

PÍSEMNÁ PŘÍPRAVA

ZHN a ochrana proti nim

TÉMA:	2	Jaderné a radiologické zbraně, charakteristika, ničivé a škodlivé účinky, způsoby jejich možného použití
--------------	----------	---

Cíl tématu:

Seznámení se s problematikou jaderných zbraní, jejich historií, principy, základní konstrukcí.

Pochopení podstaty ničivých účinků jaderných zbraní a principů ochrany proti nim.

Seznámení se s radiologickými zbraněmi.

Úkoly pro samostatnou přípravu:

1. Prostudovat doporučenou studijní literaturu
2. Zaměřit se na ničivé účinky jaderných zbraní a možnou ochranu proti nim
3. Z internetových zdrojů vyhledat současnou situaci v oblasti jaderných zbraní ve světě

Učební úkoly

	Úvod	
1.	Základní pojmy, historie JZ, konstrukce JZ	
2.	Ničivé faktory JZ a ochrana proti nim	
3.	Tlaková vlna, světelné záření	
4.	Pronikavá radiace, radioaktivní kontaminace, EMI	
5.	Radiologické zbraně	
	Závěr	

Metoda:	přednáška	Doba:	85'	Místo:	učebna
Studijní literatura		1. Dušek J., Píšala J.: Jaderné zbraně, Computer Press (2006), ISBN 80-251-0817-1. 2. Pitschmann V.: Jaderné zbraně: Nejvyšší forma zabíjení, Naše Vojsko (2005), ISBN 80-206-0784-6. 3. Bernstein J.: Nuclear Weapons, Cambridge University Press (2008), ISBN 978-0-521-88408-2.			

Zpracoval: Ing. Daniel SAS, Ph.D.

Obsah:

Úvod

Jaderné zbraně jsou nejmladším a nejúčinnějším prostředkem hromadného ničení. Umožňují během krátké doby ničit uskupení vojsk protivníka (živou sílu, bojovou techniku, objekty).

Vývoj jaderných zbraní se datuje od třicátých let tohoto století. Základním předpokladem pro jejich vývoj byl objev radioaktivity (H. Becquerel, 1896) a zákon radioaktivní přeměny (Rutherford, Sody, 1900). Největší úsilí o získání zbraně nového typu projevilo ve 40-tých letech Německo a USA. Německý jaderný výzkum byl ukončen v polovině čtyřicátých let po porážce Německa ve druhé světové válce. Na přelomu čtyřicátých a padesátých let se USA vyrovnal Sovětský svaz, který v této době zvládl přípravu jaderné výbušniny a konstrukci jaderné zbraně.

Výzkum a vývoj první jaderné zbraně byl ukončen a ověřen prvním jaderným výbuchem na světě. Byl proveden v poušti Nového Mexika (USA) 6. 7. 1945, jeho mohutnost byla 17-20kt. První bojové použití jaderných zbraní bylo svržení jaderných bomb na Hirošimu 6. 8. 1945 a Nagasaki 9. 8. 1945.

Od této doby zvládly výrobu jaderných zbraní další státy. Jaderné zbraně dnes prokazatelně vlastní USA, Rusko, Čína, Francie, Velká Británie, Kazachstán, Indie, Pákistán, Izrael. Na vývoji vlastních jaderných zbraní pravděpodobně pracují další státy (Irák, JAR aj.), které výrobu zvládly, ale zavázaly se je nevyrábět například Argentina a Brazílie

Jaderné zbraně tvoří jaderná munice a prostředky dopravy na cíl.

Jaderná munice:

- jaderné miny
- dělostřelecké granáty
- raketové hlavice
- letecké pumy

Prostředky dopravy na cíl :

- hlavňové dělostřelectvo
- rakety
- letectvo

Rozhodující parametry k posouzení ničivého účinku jaderné munice jsou množství, charakter a geometrické rozdělení ničivé energie uvolněné při výbuchu.

Množství uvolněné energie je charakterizováno mohutností jaderného výbuchu udávanou tritolovým ekvivalentem v kilotunách. Jedna kilotuna odpovídá energii uvolněné při výbuchu 1000 tun tritolu, což je $4,19 \cdot 10^{12}$ J. Mohutnost výbuchu závisí na množství jaderné výbušniny v jaderné náplni, na typu, konstrukci a adjustaci jaderné munice.

Jaderná munice je charakterizována jmenovitou mohutností, která udává střední pravděpodobnou mohutnost výbuchu munice. Jaderná munice se podle jmenovité mohutnosti dělí na munici velmi malé mohutnosti do 1 kt, malé mohutnosti od 1 do 10 kt, střední mohutnosti od 10 do 100 kt, velké mohutnosti od 100 kt do 1 Mt a zvláště velké mohutnosti nad 1 Mt. Vedle termínu jmenovitá mohutnost se často používá termín mohutnost.

Jaderná munice se vyrábí buď s jednou jmenovitou mohutností, nebo s proměnnou, volitelnou mohutností. Volitelnost mohutnosti může být stupňovitá nebo spojitá. Strategická munice má zpravidla jednu mohutnost, současná taktická munice má většinou stupňovitě volitelnou mohutnost ve 3 až 5 hodnotách. Při výpočtech bezpečnosti vlastních vojsk se počítá s maximální bezpečnou mohutností. Její hodnota se většinou pohybuje v rozmezí 110-150% jmenovité mohutnosti.

V některých případech, zvláště při hodnocení účinků neutronové munice, se užívá tzv. koeficient termonukleárnosti – k_t . Je to podíl z celkové energie, který připadá na energii uvolněnou termonukleární reakci.

Současná jaderná munice uvolňuje energii přibližně rovnoměrně, sféricky. Geometrické rozdělení energie v prostoru výbuchu závisí hlavně na prostředí. U některých nových speciálních typů však může být energie usměrněna do některého sektoru prostoru. Takovým typům munice říkáme munice s usměrněnou jadernou energií. Usměrnění energie zpravidla také až mnohonásobně zvýší dosah ničivých účinků v daném směru. Vyvíjejí se také typy munice (kromě již existujících neutronové), které budou mít zesílený jeden ničivý faktor (např. elektromagnetický impuls).

Jaderná nálož

Jaderná nálož je součástí každé jaderné munice. Obsahuje jadernou výbušninu a zařízení, které v ní vyvolá explozivní jadernou reakci. Nálože dělíme na štěpné, termonukleární a vícefázové. Většina současných jaderných náplní je založena na více typech jaderných reakcí.

Štěpná nálož

Každá jaderná nálož obsahuje štěpnou výbušninu, zařízení k dosažení nadkritického množství a zdroj neutronů. Ke zvýšení účinnosti se používá reflektor neutronů a odolný plášť náplně. Jako štěpné výbušniny se používá ^{235}U , ^{239}Pu a ^{233}U . Někdy se používají také jejich směsi. V poslední době se jako štěpné výbušniny začalo používat ^{249}Cf . Většinou se přidává jako příměs k jiným štěpným výbušninám. Jeho samostatnému použití brání prozatím vysoká cena. Kritické množství u čistých výbušnin s použitím účinného reflektoru neutronů činí pro ^{235}U 15 kg, pro ^{233}U 5 kg, pro ^{239}Pu 4,4 kg, pro ^{249}Cf pouze 1,6 g. Ve většině případů se však čisté jaderné výbušniny nepoužívají, protože jsou příliš drahé, a kritické množství je proto úměrně větší.

K dosažení kritického množství se nepoužívají dva konstrukční typy, a to typ hlavňový a typ implozivní.

Jako zdroje neutronů se používá buď vysokonapěťové urychlovací trubice, ve které probíhá termonukleární reakce, nebo reakce částic alfa (heliových jader) s beryliem). Jako zdroj částic alfa slouží zpravidla rádium nebo polonium. Zdroj částic alfa musí být až do dosažení nadkritického množství od berylia oddělen, aby nedošlo k předčasné iniciaci štěpné reakce.

Neutronové odražeče (reflektory) se vyrábějí z materiálu schopného množit neutrony reakcemi typu $(n, 2n)$ nebo štěpnou reakcí. Nejčastěji se užívá berylium a přírodní uran, někdy ve směsi s grafitem.

Pevný plášť náplně dovoluje udržet lavinovitou štěpnou reakci po tu dobu než je celá náplň rozmetána a zplyněna. Plášť udržuje reagující výbušninu především setrvačnou silou, proto se používají pláště z těžkých kovů.

Hlavnová štěpná náplň obsahuje nadkritické množství štěpné výbušniny, rozdělené na dvě, zpravidla, podkritické části. Nadkritické velikosti se dosáhne vstřelením jedné podkritické části do druhé. Neutronový zdroj je uzpůsoben tak, aby tok neutronů dosáhl maxima v okamžiku spojení obou částí.

Hlavnové štěpné náplně jsou relativně jednoduché. Jaderná munice má menší hmotnost a rozměry. Má však nižší energetickou účinnost a nižší spolehlivost vzhledem k nízké rychlosti dosažení nadkritického množství. Pro konstrukci hlavnové štěpné náplně není příliš vhodné plutonium, obzvláště obsahuje-li vyšší koncentrace izotopů 240 a 241. Spolehlivost hlavnových náplní značně klesá také po jejich vnějším ozáření.

Implozivní štěpné náplně dosahují nadkritického množství štěpné výbušniny změnou jejího tvaru a zvýšením hustoty. Dochází k tomu při implozivním stlačení kulové vrstvy štěpné výbušniny kumulativními náložemi trhaviny rozloženými na povrchu štěpné výbušniny. Jako výbušnina se používala směs tritol-hexogen, nyní se používají speciální bezpečnostní trhaviny odolné vůči vyšším teplotám a nárazu. Používá se např. plastifikovaný oktogen nebo nový druh trhavin jako TATB (triaminotrinitrobenzen), odolný ještě při teplotách 260-290 °C a odolný proti nárazu (2kg a výšky 200 cm).

Implozivní náplně mohou být prosté, mající v kulových vrstvách pouze štěpnou výbušninu, plášť a trhavinu. Neutronový zářič je uprostřed. Prosté implozivní náplně mají menší rozměry a nižší energetickou účinnost.

V současné jaderné munici střední mohutnosti se nejčastěji používají implozivní štěpné náplně se zvýšeným výtěžkem. Štěpný materiál v implozivní náplni je zde obklopen malým množstvím termonukleární výbušniny. Ta při vysoké teplotě štěpného vybuchuje, a tím zvyšuje mohutnost výbuchu. Kromě toho neutrony, vzniklé při termonukleární reakci, zasahují zpětně do štěpné reakce a zvyšují výrazně účinnost využití štěpné výbušniny a tedy dále a zvyšují mohutnost výbuchu.

Vhodné uspořádání kumulativních náloží dovoluje stlačit štěpnou výbušninu až na sedminásobek její původní specifické hmotnosti a dosáhnout toho, že štěpná výbušnina může být použita v množství, které je při normální specifické hmotnosti (19-20 g/cm³) podkritické. Toho se používá v munici velmi malé mohutnosti.

U implozivních štěpných náplní lze malými změnami v synchronizaci roznětu dosáhnout různé účinnosti využití štěpné výbušniny, a tím měnit mohutnost štěpné náplně, třeba i těsně před odpálením.

Termonukleární náplň

K rychlému průběhu termonukleární reakce a k mžikovému uvolnění energie jsou nutné teploty řádu 10^7 °C. K dosažení těchto teplot slouží prozatím štěpná jaderná roznětka. Hledá se možnost nejaderného roznětu termonukleární reakce, např. s použitím laseru. Tyto práce jsou ve stadiu výzkumu a vývoje.

Jako termonukleární výbušnina se používají izotopy vodíku – deuterium a tritium. Tritium je velmi drahé a nestabilní (rozpadá se na helium s poločasem asi 12 let), a nahrazuje se proto často ^6Li , které reaguje s neutronem za vzniku tritia. Nejčastěji používanou termonukleární výbušninou je deuterid lithný. Ten potřebuje pro vznik termonukleární reakce teplotu asi 10x vyšší než směs D+T.

Dvoufázové termonukleární náplně se skládají ze štěpné jaderné roznětky (první fáze – štěpení) a termonukleární výbušniny (druhá fáze – syntéza). Mohou být tritiové čili „mokrě“ obsahující směs D+T a lithiové čili „suché“ obsahující Li^6D – deuterid lithý.

Neutronová náplň např. je malá dvoufázová termonukleární náplň obsahující směs D+T. Termonukleární munice malé mohutnosti má výrazně zvýšený účinek pronikavé radiace s neutrony o velmi vysokých energiích. Patří k jaderné munici s výběrovými ničivými účinky.

Tritiové náplně mají většinou menší mohutnosti i rozměry a hmotnosti. Jsou však relativně drahé, mají krátkou životnost a nižší spolehlivost.

V lithiové (suché) termonukleární náplni probíhají tyto reakce: štěpení, vzniklé štěpné neutrony reagují s ^6Li za vzniku tritia. Vzniklé tritium reaguje s deuteriem. Vzniklé termonukleární neutrony reagují opět s ^6Li za vzniku dalšího tritia.

Protože k zážehu termonukleární reakce v lithiové náplni je třeba vyšších teplot než v tritiové, je mechanismus zážehu uspořádán zvláštním způsobem. Štěpná roznětka je umístěna v jednom ohnisku tzv. Frandtel-Meyerova elipsoidu, tvořeného velmi pevným, tepelně odolným materiálem. Všechna energie vycházející z tohoto ohniska dopadne do druhého ohniska, kde je začátek termonukleární výbušniny. Pro zvýšení koncentrace energie bývá část termonukleární výbušniny ještě obklopen kulovými vrstvami z materiálu se stoupající zvukovou vodivostí. Tím je kladně ovlivněn gradient rychlosti čela detonační vlny, což způsobuje také zvýšení teploty v centru druhého ohniska. Do druhého ohniska k podpoře reakce se také někdy vkládá malá náplň s deuteriem a tritiem.

K příznivému průběhu termonukleární reakce je výhodný dostatek neutronů. Proto se termonukleární výbušnina obklopuje pláštěm, který neutrony zmnožuje a částečně vrací zpět do reakce. Používá se např. berylium.

Pokud jako plášť termonukleární reakce bude použit přírodní, případně ochuzený uran (přírodní uran obsahuje 99,3% ^{238}U a 0,7% ^{235}U , ochuzený uran obsahuje ^{238}U), vznikne tzv. třífázová termonukleární nálož. Tyto nálože mají velké mohutnosti, jsou relativně lacinější, ale způsobují silné radioaktivní zamoření. V třetí fázi se působením termonukleárních neutronů štěpí uran 238.

Jaderná munice s výběrovým a směrovým účinkem

Jaderná munice štěpná se zařazuje do tzv. 1. generace jaderných zbraní, jaderná munice termonukleární do 2. generace. Munice s výběrovým a směrovaným účinkem se řadí ke generaci třetí. O jaderné munici se zesílenou pronikavou radiací (tzv. neutronové) již zmínka byla.

Jaderná munice s výběrovým ničivým účinkem je ovšem mnohem různorodější. V současné době se vyvíjejí nebo jsou již vyvinuty jaderné náboje se zesíleným zářením gama, munice se zesíleným a řízeným radioaktivním zamořením a munice se zesíleným elektromagnetickým impulsem.

Náboje se zesíleným zářením gama jsou obklopeny pláštěm, který dobře pohlcuje neutrony. Záchyt neutronů je provázen zářením gama. Pro osoby v obrněné technice je nebezpečnější neutronové záření, naopak pro osoby v úkrytech v domech a sklepích je nebezpečnější záření gama.

Volbou vhodného pláště docílíme také zvýšeného radioaktivního zamoření. Zvolíme-li např. sodík, bude zamoření krátkodobé, zvolíme-li kobalt, bude dlouhodobé.

Je sledováno několik způsobů, jak lze zesílit i elektromagnetický impuls. Je možná i vybuzení směrovaného EMI, což je vysokoenergetický svazek koherentního záření (frekvence 1-300 GHz) s obrovskou špičkovou mohutností. Tato zbraň je efektivním prostředkem vyřazení elektronických kosmických i pozemních přístrojů na velké vzdálenosti. Mikrovlnné záření může pronikat atmosférou lépe než rentgenové paprsky a paprsky gama a může působit na palubní elektroniku raket ihned po startu. Zdroj EMI může být umístěn v kosmu.

Mezi jaderné zbraně třetí generace se zahrnují také lasery buzené jaderným výbuchem.

Rentgenový laser tvoří tyče plněné speciálním materiálem, které mohou přeměňovat energii jaderného výbuchu ve směrovaný tok rentgenového záření, které v kosmu může působit na vzdálenost až 4000 km. Vlnová délka záření může činit 10-1000nm a energie 0,1-10keV. Pro husté vrstvy atmosféry není vhodný.

Při působení rentgenového záření na tělo rakety nebo družice dojde k jeho pohlcení v tenké vrstvě pláště o tloušťce zlomků milimetru. Tato vrstva se mžikově odpaří, což vede ke vzniku silné tlakové vlny, která může způsobit mechanické rozrušení objektu.

Vývoj rentgenového laseru intenzívně probíhá v USA. Součástí vývoje jsou pokusné jaderné podzemní výbuchy, při nichž se toto zařízení zkouší. Američtí odborníci předpokládají rozmístit „hnízda až o 50 laserech, každý směrovaný na jeden kosmický objekt.

K excitaci všech laserů by došlo výbuchem jaderného náboje mohutnosti kolem 20kt uprostřed „hnízda“. Všechny lasery by byly výbuchem samozřejmě zničeny. Výroba této zbraně v krátké době je zatím nereálná.

Gama laser. Na rozdíl od laseru optického a rentgenového, kde záření vzniká při přechodu elektronů z jedné energetické hladiny ve slupce atomu na druhou, gama laser generuje záření při energetických přechodech atomového jádra. Gama laser generovaný jaderným výbuchem se může stát efektivní protiraketovou a protidružicovou zbraní. Záření gama může pronikat i atmosférou a ničit rakety ještě před vstupem do vzduchoprázdna a pro jeho opuštění. Tedy jak na vzestupné, kulminující, tak i na sestupné části dráhy. Záření gama může být také

„naladěno“ na vlnovou délku maximální absorpce v těžkých materiálech a účinně ničit jaderné hlavice. Demonstrace (ne výroba) tohoto laseru se předpokládá za několik let. Studuje se možnost dvoustupňového vybuzení. Přitom se jádra atomů aktivní zóny dlouhodobě ozařují neutrony a převedou se do vzbuzeného stavu, ve kterém se mohou nacházet dostatečně dlouho. Potom se jaderným výbuchem dodá jádrům doplňkové energie a tím tento laser vyzáří mohutný směrovaný paprsek záření gama.

Gama laser, na rozdíl od rentgenového, by nenarušoval objektiv mechanicky, ale pronikal by obalem a vyřazoval jaderné hlavice a elektronickou aparaturu objektu jako pronikavá radiace.

Další možné druhy jaderných zbraní třetí generace se intenzivně studují a experimentálně prověřují ve výzkumných laboratořích jaderného výbuchu v mohutný svazek vysokoenergetických nabitých (elektrony, protony, ionty) nebo neutrálních částic, majících rychlost blížíící se rychlosti světla, které by byly schopny efektivně ničit balistické střely a kosmické objekty. Studuje se otázka konstrukce jaderných zařízení, která při výbuchu vysílají směrový tok plazmy. Studuje se možnost koncentrace energie jaderného výbuchu do oblasti velmi dlouhých vln.

Američtí odborníci, jak je výše stručně uvedeno, se tedy v současné době snaží najít technické řešení dovolující koncentrovat energii jaderného výbuchu v usměrněný tok pronikavé radiace, elektromagnetického záření v různých oblastech spektra, vysokoenergetických nabitých i nenabitých částic nebo plazmy. Tyto práce mohou vést k objevu kvalitativně nových jaderných prostředků ničení. Podle jejich názoru mohou objevy v této oblasti znamenat nepodstatnější změnu v technologii JZ od počátku jejich výzkumu.

Ničivé faktory jaderného výbuchu

Ničivé faktory jaderného výbuchu jsou:

- tlaková vlna,
- světelné záření,
- pronikavá radiace,
- radioaktivní kontaminace
- elektromagnetický impuls.

Radioaktivní kontaminace je faktor dlouhodobý, ostatní jsou faktory okamžité, které pominou za několik sekund.

Tlaková vlna

Tlakovou vlnou nazýváme prudké stlačení vzduchu, které se šíří od centra výbuchu nadzvukovou rychlostí. Přední hranice stlačené oblasti se nazývá čelem tlakové vlny. V malých vzdálenostech od centra výbuchu je vzduch v tlakové vlně natolik stlačen a i zahřát, že svítí. Pohyb vzduchu podél země je viditelný. Se vzdáleností od centra výbuchu se rychlost šíření vlny i tlak v ní snižují. Při přetlaku menším než 5 MPa přestává čelo vlny svítit a tlaková vlna je dále neviditelná.

Ve značně velikých vzdálenostech od místa výbuchu se tlaková vlna mění na vlnu zvukovou.

Dobu, po kterou působí v daném bodě zvýšený tlak, nazýváme dobou působení fáze stlačení. Za fázi stlačení následuje fáze zředění, během jejíhož působení je tlak nižší než tlak atmosférický (tlak od příchodu čela tlakové vlny).

Doba působení fáze stlačení závisí na mohutnosti jaderného výbuchu a na vzdálenosti od míst výbuchu. Při výbuších s mohutností stovek tisíc a milionů tun TNT dosahuje doba působení fáze stlačení několika sekund a její hloubka může být až několik kilometrů. Doba působení fáze zředění v tlakové vlně je zpravidla dva až třikrát delší než doba působení fáze stlačení. Čím je vyšší tlak v čele tlakové vlny, tím je větší rychlost pohybu vzduchu za čelem tlakové vlny. Např. při přetlaku v čele vlny 0,05 MPa dosahuje rychlost vzduchu za čelem vlny asi 100m/s a při přetlaku 1 MPa asi 800m/s. Pro srovnání rychlost silného uragánu nepřesahuje 40-50m/s. Čelo tlakové vlny se však pohybuje vždy nadzvukovou nebo zvukovou rychlostí.

Ničivé působení tlakové vlny je tím větší, čím je větší přetlak v jejím čele a čím je větší rychlost pohybu vzduchu za čelem vlny. Účinek se zvyšuje také s dobou působení tlakové vlny.

Doba působení tlakové vlny je určena dobou působení fáze stlačení a závisí na mohutnosti výbuchu a vzdálenosti od centra výbuchu. Např. při přetlaku v čele vlny 0,5 MPa bude doba působení pro 1kt – 0,15s, 10kt – 0,32s, 150kt – 0,68s, 1Mt – 1,48s (samozřejmě ne ve stejné vzdálenosti od epicentra). Výška a podmínky výbuchu mají na tento parametr jen malý vliv. Vedle tlakové vlny u pozemních a hlavně podzemních výbuchů bude působit i seismická vlna v půdě.

Vliv reliéfu terénu a lesních porostů na parametry tlakové vlny. Na přivrácených svazích výšin, jejichž úhel převyšuje 10-15°, dochází ke zvýšení tlaku. Čím příkřejší je svah, tím je větší zvýšení tlaku. Koeficient zvýšení tlaku v čele vlny např. pro přetlak 0,05 MPa činí při úhlech přivrácených svahů: 15° = 1,31, 30° = 1,65, 45° = 2,3 60° = 2,5.

Na odvrácených svazích se tlak naopak snižuje. V údolích, jejichž směr souhlasí se směrem šíření tlakové vlny, se tlak snižuje se vzdáleností pomaleji než na volném prostranství. V údolích, průvrách a okopec rozložených kolmo k šíření vlny je tlak přibližně stejný jako na volném prostranství, ale mechanické působení tlakové vlny je značně menší. Tím se vysvětluje jejich ochranný účinek. Zmenšení tlaku v tlakové vlně na odvrácených svazích výšin činí podle úhlu sklonu odvráceného svazku: 15° = 0,93, 30° = 0,86, 45° = 0,77, 60° = 0,67% tlaku na rovném terénu.

V soutěskách a roklinách, jejichž směr je paralelní se směrem šíření tlakové vlny, vzniká tzv. „profoukávání“ (zesiluje se působení tlakové vlny), které může způsobit rozsáhlé ničení osob, budov, bojové techniky atd.

Vliv lesních porostů na parametry tlakové vlny je dán odporem, který způsobují stromy pohybu mas vzduchu. Maximální přetlak v čele tlakové vlny uvnitř lesního masívu je o 10-15% vyšší než na volném terénu, ale rychlost mas vzduchu za čelem vlny se sníží a působení je 2-3 krát menší. Tlaková vlna s přetlakem v čele 0,03 - 0,5 MPa láme a povaluje stromy, vytváří závaly. Padající stromy mohou zraňovat a zabíjet lidi a poškozovat bojovou techniku.

Např. poloměr oblasti lesních závalů činí při mohutnosti výbuchu 1kt – asi 0,5km, 10kt – asi 1,1km, 100kt-asi 2,3km a 1Mt-asi 5km.

Působení tlakové vlny. Při působení tlakové vlny na člověka vznikají v jeho organismu mechanická poškození a funkční poruchy, způsobené zvýšeným tlakem v čele vlny a také rychlostním nápoem (pohyb mas vzduchu za čelem vlny), kdy dojde ke střetu těla se zemí, bojovou technikou apod. Zranění způsobované úlomky poškozených staveb atd. jsou důsledkem nepřímého působení tlakové vlny.

Zranění způsobená osobám tlakovou vlnou se dělí na lehká, střední, těžká a velmi těžká (viz tab. 1).

Celkové množství vyřazení živé síly je dáno zraněními všech stupňů, včetně lehkých, která vyžadují stacionární léčení.

Při přetlaku 0,01-0,2 MPa se bojeschopnost osob prakticky nesnižuje. Prasknutí ušních bubínků, ke kterému při takových přetlacích někdy dochází, se nebere při taktickém hodnocení působení na živou sílu prakticky v úvahu.

Charakter a stupeň zranění osob, nacházejících se v okamžiku příchodu čela tlakové vlny nekrytě, závisí, kromě hodnot parametrů tlakové vlny, také na pozici osob. Těžší zranění mají osoby stojící než ležící.

Světelné záření

Světelné záření jaderného výbuchu je elektromagnetické ozáření zahrnující ultrafialovou, viditelnou a infračervenou oblast spektra. Střední spektrální složení (za celou dobu záření) je blízké spektrálnímu složení slunečního záření u povrchu Země. Světelné záření se šíří rychlostí světla ($300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$). Zdrojem světelného záření je svítící oblast, složená z látek jaderného náboje, vzduchu i půdy (u pozemních výbuchů), které jsou rozžhaveny na vysoké teploty. Rozměr svítící oblasti a její teplota se s časem rychle mění. Maximální rozměry svítící oblasti a doba záření rostou se zvětšováním mohutnosti výbuchu.

Základní parametry charakterizujícími světelné záření jsou:

- energie světelného záření. Je to podíl celkové energie výbuchu vyzářený ve formě světla. Tento podíl se zmenšuje s růstem mohutnosti výbuchu. U výbuchu 1kt činí kolem 40%, u výbuchu 10kt kolem 25%.
- světelný impuls. Je to množství energie světelného záření, dopadajícího za celou dobu záření na jednotku povrchu, kolmého ke směru šíření záření. Světelný impuls se měří v joulech na metr čtvereční (nebo v J/cm^2). Hodnota světelného impulsu závisí na mohutnosti a druhu výbuchu, na vzdálenosti od centra výbuchu a na zeslabení světelného záření v atmosféře (zaprášení a zadýmení vzduchu, přítomnost mlhy, srážek atd.). Impuls se zmenšuje se čtvercem vzdálenosti od centra výbuchu.

Při mlze, dešti a sněžení se světelné záření oslabuje natolik, že jeho role jako samostatného ničivého faktoru se blíží nule. Při malé vlhkosti a znečištění ovzduší se světelné záření zeslabuje málo.

Zeslabení světelného záření je možno dosáhnout také stíněním atmosférickými oblaky (při vzdušných výbuších), oblaky par stoupajícími ze země, nerovnostmi terénu, rostlinstva, místních předmětů atd.

Zeslabení světelného záření v lese je závislé na charakteru stromů, na hustotě jejich koruny, na stáří lesa a také na ročním období. Hustý les zeslabuje světelné záření podle charakterů stromů 10-15 krát, řídký les 2-5 krát.

Světelné záření dopadající na nějaký povrch se částečně pohltí, částečně odrazí, a je-li těleso průsvitné, částečně projde. Pohlcená část světelné energie se mění většinou na teplo a způsobuje ohřev tělesa. Proto základním typem zasažení světelným zářením je zasažení tepelné.

Působení světelného záření na hořlavé materiály, na suché rostliny může vést k jejich vzplanutí a ke vzniku požárů. Nechořlavé materiály mohou po ozáření ztrácet pevnost, mohou se deformovat, otavovat a praskat.

U osob může světelné záření způsobovat popáleniny kůže a poškození očí. Popáleniny vznikají bezprostředním působením světelného záření (prvotní) a také jako důsledek vzplanutí oděvu, požárů (druhotné popáleniny).

Popáleniny kůže se dělí na 4 stupně:

- I. stupeň - bolestivé zčervenání a otok kůže,
- II. stupeň - vznik puchýřů,
- III. stupeň - odumření kůže,
- IV. stupeň - zuhelnatění kůže a hlouběji uložené tkáně.

Krátká charakteristika popálenin odkryté kůže a jejich vliv na bojeschopnost je v tabulce 3.

Stupeň popálení závisí většinou na hodnotě světelného impulsu, době působení záření, výšce výbuchu, na hustotě a kvalitě vzduchu na úrovni výšky výbuchu. Světelný impuls je definován množstvím svícivé energie dopadající na jednotku plochy [$\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$]

Při mohutnosti výbuchu 1kt je pro popáleniny I. stupně (pravděpodobnost 50%) nutná hodnota světelného impulsu $10 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$, II. stupeň vyžaduje $14,6 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ a III. stupeň – $20,5 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$. Silněji působí ten impuls, který je vyzařen za kratší dobu. Např. pro II. stupeň pro 1kt je nutný impuls $14,5 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ a pro 1Mt je nutný impuls $24,7 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$. Je to tím, že při výbuchu 1kt se světelný impuls vyzaří za 1s, ale při výbuchu 1Mt za 10s.

Hodnota světelného impulsu, při kterém vznikají popáleniny kůže chráněné oděvem, jen málo závisí na mohutnosti výbuchu, ale je dána především druhem oděvu, jeho vlhkostí a stupněm přiléhání k tělu. Popáleniny kůže I. - III. stupně, např. pod bavlněným oděvem a prádlem, vznikají při světelných impulsech do $60 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$. Pod polobavlněným, gabardénovým oděvem a bavlněným prádlem pak do $88 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$. Tyto údaje jsou uvedeny v tab. 4.

Vážnost zasažení osob závisí také na ploše popálených částí kůže. Při II. stupni popálení a ploše 10-30% plochy těla dochází ke středním a při ploše více než 30% k velmi těžkým zraněním. Podrobnější údaje jsou v tab. (5).

Vyřazení osob z boje světelným zářením nastává při popáleninách II. a III. stupně u odkryté kůže a při popáleninách II. stupně pod oděvem při ploše nejméně 3% povrchu těla.

Při průzračné atmosféře zasahuje světelné záření nekrytou živou sílu ve větších vzdálenostech než tlaková vlna. Působení světelného záření je závislé nejen na stavu ovzduší, ale i na rychlosti reakce osob ke své ochraně. Za mlhy, silného kouřma, při výbuchu nad oblaky ztrácí světelné záření značnou část (až 100%) své účinnosti. Pokud člověk rychle zalehne a zakryje odkryté části těla, bude v zásadě chráněn před působením světelného záření. Úkryty, nakryté zákopy a zakrytá bojová technika prakticky vylučují zasažení osob světelným zářením. Okryté zákopy a okopy snižují pravděpodobnost přímého působení světelného záření 1,5-5 krát.

Proto je světelné záření zařazeno mezi ničivými faktory jaderného výbuchu až za tlakovou vlnou.

Přímé působení světelného záření se ve městech snižuje stíněním budovami a je závislé hlavně na hustotě zástavby. Pravděpodobnost přímého působení světelného záření na osoby na ulicích, náměstích a dvorech při vzdušných výbuších je 65%, v budovách 10%. Při pozemních výbuších, bez ohledu na umístění osob, asi 10%.

Světelné záření může způsobovat popálení víček, předního segmentu oka (rohovky a duhovky), očního pozadí a dočasné oslepnutí. Tato zranění vznikají přibližně při stejných světelných impulsech jako popálení nekryté kůže. Obzvláště velikých rozměrů mohou však dosáhnout oblasti poškození zrakových orgánů v noci a za soumraku. Popálení očí může vést k vyřazení osob z boje na týdny a měsíce.

Pronikavá radiace

Je to proud neutronů a záření gama vyzařovaný z místa výbuchu do okolí. Pronikavá radiace působí několik sekund.

Neutrony a záření gama se šíří prostředím a při tom ionizují jeho atomy. Kromě ionizace je možná působením neutronů přeměna stabilních atomů v atomy radioaktivní (tzv. indukovaná radioaktivita).

Vzájemné působení záření s atomy prostředí (tedy i s atomy našeho těla) je provázáno ztrátou energie záření. Množství energie absorbované v materiálu je mírou ničivého působení záření. Toto množství je charakterizováno dávkou. Jednotkou dávky je gray. 1 gray (Gy) je taková dávka záření (libovolného), kdy v 1 kg materiálu se absorbuje 1 joule energie. V některých případech se užívá jednotky centigray cGy. $1 \text{ cGy} \div 1 \text{ R}$. Někdy se účinek záření vyjadřuje stupněm ionizace prostředí. V takovém případě mluvíme o expozici čili ozáření a jednotkou je coulomb na kilogram ($\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$). Tuto jednotku lze použít jen pro záření rentgenové a gama. Zastaralou jednotkou expozice (nesprávně i dávky) je rentgen. Tato jednotka se doposud někdy užívá. Přepočít je $1 \text{ Gy} \div 100 \text{ R}$.

Dávky záření v různých vzdálenostech od místa výbuchu pro různé mohutnosti výbuchu jsou v tabulce 6.

Pronikavá radiace se při průchodu materiálem zeslabuje. Zeslabující působení materiálu závisí na jeho druhu a kvalitě a také na druhu a energii záření. Neutronové záření se většinou lépe zeslabuje v materiálech lehkých (voda, plast, hmoty, cihly, beton, zemina). Záření gama se naopak zeslabuje lépe v materiálech těžkých (ocel). Míru zeslabení záření materiálem

vyjadřuje polovrstva nebo stupeň zeslabení. Polovrstva (udávaná zpravidla v cm) udává tloušťku materiálu, která zeslabuje záření 2 krát. Stupeň (koeficient) zeslabení udává, kolikrát daný objekt nebo BT záření zeslabí. Koeficienty zeslabení pronikavé radiace jsou v tabulce 7.

Vážnost zasažení osob pronikavou radiací závisí na celkové dávce, kterou obdržel náš organismus, charakteru ozáření (celkové nebo jen částí těla), na délce ozařování a na celkovém stavu a individuální odolnosti organismu. Vysílení, hladovění, zranění a nemoc snižují odolnost organismu vůči nemoci z ozáření. Podle vážnosti rozlišujeme 4 stupně nemoci z ozáření:

Nemoc z ozáření I. stupně (lehký) nastává zpravidla při dávkách od 1 do 2,5 Gy. Je charakterizována především slabými, rychle mizějícími změnami krevního obrazu. Příznaky onemocnění, jako celková slabost, únava, závratě, nevolnost, jsou slabé a mizí většinou na několik dní.

Nemoc z ozáření II. stupně (střední) nastává při dávkách od 2,5 do 4 Gy. Je charakterizována v podstatě stejnými příznaky jako nemoc III. stupně, ale slabšími. Onemocnění končí ve většině případů uzdravením.

Nemoc z ozáření III. stupně (těžký) nastává při dávkách 4 – 6 Gy. Je charakterizována silnými bolestmi hlavy, slabostí, zvýšenou teplotou, nechutenstvím, žízní, žaludečními a střevními potížemi (nevolnost, zvracení, průjmy, nežídka s příměsí krve), krvácení jak vnitřní, tak na kůži a sliznicích. Silně se mění krevní obraz. Pro snížení celkové odolnosti organismu vůči infekčním onemocněním nastávají zánětlivé procesy v plicích a dalších orgánech. Uzdravení je možné při včasném, efektivním a dlouhodobém léčení.

Nemoc z ozáření IV. stupně (velmi těžký) nastává při dávkách nad 6 Gy. Ve většině případů končí smrtí. Při dávkách nad 100 Gy nastává tzv. blesková forma, kdy osoby ztrácejí bojeschopnost prakticky ihned a umírají v prvních dnech po ozáření.

Biologické účinky záření (gama, alfa, neutronového apod.) nejsou stejné. Do dávky v Gy musíme tedy zahrnout ještě biologickou účinnost záření. Např. záření neutronové je biologicky účinnější než záření gama. Biologickou účinnost záření respektuje jednotka sievert (Sv), je to gray násobený relativní biologickou účinností záření. Pro mžikové ozáření nejsou rozdíly příliš velké. Průběh nemoci z ozáření má poněkud jiný charakter při ozáření zářením gama a při ozáření neutrony.

Pronikavá radiace může znehodnotit také fotografické materiály, i když jsou v neprůsvitných obalech. Možné poškození radioelektronické aparatury a optiky je v tab. (8).

Radioaktivní kontaminace

Zdrojem radioaktivního zamoření terénu a atmosféry při jaderném výbuchu jsou štěpné produkty (odštěpky vzniklé štěpením jader jaderné výbušniny), indukovaná radioaktivita (vzniklá působením neutronů) okolního prostředí a nezreagovaná jaderná výbušnina. Největší význam mají zpravidla štěpné produkty. Radioaktivitu štěpných produktů můžeme vypočítat:

$$A_1 = 1,61 \cdot 10^{16} q \text{ (Bq)},$$

kdy A_1 = aktivita štěpných produktů 1h po výbuchu

q = tritolový ekvivalent jaderného náboje v tunách.

Tento výraz ovšem neplatí pro dvoufázové termonukleární náboje (včetně neutronových). Pro třífázové termonukleární náboje platí přibližně. Při všech termonukleárních výbuších je vliv štěpných produktů na radioaktivní kontaminaci relativně menší a vliv indukované radioaktivity relativně větší. U všech druhů jaderných výbuchů je vliv nereagované jaderné výbušniny na radioaktivní kontaminaci velmi malý.

Radioaktivní produkty výbuchu (kromě indukované radioaktivity půdy, která vznikla působením neutronů v oblasti epicentra) se vznášejí spolu s oblakem výbuchu, mísí se s částicemi půdy a zamořují terén v oblasti epicentra a postupně vypadávají na terén po dráze pohybu oblaku, vytvářejíce radioaktivní stopu.

Kontaminace terénu při vzdušném výbuchu je malá nebo zcela zanedbatelná a vyskytuje se zpravidla jen v kruhové oblasti kolem epicentra. Je to způsobeno tím, že do oblaku se nasává jen málo (nebo žádné) částice půdy, radioaktivní prach je velmi jemný, vypadáva pomalu, na obrovských plochách, a tím se hustota kontaminace zmenšuje. Kromě toho značná část radioaktivity se zmenší během pádu.

Při pozemních a podzemních výbuších je do oblaku nasáto velké množství částic půdy (až 30t na 1kt mohutnosti), radioaktivní prach je hrubý, vypadáva rychle a hustě.

Radioaktivní částice na terénu vyzařují paprsky beta, gama a alfa. Největší význam má záření gama. Neutronové záření se v radioaktivní kontaminaci nevyskytuje.

Po ozáření v prostoru radioaktivní kontaminace se může dostavit nemoc z ozáření různého stupně. Podle obdržené dávky, stejně jako u pronikavé radiace. Zde podstatnou roli hraje doba ozařování, zatímco pronikavá radiace ozařuje mžikové.

Elektromagnetický impuls (EMI)

Zaujímá specifické místo mezi ničivými faktory jaderného výbuchu. Jeho ničivé působení je dáno tím, že při jaderných výbuších vznikají v okolním prostředí elektromagnetická pole, která způsobují toky napětí ve vodičích a kabelech vzdušného i podzemního linkového spojení, elektrického vedení, v anténách apod.

Při pozemních a nízkých vzdušných výbuších je účinek EMI co do vzdálenosti omezen. Při vysokých vzdušných výbuších (nad 50 km) je poloměr účinků veliký a EMI se stává jediným ničivým faktorem na zemském povrchu a v jeho blízkosti.

Účinky EMI na bojovou techniku. Na bojovou techniku, která má elektrická a elektronická zařízení, může EMI působit až na vzdálenost 10km od výbuchu. Většinou bude působení EMI omezeno na vzdálenosti do 3-5km od výbuchu. Do této vzdálenosti bude působit EMI na všechna elektrická a elektronická zařízení a přístroje. V případě nedostatečné odolnosti proti EMI dojde k přerušení provozu především:

- radiostanic
- směrových stanic
- elektroniky zbraňových systémů, zvláště tam, kde jsou dlouhá kabelová propojení
- elektroniky automatizovaných systémů velení,
- elektroniky v bojové technice, zvláště v BVP a v tancích, zvláště pak jejich přístrojů s kabelovým propojením a s anténami
- elektroniky radiolokačních stanic apod.

U pozemních a vzdušných výbuchů jsou všechny účinky jaderného výbuchu co do dosahu téměř srovnatelné a je možno dosáhnout účelné (tzv. vyvážené) ochrany. To znamená realizovat odolnost především proti tomu účinku, který má největší dosah. Jako příklad uveďme tanky (uvažujeme koef. zeslabení pronikavé radiace 5).

Pro jaderné náplně mohutnosti 1-10kt má EMI a pronikavá radiace působící na elektroniku větší dosah než mají ostatní ničivé faktory. Tanky budou proto vyraženy na největší ploše působením pronikavé radiace a EMI na přístroje (radiostanice, laserový zaměřovač apod.). Proto je nutno vzhledem k takovému ohrožení realizovat odolnost elektroniky tanků proti EMI a pronikavé radiaci. Teprve potom má smysl zlepšit ochranu živé síly proti ionizujícímu záření.

Nejrozšířenějším způsobem ochrany proti EMI je dokonalé stínění. Jako stínicí materiál se užívá železo a měď. Velmi důležité je stínění kabelů, pro něž se užívají kabelová stínění z měděného pletiva.

V některých případech nelze stínění realizovat. Antény nemohou např. být stíněny. V takovém případě se ochrany dosahuje dvěma způsoby:

1. Vytvořením přechodného zkratu nebo omezením rušivého napětí omezovačem napětí.
2. Omezením přenosu na signální kmitočtové pásmo pomocí filtrů.

Dokonalý omezovač napětí neexistuje. Jako omezovače se používají většinou jiskřiště, varistory, ochranné bipolární diody.

Filtry patří ke klasickým ochranným prvkům. Jejich konstrukce využívá kombinaci kapacitních a indukčních prvků.

Další způsob, v poslední době rozvíjený, spočívá ve využití světlovodu (optoelektronický přenos), který umožňuje galvanické oddělení vstupu přístrojů při současné oddělení přenosové cesty.

Řešení ochrany pro EMI spočívá dále v používání elektronických prvků málo citlivých nebo necitlivých vůči napětí, řešení různých způsobů zemnění apod.

Radiologické zbraně

Radiologická zbraň (někdy nazývaná též špinavá bomba) je tvořena klasickou trhavinou, jejíž exploze rozmetá do okolí radioaktivní látky (např. ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{235}U , ^{241}Am a jiné), které následně způsobí kontaminaci okolí. Některé z uvedených radionuklidů mají rovněž vysoce toxické vlastnosti. Vyrobit radiologickou zbraň není o moc náročnější než vyrobit klasickou bombu, přičemž největší překážkou je sehnání radioaktivního materiálu. Hlavním účelem této zbraně je vyvolat zděšení u obyvatelstva a zapříčinit dlouhodobou nemožnost používat budovy a přilehlá prostranství bez provedení nákladné dekontaminace. Předpokládané použití této zbraně je především v hustě obydlených místech, popř. v místech s velkým hospodářským významem (nádrže na pitnou vodu apod.)

- Ničivé účinky radiologické zbraně jsou nesrovnatelně nižší než u jaderné zbraně. Tato zbraň není schopna způsobit závažné zdravotní následky většího rozsahu. Počet obětí v okamžiku exploze je srovnatelný s počtem obětí při výbuchu klasické výbušniny stejné mohutnosti.
- Nejnebezpečnější radioaktivní materiál se nachází v jaderných elektrárnách a jaderných zbraních. Naštěstí riziko, že teroristé získají materiál z těchto zdrojů je nízké. Lépe dostupný je radioaktivní materiál používaný v průmyslu (diagnostika) nebo lékařství (radiofarmaka) apod. Taktéž nelze vyloučit útok na jaderné palivo při jeho převozech a např. i útok velkým dopravním letadlem na reaktor jaderné elektrárny.

Kontrolní otázky:

1. Co je to tritolový ekvivalent jaderné munice, v jakých jednotkách se udává?
2. Co je to štěpná reakce, jak vypadá obecná rovnice, uveďte konkrétní příklad štěpení
3. Jaké jsou ničivé faktory jaderného výbuchu, seřaďte je: a) podle energie vydané při JV
b) podle časové posloupnosti
4. Jaké jsou tři základní zdroje radioaktivní kontaminace terénu?
5. Popište, jak vypadá pozemní jaderný výbuch.