

z kapitalistických armád

Kapitán Ing. Stanislav K a u c k ý

Munice pro perspektivní zbraňové systémy

Některé nedostatky a omezené možnosti infračervených a laserových soustav, určených pro navedení na pozemní cíle hlavně za nepříznivých podmínek na válčišti, si objektivně vynutily zkoumání možností principů a způsobů navedení, které jsou založeny na zcela odlišných základech.

Jedním z možných řešení, vzhledem ke specifickým fyzikálním vlastnostem, se stává využití milimetrových vln v radiolokačních prostředcích. K objasnění tohoto řešení je věnován tento článek.

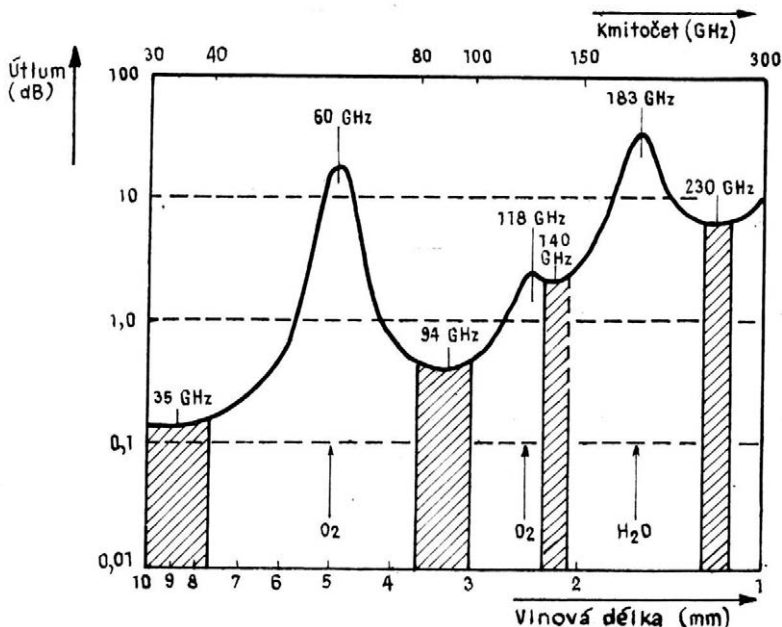
Charakteristika milimetrových vln

Milimetrové pásmo zahrnuje oblast vlnových délek od 10 do 1 mm, která odpovídá kmitočtům od 30 do 300 GHz. Ve spodní kmitočtové oblasti hraničí s klasickými rádiovými vlnami VHF/UHF a v horní s infračervenou. Vzhledem k relativní blízkosti této optické oblasti se milimetrové vlny řídí optickými zákony šíření. Proto se očekávají v souvislosti s aplikacemi milimetrových vln značné přednosti v porovnání se současnými možnostmi elektronických prostředků. K jejich nejdůležitějším vlastnostem budou patřit malé rozměry, vysoká přesnost a spolehlivost provozu za všech povětrnostních podmínek, ve dne i v noci.

Z fyzikální podstaty šíření rádiových vln prostředí vyplývá, že se vzrůstajícím kmitočtem neustále roste i útlum. Tuto závislost útlumu na kmitočtu vyjadřuje **obr. 1**. Je vidět, že útlum se nezvětšuje s kmitočtem lineárně, ale jsou vyznačeny oblasti

minimálního útlumu na kmitočtech 35, 94, 140 a 230 GHz — útlumová minima a oblasti maximálního útlumu — útlumová maxima, která vznikají na základě rezonančního pohlcování způsobovaného atmosférickými plyny, a to zejména na kmitočtech 60, 118 a 183 GHz. I přesto, že existují oblasti minimálního útlumu, v porovnání s kmitočty v klasické radiolokaci, jsou tyto hodnoty útlumu daleko vyšší. Tak např. na kmitočtu 10 GHz je tento útlum 0,005 dB/km, na kmitočtu 35 GHz je 0,1 dB/km a na kmitočtu 94 GHz již 0,4 dB/km. Z této fyzikální vlastnosti milimetrových vln vyplývá, že jich může být využito pouze na malé vzdálenosti — prakticky do 1 až 2 km, výjimečně až do 5 km.

Na **obr. 2** jsou znázorněny vlivy deště a mlhy na šíření milimetrových vln v porovnání s infračervenou a laserovou oblastí. Útlum způsobený deštěm s rostoucím kmi-



Obr. 1

točtem prudce stoupá a od hodnoty 200 GHz pak zůstává přibližně konstantní. Je zřejmá značná přednost milimetrových vln v mlze, kdy je oblast infračervená i laserová charakterizována značným útlumem — řádově asi 100 dB/km, zatímco milimetrové vlny např. na kmitočtu 95 GHz pouhých 0,5 dB/km. Proto efektivnost použití milimetrových vln bude stoupat hlavně v mlze, tzn. bez přímé viditelnosti cíle.

Cílem mnoha zkoušek, které proběhly počátkem 80. let, bylo ověření možnosti využití milimetrových vln v podmínkách válčistě, charakteristického kouřem, dýmem a prachem. Potvrdilo se, že šíření milimetrových vln je negativně ovlivňováno pouze zastíněním clonou vymrštěné zeminy a kamení při výbuchu, a to jen po velice krátký časový okamžik.

Dosah radiolokátoru milimetrových vln je v důsledku útlumu značně omezen a navíc jej redukuje ještě další vlivy prostředí, jako jsou dešť, mlha, sníh, teplota vzduchu a další.

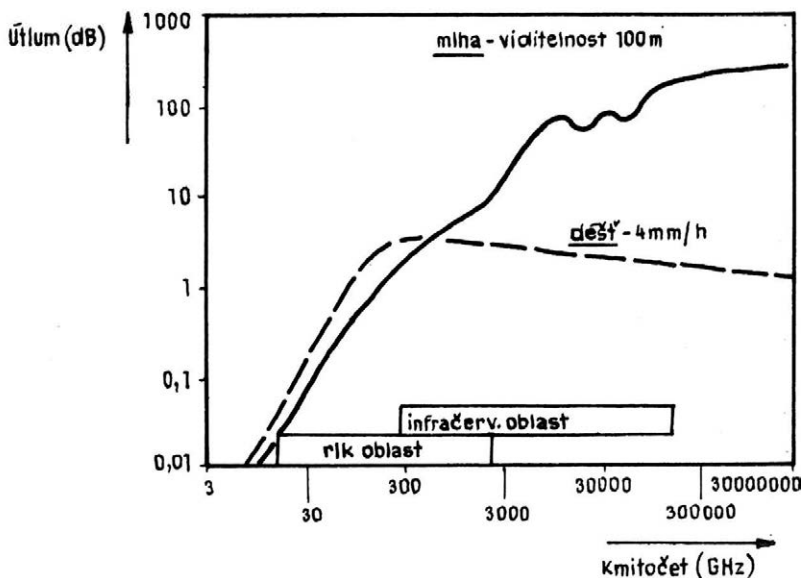
Vzhledem k vysoké směrovosti antén i při jejich relativně malých rozměrech

řádově jednotek až desítek centimetrů je zaručena ve srovnání s klasickými radiolokátory mimořádná přesnost měření, která při detekci cílů může dosahovat až úrovně „obrazu cíle“ nebo jinými slovy „zobrazení obrysů cíle“. Tato schopnost je nejhodnotnější z hlediska automatického rozlišení a identifikace cílů v perspektivních zbraňových systémech.

Ze stručné charakteristiky milimetrových vln vyplývají některé velmi důležité přednosti, a to zejména:

- malé rozměry antén a ostatních prvků naváděcích soustav,
- vysoká dálková i úhlová rozlišovací schopnost a přesnost měření,
- výhodné použití v mlze, kouři, dýmu a prachném prostředí,
- značná odolnost proti průzkumu, zaměřování a rušení,
- použití velké šířky pásma a možnosti skokového přeladování.

Pro tyto přednosti milimetrové vlny otevírají další cesty pro využití zařízení, a to hlavně v systémech řízení palby a aktivních radiolokačních naváděcích soustav.



Obr. 2

vách řízených střel a přesné munice, kde mohou rychle, přesně a spolehlivě plnit základní funkce — vyhledávání, identifikaci, rozlišování a sledování cílů při palbě nebo navedení na konečnou dráhu letu.

Vzhledem k vysoké rozlišovací schopnosti, přesnosti, spolehlivosti provozu a možnostem sestavování kompaktních monolitických celků malého objemu a hmotnosti a schopnostem bezporuchového provozu i v silně narušeném prostředí se nabízejí široké možnosti využití milimetrových vln, zejména v aktivních naváděcích soustavách řízených střel a senzorech speciální munice k ničení malorozměrných pohyblivých i nepohyblivých pozemních cílů, zejména však obrněné techniky. Součástí vývoje naváděcích soustav této kategorie jsou i speciální nespojitě metody

číslicového zpracování radiolokačních signálů, které umožní bezpečné rozlišení skutečného cíle od imitovaného a velmi rychlou klasifikaci jeho druhu na principu elektrooptické identifikace.

Pro své charakteristické vlastnosti a možnosti detekovat a analyzovat i cíle v mechanickém a rádiovém klidu a provádět jejich spektrální rozbor se aktivní a pasivní radiolokační naváděcí soustavy a senzory mají stát významným doplněním infračervených a laserových naváděcích soustav. Jejich použití jako součástí vysoce přesných zbraní se předpokládá buď samostatně nebo vytvářením vícefunkčních kombinovaných naváděcích soustav. Tím má být dosaženo efektivního ničení prioritních cílů v prostoru válčiště ve značném rozsahu.

Praktické aplikace milimetrových vln pro navedení munice k ničení pozemních cílů

Pod pojmem navedení zbraní na pozemní cíle je třeba si představit velice složitý a náročný proces, jehož příprava, provedení a konečné výsledky jsou ovlivněny celou řadou objektivních i subjektivních faktorů. Nejdůležitějšími jsou druh a způsob vedení boje, zámysl a cíle bojových operací jak v těsné blízkosti, tak v hloubce, charakter a druh zájmových cílů, způ-

soby a úroveň průzkumu a možnosti jeho operativního využití a samozřejmě i technická úroveň prostředků pro jejich ničení — přesných zbraní a munice včetně jejich schopnosti přesného navedení na zájmové cíle.

Některé závažné nedostatky infračervených a laserových naváděcích soustav a jejich omezené možnosti zejména v nepř-

znivých povětrnostních podmínkách byly podnětem k zahájení intenzivního vývoje radiolokačních naváděcích soustav na konečné dráze letu. Byly prokázány jejich některé přednosti a schopnosti, z kterých vyplývá, že radiolokační naváděcí soustavy jsou charakteristické zvláště pro prostředí válčíště — v mlze, kouři, prachu a dešti.

Po ověření možnosti použití radiolokačních naváděcích soustav pro navedení na pozemní pohyblivé i nepohyblivé cíle počátkem 80. let následovalo zkoumání metod a speciálních režimů provozu těchto prostředků s ohledem na zásady vedení boje v současných i perspektivních podmínkách, na mobilitu a odolnost bojové techniky, možnosti vedení radioelektronického boje protivníkem, klamání, maskování a nejúčinnějších rušivých vlivů, které by mohly mít za následek buď narušení, nebo dokonce znemožnění procesu přesného navedení. Na základě toho byly stanoveny základní funkce, které musí radiolokační naváděcí soustavy plnit:

- vyhledávání a zjišťování cílů ve značném prostoru s vysokou pravděpodobností,
- identifikace a rozlišení druhu cíle s důrazem na obrněnou techniku — tanky a BVP,
- velmi rychlé zpracování dat využitím počítačů,

- spojitě sledování v konečné fázi letu.

K zabezpečení všech těchto funkcí již není možné s ohledem na kvalitu maskování a imitace cílů používat jednoduché metody a jednodušová zařízení, ale kombinované naváděcí soustavy s vysokým stupněm integrace prostředků, odlišných jak z hlediska principu, tak použitých metod průzkumu, detekce, identifikace, rozhodování i navedení. Proto i radiolokační naváděcí soustavy používají dva základní pracovní režimy — aktivní a pasivní. Jedině jejich vzájemným sklobením se může

dosáhnout věrohodných informací o zájmovém cíli a získat všechna potřebná data pro tvorbu povelového signálu pro navedení. Přitom je důležité mít na zřeteli fakt, že cíl musí být zjištěn a identifikován na relativně velké vzdálenosti, samotný let k němu trvá krátký časový okamžik, během něhož musí proběhnout celá řada náročných operací a rozhodovacích procesů. Po nich následuje přesné sledování a soustavné vyhodnocování odchylek a povelů ke korekcím letu. Ani cíl se obvykle nejeví jako kontrastní vzhledem k pozadí, ale bude převážně zamaskován např. větvičkami a sítěmi (což má nejen maskovací, ale i pohltivý účinek radiolokačních signálů), při přesunu bude značně pohyblivý a ve vyčkávacím postavení bude mít i vypnuté motory. V případě zjištění průzkumných prostředků protivník použije i prostředky REB, čímž značně ztíží činnost aktivních prostředků navedení.

Z těchto faktů vyplývá, jak složitý je proces zjištění techniky a jak náročné je zabezpečit velmi přesné a spolehlivé navedení pro jejich bezprostřední ničení. Tato složitost a náročnost se pak ještě násobí s požadavkem postihnout pouze obrněné cíle — tanky, obrněné transportéry a bojová vozidla pěchoty. S tím souvisí celá řada operačně taktických, technických i ekonomických problémů, které se v rámci nejúčinnějších vývojových programů v USA, Velké Británii, NSR a Francii intenzivně řeší. Hlavní úsilí vývoje je soustředěno na aplikace milimetrových vln v radiolokačních naváděcích soustavách a senzorech, které jsou součástí munice a řízených střel. Naváděcí soustavy dělíme na:

- aktivní radiolokační,
- pasivní radiolokační.

Z hlediska jejich použití, principů činnosti a druhů provozu v konkrétních podmínkách mají své specifické zvláštnosti, které dále popíšeme.

Aktivní radiolokační naváděcí soustavy

Z teorie šíření milimetrových vln a jejich charakteristických vlastností, jako jsou efektivní použití za nepříznivých povětrnostních podmínek, mimořádně přesnosti měření a rozlišovací schopnost i značné odolnosti proti rušení se přímo nabízejí možnosti jejich širokého použití pro účely, kde jsou kladeny velké nároky na tato kritéria. Pro oblast přesného navedení na specifické pozemní cíle to platí dvojnásob.

Nejrozsáhlejší vojenská aplikace milimetrových vln pro navedení je úzce spjata s vývojem přesných zbraní a zvláště pak průzkumných a palebných systémů CSWS

a PLSS. Pro účely ničení obrněných cílů a hlavně tanků protivníka z prostoru mimo účinný dosah prostředků PVO byly vyvinuty první aktivní radiolokační naváděcí soustavy pod názvem WASP, TGSM a SA-DARM. První zkoušky plně ověřily správnost koncepce aktivního radiolokačního navedení a potvrdily použitelnost těchto prostředků. Průběh vývoje součáskové základny v oblasti milimetrových vln postupně umožnil lehké, malorozměrové a přitom vysoce výkonné a spolehlivé radiolokační prostředky zabudovat do vnitřku munice a řízených střel. Technická úroveň a možnosti moderních polovodičových

prvků umožnila přejít ke kvalitativně novým principům činnosti a druhům provozu, které otevřely cesty k dalšímu zvyšování přesnosti, spolehlivosti a zejména pak rychlosti zpracování dat. Integrované jednoúčelové počítače pro řízení funkcí a vyhodnocení signálů dále zjednodušily konstrukci, zvýšily spolehlivost a umožnily provádět obrovské množství operací ve velmi krátkém čase v průběhu navedení.

Aktivní radiolokační naváděcí soustavy pracují ve dvou základních režimech — v monoimpulsním režimu a v režimu se stálou vlnou. V současné době se řeší otázky jejich vzájemné integrace. Monoimpulsní režim je vhodný pro měření vzdálenosti cílů a používá se při počátečním navedení. Jakmile je cíl detekován, počítač automaticky volí přechod na režim se stálou vlnou, který poskytuje větší přesnost měření a vyhodnocení pohyblivých cílů. K tomu využívá frekvenčně modulovaného signálu a rozprostředného spektra v pásmu milimetrových vlnových délek a pseudonáhodné změny kmitočtu. To podstatně snižuje možnosti jeho zjištění, zaměření a rušení. Dosah aktivních prostředků, které pracují na kmitočtech 35, 94, 140 a 230 GHz je sice v důsledku útlumu šíření rádiových vln prostředím značně omezen na pouhých několik kilometrů, avšak zároveň má pozitivní vlastnost — je totiž nezjistitelný průzkumnými prostředky protivníka.

Vysoká přesnost měření přináší i určité problémy, jako např. detekce cíle na malé

vzdálenosti se již nejeví pouze jako bod, ale jako shluk (skvrna) jasných bodů, které sestavují radiolokační obraz cíle, jeho kontury. Na jedné straně je to výhodné pro obrazovou identifikaci cíle, však na druhé straně se projevuje tzv. třpyťový efekt ve formě světlíkování, což značně zvyšuje úroveň šumu. Efekt je však již ve všech moderních naváděcích soustavách vyhodnocován počítačem, který bezprostředně volí změnu režimu i provozních parametrů a tím jej eliminuje.

Aktivní naváděcí soustava určená pro submunici je jednoduchá a tvoří ji jeden monolitní celek — válec o průměru asi 15 cm a délce 10 cm. Anténa je směřována k terénu a okamžitě po detekci cíle dochází k iniciaci bojové náplně, která proráží anténu a ničí cíl v místě největšího odrazu radiolokačního signálu na horní ploše. Výhodou tohoto řešení je poměrně jednoduchá konstrukce a tím i nízká cena, která je u jednoúčelových zařízení hned za přesností a spolehlivostí určujícím faktorem. Je vybavena též vysoce výkonným zdrojem elektrické energie pro použití po dobu několika sekund. Jelikož působí z malé výšky nad terénem, je její zjištění a rušení protivníkem prakticky vyloučeno.

Z těchto faktů vyplývá, že aktivní radiolokační naváděcí soustavy představují určité logické pokračování principů a metod klasické radiolokace, i když na podstatně vyšší úrovni v důsledku přechodu do milimetrového vlnového pásma a širšího uplatnění počítačů.

Pasivní radiolokační naváděcí soustavy

Z hlediska identifikace cíle a jeho velmi přesného sledování v době konečného navedení, tzn. v těsné blízkosti cíle, vyplývá objektivní nutnost doplnit možnosti aktivních radiolokačních naváděcích soustav tak, aby nebylo možné soustředit jejich pozornost a navádění na klamné cíle. K tomu slouží pasivní radiolokační naváděcí soustavy, které mimo základní funkci spektrální identifikace cílů plní i funkci druhořadou a neméně podstatnou, a to velmi přesné sledování na krátké vzdálenosti. Obvykle se pasivní radiolokační naváděcí soustavy slučují s aktivními a tvoří s nimi jeden monolitní celek. Někdy se dokonce hovoří i o tzv. radiometrickém režimu, který se používá obvykle v kombinaci s aktivním režimem se stálou vlnou (PR/FMCW — Passive Radiometric/Frequency Modulation Continuous Wave). Principem jeho činnosti je pasivní metoda měření charakteristického záření v oblasti

milimetrových vlnových délek (od 10 do 1 mm). Nevýhodou tohoto režimu je velmi malý dosah — stovky metrů, ale naopak značnou předností je široký rozsah měření a velmi vysoká přesnost zaměření cíle, menší než 1 m. Běžná vegetace jako tráva, keře, stromy atd. se jeví v porovnání s vyzařováním kovu jako širokopásmový šum. Uvnitř spektra se pak kontrastně vyjímá oblast vlnové délky, která přísluší cíli — tanku.

Podle spektrálního snímku lze nejen velmi přesně vyhodnotit druh cíle (automobil, dělo, tank, BVP), ale i skutečně hořící cíl od imitovaného hoření těsně vedle cíle. To umožňuje vysoká směrovost, rozlišovací schopnost a citlivost pasivních radiolokačních prostředků navedení. Počítač vyhodnocuje velmi rychle zjištění klamného cíle a okamžitě ruší navádění a volí přechod na další cíl. Použití pasivního režimu je výhodné zejména pro detekci zamasko-

vaných cílů různými druhy maskovacích sítí, popřípadě i speciálními prostředky či náterů pro pohlcování radiolokačních signálů. V tomto případě se zamaskovaný cíl jeví naprosto stejně, jako kdyby zamaskován nebyl.

Z toho vyplývá, že pasivní radiolokační naváděcí soustavy jsou vysoce efektivní pro zjišťování skrytých cílů i k zabezpe-

čení velice přesného zaměření a identifikaci obrněných cílů. Proto jsou vhodným prostředkem k doplnění předností aktivních způsobů navedení a podílejí se tak na zvýšení kvality naváděcího procesu. Lze tedy předpokládat jejich další zkvalitňování v rámci integrovaných aktivních a pasivních radiolokačních prostředků navedení.

Činnost aktivních a pasivních radiolokačních naváděcích soustav při navedení na pozemní cíle

Bezpečné a velmi rychlé zjištění obrněných cílů ve složitých podmínkách válčistiště klade obrovské nároky jak na elektronické vybavení, tak na samotný proces ve všech fázích přiblížení k cíli. Technická stránka problému již byla popsána, proto se nyní zaměřím na činnost této speciální elektroniky v průběhu letu k cíli.

Schéma činnosti submunice s radiolokační naváděcí soustavou je uvedeno na **obr. 3**. Ve fázi stabilizace se nasměruje senzor do prostoru cílů a vyhozením padáku se vytvoří podmínky pro spirálové vyhledávání cílů. Při detekci cíle elektronický zapalovač okamžitě vyvolá odpálení bojové náplně ve směru cíle. Předností tohoto procesu a způsobu vyhledávání cílů je jednoduchost a vysoká spolehlivost.

Navedení řízených střel s radiolokační soustavou je obvykle podstatně složitější a je tvořeno jednotlivými fázemi, uvedenými na **obr. 4**. V přípravné fázi se nasměruje svazek k terénu a elektronika se uvede do činnosti. V další fázi vyhledávání se provádí snímání kýváním radiolokační antény v horizontální rovině, čímž je ozařován pás terénu o šířce až stovek metrů. Po detekci cíle se automaticky přeruší režim vyhledávání, ozařuje se pouze jeden cíl a počítač provádí jeho identifikaci porovnáváním radiolokačního obrazu s obrazem v paměti počítače. Jestliže iden-

tifikuje cíl jako cizí, přechází na režim sledování, přičemž používá kombinace aktivního a pasivního (radiometrického) režimu. Cíl pak nepřetržitě sleduje se vzrůstající úhlovou přesností až do okamžiku jeho zásahu. V případě, že zjistí podle spektra v pasivním režimu, že cíl hoří, nebo jde o klamný cíl, počítač okamžitě ruší proces sledování a přechází na počáteční režim vyhledávání dalšího cíle. Stejně je tomu i v případě, kdy počítač vyhodnotí, že střela již není schopna svými letovými manévry na cíl reagovat. Z toho vyplývá, že hlavní těžiště úspěšného zabezpečení naváděcího manévru spočívá zejména na kapacitních možnostech jednoúčelového počítače, který v průběhu navedení provádí stovky nejrozumnějších početních a rozhodovacích operací, přičemž využívá hlavně selektoru a údajů letových hodnot střely. Současné systémy již dokáží uchovávat v paměti počítače velké množství obrazů obrněné techniky v různých pohledech a provádět rychlé porovnávání s reálným radiolokačním obrazem, nebo imitovat natáčení obrazu do bočního pohledu.

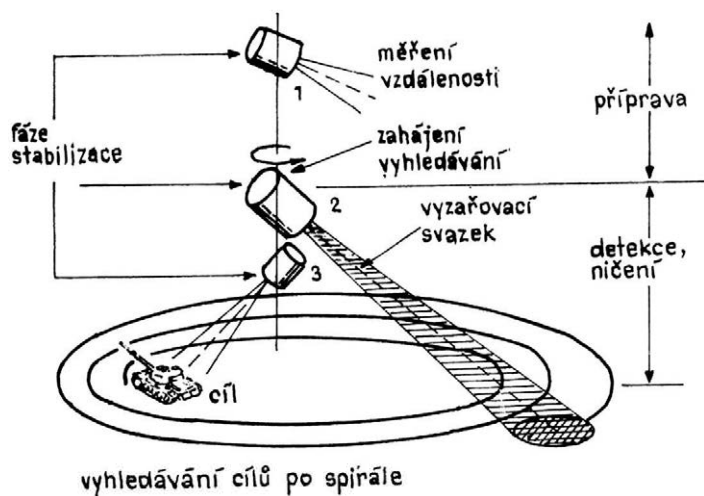
Cílem vývoje je maximálně integrovat jednotlivé druhy naváděcích soustav a metody navedení tak, aby bylo dosaženo maximální spolehlivosti zjištění, identifikace a navedení a z toho vyplývající i vyšší pravděpodobnosti ničení pozemních cílů.

Zhodnocení efektivnosti radiolokačních soustav v procesu přesného navedení:

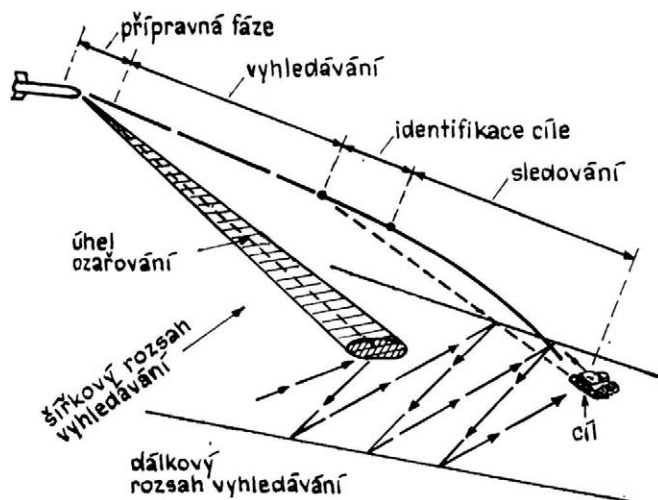
První zkušenosti z použití radiolokačních naváděcích soustav pracujících v milimetrovém vlnovém pásmu potvrzují předpokládané přednosti, přesnost a spolehlivost. V porovnání s infračervenými a laserovými soustavami jsou efektivnější při použití ve složitějších podmínkách válčistiště, na podstatně větší ploše, zejména v mlze, kouři a prachu. Jejich rušení aktivními nebo pasivními radiolokačními rušiči bude v důsledku přirozeného útlumu šíření mi-

limetrových vln prostředím a malého dosahu značně ztíženo nebo dokonce znemožněno.

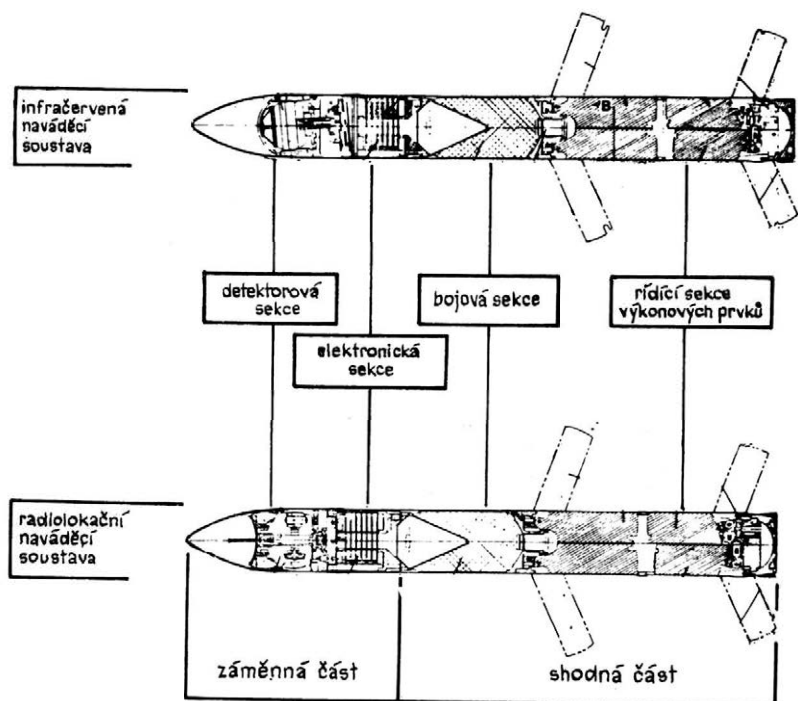
Je snaha o dosažení maximální univerzálnosti a provádění operativních obměn detektorové sekce, jak je vidět na **obr. 5**. Bojová sekce a řídicí sekce výkonových prvků řízené střely zůstává shodná a záměnná je pouze detektorová a elektronická sekce. Tím se značně zvyšuje univerzálnost použití v různých podmínkách.



Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5

Perspektiva rozvoje aktivních a pasivních radiolokačních prostředků pro navedení na konečné dráze letu

S největší pravděpodobností lze předpokládat, že dosavadní principy a metody navedení na pozemní cíle budou v dalších letech dále zdokonalovány. Hlavní úsilí se bude soustřeďovat na realizaci vícenásobných pracovních kmitočtů a jejich náhodnou změnu v krátkých časových intervalech, na skokové a nepravidelné změny polarizace a zejména na vyšší kvalitu a rychlost zpracování signálů. V konstrukci moderních naváděcích soustav této kategorie se budou stále více uplatňovat plošné fázové antény, schopné formovat několikanásobně extrémně úzké svazky, které se budou vychylovat elektronicky a jejich šířka bude tvarována počítačem. To umožní úplně odstranit mechanický pohyb gyroskopů, nutný pro stabilizaci soudobých

naváděcích soustav, což se projeví zvýšením rychlosti vyhledávání, jeho rozsahu, přesnosti a samozřejmě i snížením hmotnosti a objemu. Proto perspektivní naváděcí soustavy budou moci být instalovány do menších prostředků ničení a jejich vnitřní prostor bude moci být využit k jiným účelům. Přechod na vyšší kmitočty, 140 až 230 GHz, umožní další miniaturizaci antén při zachování dosavadní přesnosti.

I přes to, že dojde k dalšímu zjednodušení a tím i ke snížení ceny této speciální techniky, budou zkoumány možnosti opakovaného použití elektronické části, tzn. senzorů a naváděcích soustav.

Současně se značnými přednostmi mo-

derních radiolokačních infračervených a laserových naváděcích soustav je třeba si uvědomit jejich úzkou návaznost na velice přesné průzkumné, resp. průzkumné a palebné systémy. Bez přesnosti vymezení prostoru rozmístění bojové techniky nelze ho-

vořit ani o přesnosti navedení prostředků tohoto druhu, které mají omezený dosah a možnosti vyhledávání cílů. Proto konečný výsledek je nutné chápat jedině z hlediska efektivního skloubení vysoce přesného průzkumu i navedení.