

Některé otázky zjišťování parametrů jaderných výbuchů

Podplukovník Zdeněk Tronner, kapitán inž. Zdeněk Václavěk



Použití jaderných zbraní na bojišti i v zázemí bude mít rozhodující vliv na charakter činnosti vojsk, civilní obrany, politických a hospodářských orgánů napadeného státu.

Současný systém zjišťování parametrů jaderných výbuchů a sledování a vyhodnocování radiační situace na území ČSSR nelze již dále zlepšovat zvyšováním počtů v teritoriální radiační hlášené síti (TRHS) nebo zasazením další techniky, používané již v této síti, ale vytvořením kvalitativně zcela nového, postupně automatizovaného systému. K jeho vyřešení byl již položen základ a vytvořeny podmínky. V současné době se započalo se zpracováním „Studie“ k zadanému úkolu. Jejím výsledkem má být zformování dílčího ideového projektu. Dosavadní práce na tomto úseku odkrývají pracovní skupině, pověřené vyřešením tohoto úkolu, některé vážné problémy, bez jejichž vyřešení nelze daný úkol splnit.

Jedním z těchto problémů je nalézt metodu ke zjišťování parametrů jaderných výbuchů. Znalost některých z těchto parametrů a jejich zavedení do samostatného počítače umožní nám predikci radiační situace na území ČSSR i její vyhodnocování pro potřeby orgánů teritoriálního velení.

V článku se proto zaměříme na možnosti a některé metody zjišťování parametrů jaderných výbuchů.

Možnosti a metody zjišťování

Místa a ráže výbuchu jaderných zbraní můžeme zjišťovat buď na velké vzdálenosti (zjišťování centrální) nebo v malých vzdálenostech pro potřeby jednotek nebo územních orgánů (zjišťování místní).

Při centrálním zjišťování můžeme použít metodu radiolokační, seizmickou, akustickou a elektromagnetickou, při místním zjišťování pak metodu světelně tepelného záření, radiolokační nebo měření některých parametrů tlakové vlny.

K měření parametrů výbuchu je výhodné použít několika metod současně, protože každá z uvedených metod má své zvláštnosti a navíc meteorologické podmínky, terénní charakter aj. by mohly výsledky měření značně zkreslit. Podle požadavku na přesnost a dokonalost těchto zařízení zvýší se i náklady na jejich zavedení.

A. ZJIŠŤOVÁNÍ CENTRÁLNÍ

Metoda radiolokační

Radiolokační zjišťování výbuchů JZ je jedna z variant v celé škále možných měřících způsobů. Při rozboru problematiky centrálního zjišťování výbuchů JZ na území ČSSR i na celém střeoevropském válčišti, je tato metoda jednou z nejspolehlivějších cest k dosažení poměrně přesných informací. Výhodou tohoto způ-

sobu je okamžitá možnost centrálně vyhodnotit vzniklou situaci na rozsáhlém území. V maximálním měřítku je vyloučen i vliv subjektu člověka na přesnost informací. Radiolokační způsob má přes řadu dalších výhod i určité nevýhody. Výhody však je vysoce převyšují. Tento názor podporuje i skutečnost, že kapitalistické země (především USA) řešily vhodný radiolokátor pro tyto účely (např. radiolokátor AN/MPS 34 s dosahem přes 600 km). V současné době budují účelně řešenou síť meteorologických radiolokátorů s velkým dosahem po celém světě. V USA je tato síť již vybudována, několik těchto radiolokátorů s velkým dosahem je umístěno i v západní Evropě. Proto je nutné zabývat se touto otázkou podrobněji i u nás.

V další stati probereme reálné možnosti uvedeného způsobu zjišťování v závislosti na současném stavu a možnostech radiolokační techniky v ČSSR.

Možnosti využití radiolokační techniky k zjišťování výbuchů JZ na území ČSSR

Pro potřebu centrálního zjišťování výbuchů JZ můžeme v současné době uvažovat několik variant využití dosažitelné radiolokační techniky. Každá z nich má své klady a nedostatky. Všechny jsou však realizovatelné s menšími nebo většími materiálními a finančními náklady. Předpokládáme, že k radiolokačnímu zjišťování výbuchů JZ bylo by možno použít:

1. Stávající vojenskou síť hlásných radiolokátorů (ze sítě předběžné výstrahy) se současným využitím spojovací sítě tohoto systému.

Výhody: Malé finanční náklady, okamžitá připravenost, postačující přesnost informací o výbuchu JZ.

Nevýhody: Nutnost organizačních změn v systému předávání a vyhodnocování informací a určité potíže s jejich uskutečněním.

2. Jen určité radiolokátory z hlásné sítě (ad 1.), opatřit je dalšími tzv. „výnosnými“ indikátory, které by sloužily jen pro zjišťování výbuchů JZ. K těmto indikátorům vybudovat samostatné vyhodnocovací středisko a spojovací síť.

Výhody: Zrychlení předávání informací, nezátěžování stávající informační sítě.

Nevýhody: Vysoké finanční náklady, další materiál a kádry, závislost operátorů u tzv. „výnosných“ indikátorů na hlavním pracovišti.

3. Zvláštní radiolokační hlásné jednotky, zaměřené jen k sledování výbuchů JZ, s 4–5 hlásnými radiolokátory a příslušnou spojovací sítí k předávání informací.

Výhody: Velmi rychlé předávání informací přímo na zainteresované složky.

Nevýhody: Vysoké náklady, náročnost na početní i odborné kádrové obsazení, nevytížení v době mimo ohrožení napadením JZ.

Bylo by výhodné použít meteorologické radiolokátory (k sledování mraků), které by v mírové době sloužily meteorologické službě ČSAV nebo meteorologické složce MNO.

4. Jeden speciální dálkový meteorologický radiolokátor s dosahem přes 600 km pro území ČSSR k sledování výbuchů JZ. Radiolokátor by mohl být součástí sítě radiolokátorů pro potřebu států Varšavské smlouvy.

Výhody: Poměrně malé náklady, malé počty obsluhy, zdokonalení systému zjišťování a sledování jaderného napadení na celém území států Varšavské smlouvy.

Nevýhody: Možnost vyřazení a proto nutnost mít v pohotovosti záložní radiolokační zařízení, nebo jeho mobilnost pro rychlou změnu stanoviště.

5. Projektovanou a částečně již vybudovanou síť oblastních radiolokátorů státní letecké správy a spojovacích zařízení směrových pojítek ministerstva spojí.

Výhody: Minimální finanční náklady (sít je nutná pro ČSA a bude vybudována i když nebude použita pro účely zjišťování výbuchů JZ); výhodné rozmístění radiolokátorů, předpoklad automatického provozu a přenosu informací.

Nevýhody: Omezený dosah mimo území ČSSR.

Použití radiolokační techniky k zjišťování výbuchů JZ je podle našeho názoru výhodné.

Radiolokační technika umožňuje sledovat a zjišťovat výbuch JZ za každých povětrnostních podmínek. Obsluhy radiolokátorů výbuch JZ zjistí i tehdy, nebudou-li se přímo zabývat jeho zjišťováním a měřením. Soudobé dálkové radiolokátory jsou schopny zaznamenávat výbuch JZ i při maximálním rozsahu dálky a zjišťovat všechny potřebné parametry pro určení místa výbuchu JZ s poměrně velkou přesností. Informace je možno předávat okamžitě (i obrazově). Přitom radiolokační měření není závislé na subjektivních pocitech člověka. Měření je prakticky zajištěno od okamžiku výbuchu až do doby, kdy radioaktivní mrak v důsledku rozptýlu částic ztratí plně odrazný charakter. Tak je možno sledovat i směr pohybu radioaktivního mraku a zajistit včasné varování jednotek i civilního obyvatelstva před radioaktivním spadem. Okruh činnosti dálkových radiolokátorů nejlépe vyhovuje pro dané vzdálenosti na území ČSSR, popřípadě na území středoevropského válčiště.

Metoda seizmická

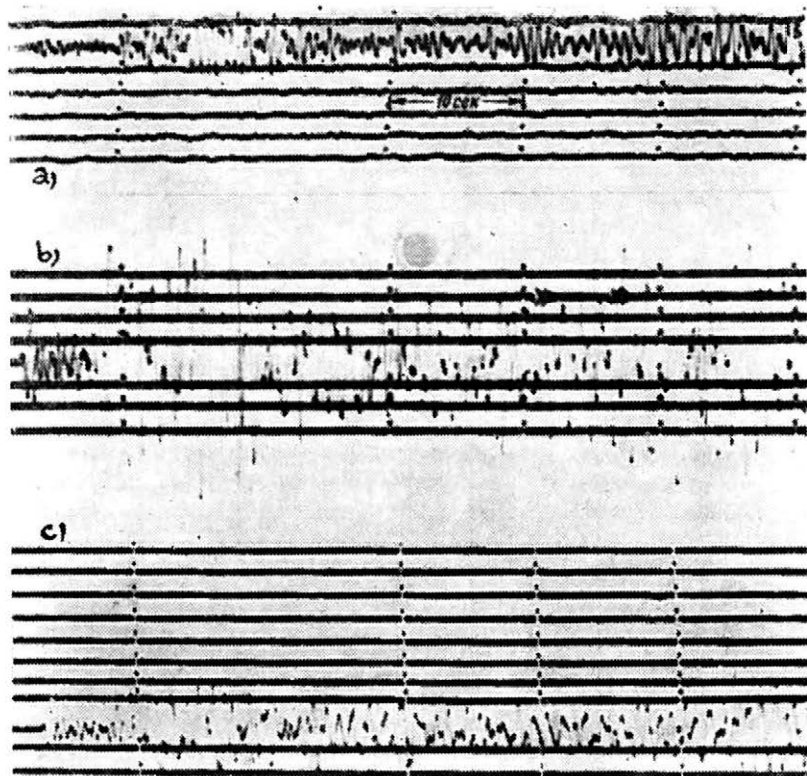
Této metody můžeme zejména použít k rozpoznávání podzemních výbuchů jaderných zbraní, popřípadě k určení souřadnic podzemního výbuchu na velké vzdálenosti.

V září t. r. byla v našem tisku uveřejněna zpráva, že v jižním Skotsku v blízkosti Eskdalemuiru byla dána do provozu automatická seizmická stanice k registrování výbuchů jaderných zbraní.

Otázkou seizmické metody určování parametrů výbuchu jaderných zbraní se podrobně zabývali i sovětsí seizmologové, kteří provedli podrobný rozbor seizmických zápisů ze šesti pokusů podzemních jaderných výbuchů, uskutečněných v r. 1958 v Nevadské poušti v USA. Uvádíme některá data těchto výbuchů.

Název	Datum	Hloubka (m)	Přibližný trit. ekvivalent (kt)
Evance	29. 10. 1958	280	0,055
Tamalpace	8. 10. 1958	110	0,072
Neptun	14. 10. 1958	33	0,090
Renier	19. 9. 1958	283	1,7
Logan	16. 9. 1958	278	5,0
Blanca	30. 10. 1958	280	19,0

Výbuchy byly pozorovány jak na speciálních seizmických stanicích v USA, tak i v některých jiných zemích. Nejbližší stanice byla od místa výbuchu vzdálena asi 100 km. Podzemní výbuch „Blanca“ byl zaznamenán i v ČSSR, tedy asi 9180 km od místa výbuchu; nejdále byl tentýž výbuch zaznamenán ve vzdálenosti 16 230 km na sovětské antarktické stanici „Mirnyj“.



Obr. 1. Seizmogram podzemních výbuchů ve vzdálenosti $\Delta = 300$ km
a) Tamalpace, b) Logan, c) Blanca

Vyhodnocení seizmických záznamů jaderných výbuchů ukázalo, že na všech seizmogramech lze dostatečně přesně určit první vstup otřesů. Vlastní vyhodnocování však narazilo na některé vážné problémy. Je totiž známo, že seizmické vlnění (na rozdíl od tlakové vlny) je dvojí, a to vlnění podélné a vlnění příčné. Podélné vlnění se šíří v povrchových vrstvách zemské kůry průměrnou rychlostí 6,31 km/sec., kdežto vlnění příčné rychlostí asi 4,5 km/sec. Pro detekci jaderných výbuchů má největší význam právě vrstva povrchová (zejména pro kratší vzdálenost).

Rychlost šíření seizmických vln roste s hloubkou. Podélná vlna dosahuje uvnitř pláště země (do 3500 km) průměrné rychlosti 13,6 km/sec. V důsledku lomů a odrazů mohou tedy seizmické vlny přicházet různými cestami a tudíž v určité vzdálenosti od epicentra může dojít k zesílení signálu, ačkoli bychom čekali opak. Právě tyto anomálie způsobily při vlastním vyhodnocování místa výbuchu JZ dosti značné chyby.



Obr. 2. Záznam výbuchu Blanca v Průhonicích, vzdálenost $\Delta = 9180$ km

U výbuchů se musí první vstup podélné vlny projevit jako vlna stlačení. Avšak u některých záznamů se ukázalo, že při vstupu byla jako první zaznamenána vlna zředění. To se projevilo jako zvláštnost seizmických záznamů podzemních výbuchů. Vlastní epicentrum bylo určováno metodou postupné aproximace, která je však použitelná pro vzdálenosti větší než 300 km od epicentra; touto metodou seizmologové vypočetli, že místo podzemního výbuchu může ležet na ploše kruhu o poloměru asi 10 km, tj. asi na ploše 300 km², avšak za předpokladu, že doba příchodu podélné vlny bude určena s přesností $\pm 0,1$ sec. Další otevřenou otázkou zůstávají pozemní a vzdušné výbuchy. V daném případě nebude pravděpodobně možné vyhodnotit souřadnice vůbec, neboť do země se přenese jen zlomek energie, připadající na tlakovou vlnu. Jak uvádějí některé zprávy o automatické seizmické stanici ve Skotsku, jsou tato zařízení velmi technicky náročná a nesmírně nákladná.

Registrace jaderných výbuchů je ztížena tzv. šumem přístrojů, který se projevuje v kvalitě záznamů (zejména při větším zesílení šum neúměrně roste) a dále různými přírodními jevy (zemětřesením), jejichž záznam může být zaměněn za seizmogram výbuchu JZ. Podle dostupných údajů se během každého roku zaznamenává průměrně 75–150 jevů, podobných výbuchu jaderné nálože o TNT ekvivalentu 1–10 kt a 4–8 jevů, odpovídajících intenzitě 10–100 kt.

Metoda akustická

Jedním z možných způsobů zjišťování místa jaderného výbuchu je využití zvukových vln v přírodních vlnovodech. Pro zvuk může být takovým vlnovodem (zvukovodem) atmosféra. V atmosféře rychlost zvuku nezávisí tolik na atmosférickém tlaku, jako na teplotě a je dána vztahem

$$C = 20,1 \sqrt{T} \quad \text{m/sec, kde}$$

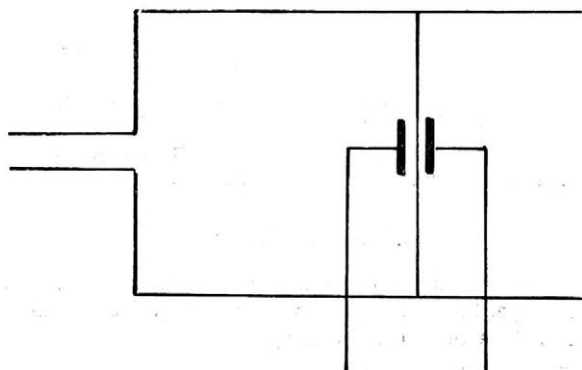
T . . . absolutní teplota [°K]

V atmosféře se teplota mění s výškou. Z počátku teplota klesá rovnoměrně a to 6,5° na 1 km až do výšky přibližně 11 km, do výšky 25 km zůstává konstantní, pak začíná s výškou opět vzrůstat a to asi 3° C na 1 km.

Rychlost zvuku se tedy s výškou mění. Z počátku s výškou klesá, až dosáhne určitého minima a pak opět zase narůstá. Takovým způsobem se vytvoří vlnovod, jehož osa bude ve výškách mezi 10—25 km. Při jaderném výbuchu vzniká tlaková vlna, která se šíří od místa výbuchu a v určité vzdálenosti přechází ve vlnu zvukovou, která se šíří popsaným způsobem. Vzdálenost, v níž se tlaková vlna mění na vlnu akustickou, je závislá zejména na intenzitě výbuchu a na charakteru prostředí, v němž se šíří (teplota, relief terénu aj.).

Prostředí, v němž se šíří akustická vlna, je velmi různorodé, což má vliv na frekvenci a kolísání amplitudy akustické vlny, přicházející do registrační stanice. Hlavními faktory, které mají vliv na šíření zvukové vlny, je kolísání teploty atmosféry, síly a směru větru. Určitý vliv má i nerovnost povrchu země a hustota atmosféry.

Pro registraci atmosférického tlaku, rozrušeného zvukovou vlnou od jaderného výbuchu, lze zkonstruovat speciální úzkopásmový mikrobarograf o velké citlivosti. Jedním z použitelných mikrobarografů je kapacitní diferenciální snímač tlaku (obr. 3).



Obr. 3. Schéma kapacitního snímače tlaku

Měřicí část tohoto snímače tvoří kovový válec, rozdělený membránou na dvě komory. Po obou stranách membrány jsou destičky, které spolu s membránou tvoří dva kondenzátory. Jedna z komor snímače je spojena s atmosférou přes kapilární otvory, které jednak brání tomu, že snímač nereaguje na pomalé změny barometrického tlaku, jednak určují dolní hranici frekvence tlaku v atmosféře, registrované snímačem. Na základě hodnot tří stanic může být určeno místo výbuchu s dostatečnou přesností. Registrace jaderných výbuchů může však být ztížena šumem přístrojů nebo různými přírodními jevy, jejichž záznam je podobný záznamu jaderných výbuchů.

Metoda elektromagnetická

Výbuchy v atmosféře vyzařují silné elektromagnetické signály. Např. výbuch pumy s tritologovým ekvivalentem 1 kt vytváří elektromagnetické pole o síle $10 \mu\text{V/m}$ ještě ve vzdálenosti asi 1000 km od místa výbuchu. Mechanismus vzniku

elektromagnetického pole není dosud dostatečně znám. Jde pravděpodobně o volné elektrony gama paprsků.

Elektromagnetické záření teoreticky nevznikne v tom případě, bude-li výbuch symetrický a bude-li uskutečněn v homogenní atmosféře. Na povrchu země, kde se gama paprsky střetávají se zemí, vznikne vždy určitá složka elektromagnetické energie. Ve vysoké atmosféře, kde je šíření gama paprsků poněkud odlišné, lze rovněž očekávat určitý signál.

V praxi proud gama paprsků vznikne vždy, protože výbuch není nikdy symetrický a dále proto, že atmosféra není nikdy homogenní. Prostředí, v němž se šíří elektromagnetický signál, má vliv na tvar a velikost signálu (útlum, lom, odrazy). Ze spektra elektromagnetických vln, vyzařených při výbuchu JZ, jsou po celém obvodu zeměkoule zjistitelné frekvence v rozsahu od několika kHz až do několika set kHz.

Avšak velké množství přírodních elektromagnetických jevů (bouřky, atmosférické poruchy, sluneční erupce aj.) způsobují, že současnou technikou nebo bez pomoci jiné metody nelze jednoznačně určit, zda zdrojem elektromagnetických vln je jaderný výbuch nebo jiný přírodní zdroj elektromagnetického vlnění.

Polarizované elektromagnetické signály, vznikající při výbuchu jaderných zbraní, lze registrovat lokátory (směrovými měřicími elektromagnetického pole) s anténami, vybavenými parabolickými nebo koutovými reflektory. Tyto lokátory by musely být od sebe vzdáleny několik kilometrů a zjišťovaly by velikost elektromagnetických signálů v μ V/m na frekvencích v rozsahu od 1 kHz do několika set kHz. Touto metodou lze zjistit výbuch pumy s tritolovým ekvivalentem 1 kt na vzdálenost 1000 km s přesností určení azimutu 2°.

B. MÍSTNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ

Pod pojmem místního zjišťování rozumíme vzdálenost nepřesahující hranice okresu, maximálně kraje. Při soustředění vojenských jednotek pak prostor, který přibližně odpovídá rozloze okresu nebo kraje.

Metoda světelně tepelného záření

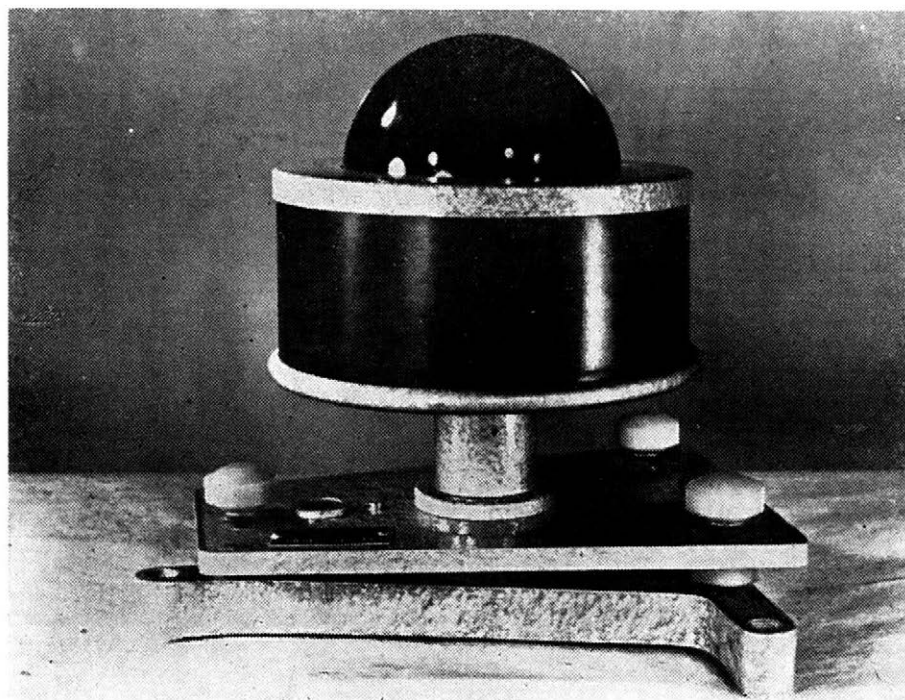
Světelné paprsky, vyzařované při jaderném výbuchu, poskytují několik možností měření parametrů výbuchu JZ. Můžeme jich s výhodou zvláště využít pro zjišťování směru a výšky výbuchu. Měření ráže jaderné zbraně tímto způsobem je již složitější. Přesná měření v tomto směru již vyžadují elektronická zařízení, pracující na základě měření doby trvání světelně tepelného impulsu. Měřicí metody, využívající světelně tepelného záření, jsou přes některé obtížnosti nejvhodnější pro místní zjišťování.

Pro měření ráže JZ využíváme doby trvání světelného záření svítící oblasti. Protože průběh teplotních křivek i maximální dosažená teplota svítící oblasti jsou prakticky podobné pro všechny ráže, většina měřicích zařízení zjišťuje dobu trvání světelného impulsu. Ta je pro rozdílné ráže různá. Některá zařízení měří čas od počátku světelného impulsu do jeho druhého maxima, jiná měří celý průběh od počátku až do doby, kdy teplota poklesne na 1700° K.

Pro zjištění ráže z druhého maxima teploty platí, že

$$t_{\text{max.}} = 0,032 \sqrt{q} \quad [\text{sec}] \quad , \quad \text{kde}$$

q . . . trinitrotoluolový ekvivalent použité JZ [kt]



Obr. 4. Hel - CO

Z hlediska použitelnosti je možno uvést tyto způsoby měření výbuchu JZ:

1. Zjišťování místa výbuchu a ráže pomocí pozorovatele (dvou pozorovatelů), vybaveného jednoduchým zaměřovacím přístrojem (teodolitem), stopkami a nomogramem. Tento způsob používají vojenské jednotky. Je sice jednoduchý, ale projevuje se při něm vliv subjektu pozorovatele a dochází k nepřesnostem, vzniklým koncepcí tohoto způsobu.

2. Zjišťování směru, respektive výšky jaderného výbuchu pomocí jednoduchých zařízení měřením vrženého stínu. Všechna tato zařízení využívají toho, že světelné paprsky prostupují poměrně snadno atmosférou a pevné látky jsou pro ně nepropustné. Vytvářením vržených stínů od různě upravené překážky na vhodně citlivý registrační materiál, je možno zjistit směr a výšku výbuchu, u některých zařízení i zhruba intenzitu světelného záření. Taková zařízení různých variant byla popsána v řadě literárních pramenů (např. i v knize „Moderní vojenská technika 3“, kterou vydalo „Naše vojsko“ v r. 1964). Ve většině případů slouží tato zařízení jako nouzové prostředky. Dokonalejší jejich obdobou jsou měřicí zařízení, pracující na principu registrace směru dopadu světelných paprsků, procházejících kruhovým otvorem nebo štěrbinou a dopadajících na světlocitlivou nebo teplocitlivou registrační vrstvu.

Pro potřebu naší civilní obrany bylo vyvinuto výhodnější zařízení, spadající

do této kategorie. Je odvozeno z běžného heliografu a v CO používáno pod názvem Hel - CO.

Toto zařízení využívá vlastností skleněné kulové všesměrové spojné čočky pro soustředění dopadajících světelně tepelných paprsků do ohniska, které pro všechny směry horní polosféry má tvar vnitřního povrchu půlkoule. Povrch půlkoule je opatřen teplocitlivým nátěrem, do kterého se vypálí stopa stoupání ohnivé koule, vzniklé při výbuchu JZ. Stopa určuje azimut výbuchu i úhlovou výšku nad terénem od počátku do pohasnutí primárního záření ohnivé koule.

Azimut i úhlovou výšku vypálené stopy měří přesný otočný úhломěr s úhlovým dělením po 1° v obou rovinách. Výbuch JZ je možno tímto způsobem registrovat až do vzdálenosti několika desítek km od epicentra výbuchu. Pomocí dvou až tří zařízení Hel-CO je možno přesně určit epicentrum výbuchu JZ. Výhodou zařízení Hel-CO je jeho jednoduchost a poměrná přesnost měřených hodnot. Nevýhodou je, že u zařízení nelze zajistit automatický přenos informací do vyhodnocovacího střediska.

Zařízení Hel-CO je dále vybaveno soustavou vrstev teplocitlivých barev, nanesených na kruhovém pásu, určených k registraci množství tepla vzniklého při výbuchu JZ a tím pro hrubé měření ráže použité JZ. Tato část zařízení Hel-CO bude nahrazena přesnějším zařízením Ter-CO, pracujícím na principu soustavy všesměrových termočlávkových čidel a umožňujícím automaticky přenášet informace do vyhodnocovacího střediska. Zařízení měří celkovou hodnotu energie Q (cal/cm^2), která dopadne v době trvání svítící oblasti na jednotku svislé plochy termočlávků, natočené kolmo ke směru, ze kterého je tepelná energie vyzařována. Tato dopadající energie je dána základním vzorcem:

$$Q_c = \int_0^{\tau} q \, dt$$

kde ... q ... intenzita tepelného toku v místě měření (cal/cm^2)
... t ... čas (sec.)
... τ ... celková doba trvání svítící oblasti (sec.)

Po rozboru možností v současných podmínkách navrhli jsme a rozpracovali další dva způsoby měření pro přesnější určení ráže JZ a dálkový přenos naměřených hodnot.

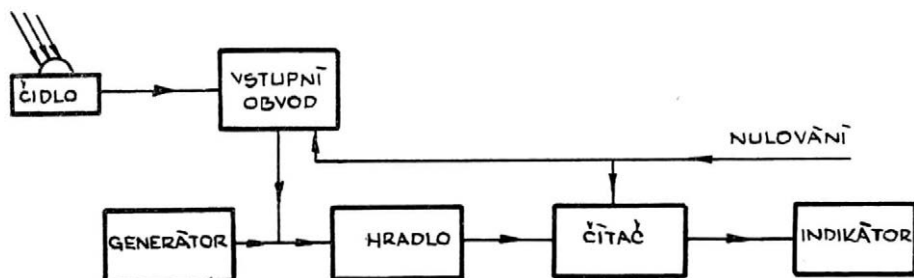
Oba způsoby vycházejí z měření doby trvání světelného záření svítící oblasti při výbuchu JZ a společným jejich prvkem je jednoduché samostatné světelné fotoelektrické čidlo.

První způsob využívá doby trvání světelného impulsu, doprovázející výbuch JZ od jeho vzniku do jeho druhého maxima. K vlastnímu měření doby trvání je použito techniky čítačových elektronických klopných obvodů, jak je znázorněno na obr. 5.

Funkční vzorek čítačového zařízení zhotovila ČSAV. Zařízení je plně tranzistorováno, má velmi malou spotřebu napájecího proudu a není závislé na vnějších

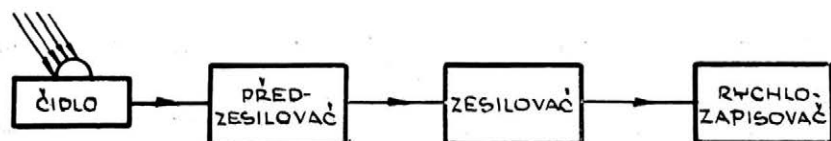
zdrojích. Jeho celková váha nepřesahuje ~ 2 kg. Zařízení je schopno předávat výsledky měření k dálkovému přenosu centrálního vyhodnocování.

Druhý způsob předběžně vyzkoušený zaznamenává celý průběh trvání světelného impulsu v závislosti na čase. Primárním indikátorem je fotoelektrické čidlo,



Obr. 5. Blokové schéma čítačového zařízení

jehož elektrický signál zesiluje tranzistorový zesilovač a průběh zesíleného signálu zaznamenává rotační registrační buben pomocí rychloreгистраčního měřicího systému (viz obr. 6).



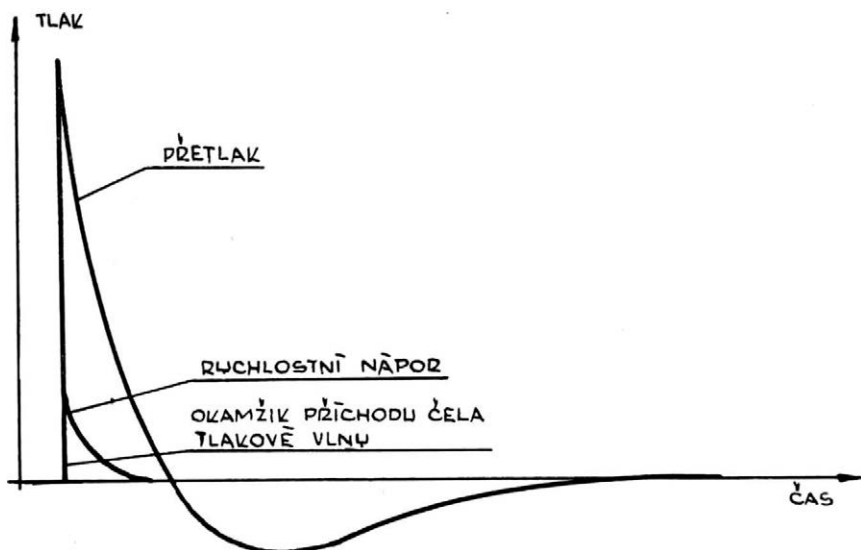
Obr. 6. Blokové schéma rychloreгистраčního zařízení

Zařízení je velmi jednoduché a může předávat výstupní signál pro dálkový přenos informací k vyhodnocovacímu středisku. Z registrovaného záznamu můžeme s velkou přesností určit vrchol druhého maxima světelného impulsu pro výpočet ráže JZ.

Měření některých parametrů tlakové vlny

Tlaková vlna od výbuchu jaderné zbraně je oblast silně stlačeného vzduchu, pohybující se značnou rychlostí od místa, kde došlo k výbuchu. Charakteristikou její zvláštnosti je, že maximální tlak je soustředěn v jejím čele a pak klesá ve směru ke středu svítící oblasti. Oblast stlačení přechází v určité vzdálenosti za čelem tlakové vlny v oblast zředění. Zatímco v oblasti stlačení se vzduch pohybuje ve směru od místa výbuchu, v oblasti zředění směřuje ke středu výbuchu.

Kromě maximálního přetlaku je tlaková vlna od výbuchu jaderné zbraně charakterizována dalšími parametry, a to: rychlostním nápořem, dobou trvání kladné fáze (oblasti stlačení) tlakové vlny a dobou příchodu tlakové vlny (obr. 7).



Obr. 7. Změna přetlaku a rychlostního náporu v závislosti na čase

Z obrázku vyplývá, že přetlak a rychlostní nápor jsou ve stejnou dobu rovny nule. Ve skutečnosti rychlost proudu vzduchu (a tudíž i rychlostní nápor) klesá k nule o něco později než přetlak, což je způsobeno určitou setrvačností pohybuujícího se vzduchu. Tento rozdíl však nemá podstatný vliv na ničivý účinek tlakové vlny. V druhé fázi tlakové vlny (v oblasti zředění) je rychlostní nápor velmi malý, takže i ničivý účinek rychlostního náporu v této fázi je patrný.

Tlaková vlna dojde do určité vzdálenosti od místa výbuchu za určitou dobu, která závisí na intenzitě (ráži) výbuchu a na vzdálenosti. Rychlost čela tlakové vlny je zpočátku velmi vysoká (převyšuje několikanásobně rychlost zvuku), postupně však klesá stejně tak rychle, jak klesá tlak v čele tlakové vlny. V určité vzdálenosti od místa výbuchu přechází tlaková vlna ve vlnu zvukovou a její rychlost se blíží postupně rychlosti zvuku v atmosféře, tj. asi 340 m/sec. Z toho tedy vyplývá, že rychlost tlakové vlny se nešíří lineárně, ale že se řídí obdobnými zákony jako přetlak v čele tlakové vlny.

Protože doba příchodu tlakové vlny závisí jak na vzdálenosti, tak i na ráži zbraně, lze ji obecně vyjádřit vztahem

$$t = \int_a^b \frac{dR}{U(C, R)}$$

Tento vztah byl ve spolupráci s Karlovou universitou numericky vyřešen na matematickém stroji.

Jednou z možností praktického využití parametrů tlakové vlny pro určení ráže

JZ je měření přetlaku v čele tlakové vlny. Bude-li tedy známa vzdálenost a absolutní hodnota tlaku v daném místě, lze z těchto hodnot poměrně snadno vypočítat ráži JZ. Avšak vážným problémem je vlastní měření hodnot tlaku. Protože nelze předpokládat místo výbuchu, nelze dosti dobře zkonstruovat tlakový snímač, který by měřil hodnoty tlaku v rozsahu od 0,01 do 10 kg/cm². V zahraničí sice existují kulové snímače z titaničitanu barnatého, které měří v rozsahu od 0,025 do 3,5 kg/cm², avšak v ČSSR takový druh snímače zatím není. Dalším problémem je rychlé vyhodnocování zaznamenaného průběhu tlakové vlny, protože dosud se průběh filmuje nebo fotografuje z obrazovky oscilografu. Tato metoda je zdoluhavá a neposkytuje okamžité informace.

Výhodnější je metoda, založená na měření doby příchodu tlakové vlny. Takovéto registrační zařízení by pozůstávalo z čidla, reagujícího na světelné záření, které by zapojilo stopky, a z tlakového čidla, které by zaznamenalo příchod tlakové vlny. Na základě změřené doby příchodu tlakové vlny a známé vzdálenosti od místa výbuchu lze vypočítat ráži JZ. Tato metoda byla ve spolupráci s pracovištěm Karlovy university rozpracována a předběžné zkoušky a výpočty potvrzují její použitelnost. Tímto způsobem lze obejít měření absolutních hodnot tlaku. Jediným problémem je přesné odečítání času a zahrnutí vlivu meteorologických podmínek. Vhodným typem časoměrného zařízení jsou elektromagnetické stopky Jaquet typ 308e. Meteorologické vlivy lze odstranit zavedením opravných koeficientů jak pro změnu tlaku, tak i pro změnu teploty od hodnot odpovídajících standardní atmosféře.

Závěr

Problematika zjišťování parametrů výbuchů JZ je dosti široká a technicky náročná. I když jsou v ČSSR již zavedeny některé jednoduché přístroje, nelze s nimi pro budoucnost vystačit a bude nutné nahradit je takovými zařízeními, která by mohla potřebné údaje automaticky zaznamenávat, popřípadě i zpracovat. To vše bude klást nároky nejen na technické řešení, ale na vytvoření celého kontrolního a vyhodnocovacího systému. Celkové vyřešení a zavedení příslušného systému vyhodnocování bude i dosti nákladné. Pokud by tato otázka měla být vyřešena komplexně a do všech důsledků, zasloužila by si mnohem větší pozornosti nejen ze strany ČSSR, ale i ostatních zemí Varšavské smlouvy.