMÍR WÁGNER. **Objective source E-Learning**. *Rychlé jaderné reaktory a využití thoria v Indii*. [online] 26. duben 2009. [cit. 28-02-2012] Dostupné na: <http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&clanek=4365>
- (8) Autorem autor
- (9) **Wikimedia Commons**. Gun-type nuclear weapon. [online] 30. března 2005. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/75/Gun-type_Nuclear_weapon.png
- (10) **Wikimedia Commons**. Implosion nuclear weapon. [online] 27. březen 2010. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Implosion_Nuclear_weapon.svg
- (11) **Wikipedia**. Nuclear weapons and the United States. [online] 28. února 2012. [cit. 04-03-2012] Dostupné na: http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_weapons_and_the_United_States
- (12) TED FLAHERTY. **Center for defense information**. Current world nuclear arsenals. [online] 2. ledna 1997. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: <http://www.cdi.org/nuclear/database/nukestab.html>

- (13) RADEK MALINA. **Chemici sobě**. Ulam-Tellerův princip. [online] 6. února 2012. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: <http://www.cbrn-mil.cz/index.php/studijni/84-ulam-telleruv-princip>
- (14) **Wikipedia**. Nuclearfusion. [online] 3. března 2012. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fusion
- (15) **Wikimediacommons**. Fusion in the Sun.[online] 28. listopad 2009. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/78/FusionintheSun.svg>
- (16) **Wikipedia**. Tritium. [online] 10. února 2012. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tritium>
- (17) **Wikimediacommons**. Teller-Ulam device. [online] 19. ledna 2005. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/Teller-Ulam_device.png
- (18) **Wikipedia**. Teller-Ulam design. [online] 16. února 2012. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: http://en.wikipedia.org/wiki/Teller-Ulam#Radiation_pressure
- (19) **Wikimediacommons**. BombHexplosion. [online] 5. listopadu 2006. [cit. 04-03-2012]. Dostupné na: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/BombH_explosion.svg

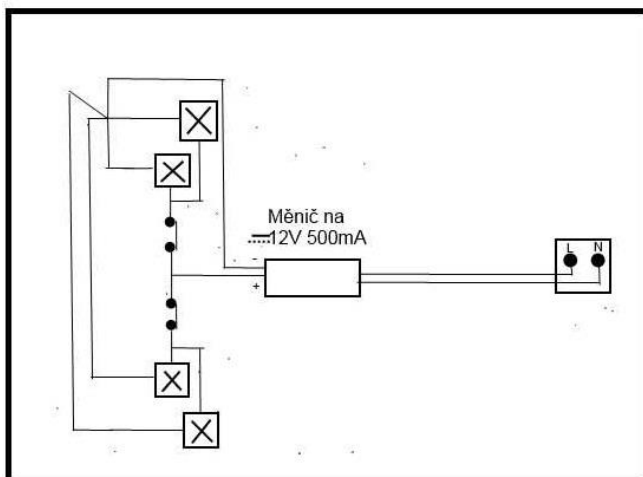
Přílohy

Jaderná reakce	Uvolněná energie 1kg látky [kJ]	Trvání reakce
H+T	$11,7 \cdot 10^{10}$	0,05 s
D+D	$2,35 \cdot 10^{10}$	0,00003 s
D+T	$8,2 \cdot 10^{10}$	0,000003 s

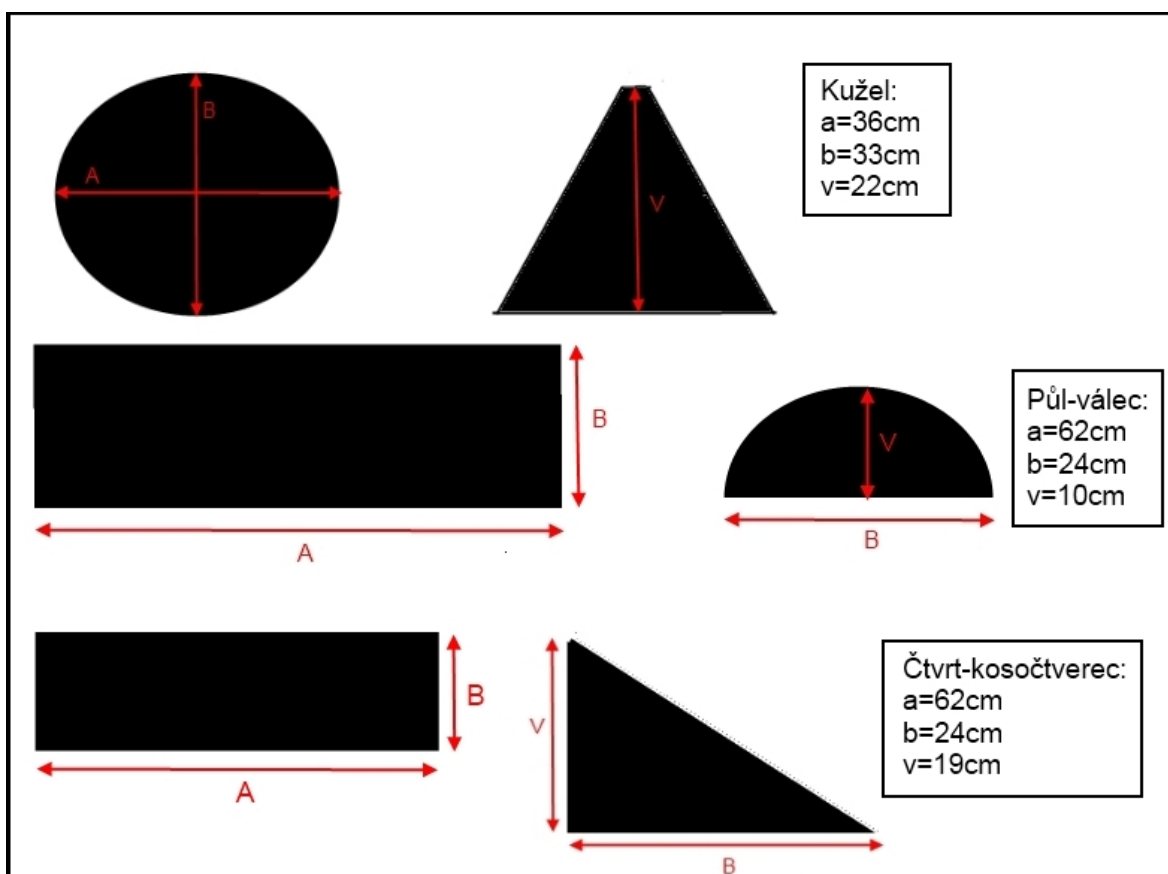
Tabulka č.1; Charakteristika některých termonukleárních reakcí.
H-vodík, D-deuterium, T-tritium.



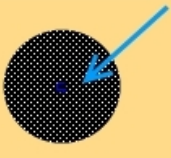
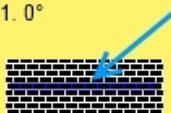



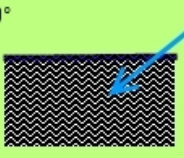
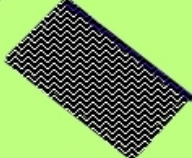

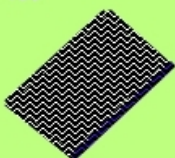

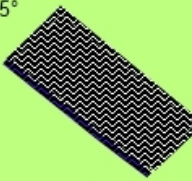


Příloha č. 2: Návrh komory a její rozměry.

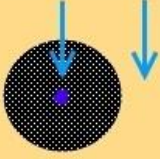
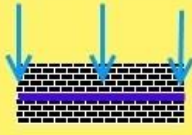


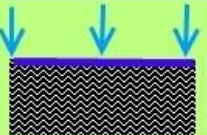
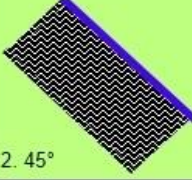

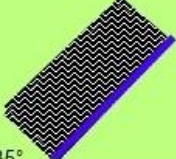
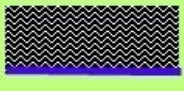
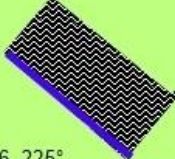


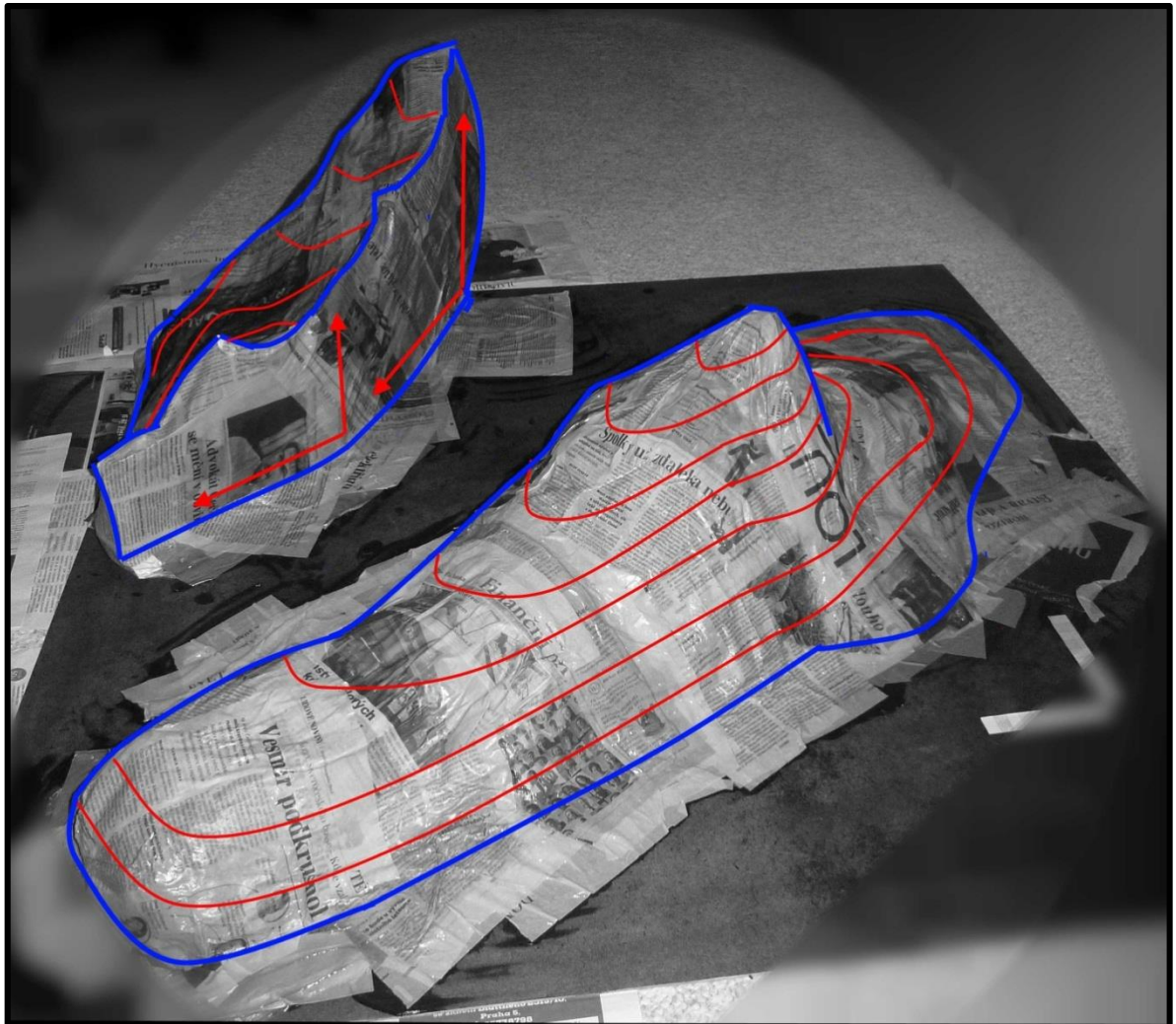
Příloha č. 3: Nákres obvodu.



Příloha č. 4: Nákresy modelů a jejich přesné rozměry.

KUŽEL	PŮL-VÁLEC			
1. 	1. 0° 	2. 45° 	3. 90° 	4. 135° 
ČTVRT-HRANOL				
1. 0° 	2. 45° 	3. 90° 	4. 135° 	
5. 180° 	6. 225° 	7. 270° 	8. 315° 	
Příloha č.5a: Znárodnění postupu měření. Světle modré šipky udávají směr větru. Tmavě modré čáry nejvyšší body na modelech. Mají pomoci s určení orientace stěny				

KUŽEL	PŮL-VÁLEC		
1. 	1. 0° 	2. 45° 	3. 90° 
ČTVRT-HRANOL			
1. 0° 		2. 45° 	3. 90° 
4. 135° 		5. 180° 	6. 225° 
Příloha č. 5b: viz. popis 5a			



Příloha č. 6: Fotografie modelu, s vrstevnicemi. Modrá čára, ohraničení modelu. Červené čáry, vrstevnice. Červené šipky značí stěnu.