Podplukovník děl. ing. Karel Mahr:

Zvukoměřictví ve válce pohybné.

V pohybné válce nevyhovují technické prostředky, které k svému uplatnění potřebují dlouho trvající přípravy. Rychle se měnící situace vyžaduje zpravodajských prostředků pružných a snadno ovladatelných. Zpráva včas dodaná, byť i byla méně přesná, má větší cenu než zpráva technicky sice dokonalá, ale přicházející pozdě.

Boj proti nepřátelskému dělostřelectvu je však v boji pohybném stejně důležitý jako za stabilisace. Tato bojová činnost je vázána určitými technickými podmínkami, ty však právě za pohybu lze těžko splnit.

Kdo jen poněkud vnikl do tohoto souboru technických otázek, musí přiznati, že zvukoměřictví je pro činnost proti dělostřelectvu stále prostředkem nejvýkonnějším a proto i v pohybném boji těžko postradatelným.

Zvukoměřictví se vyvinulo na základě zkušeností převážně zákopové světové války. Je proto stále ještě prostředkem dosti těžkopádným.

V poslední době se však začínají hledati cesty, které by odstranily důvody nezpůsobilosti zvukoměřictví pro rychlý pohyb v boji.

První důvod tkví v nutnosti přesně zaměřiti naslouchatelny; předpokládá proto hustou trigonometrickou síť, zaměření ve dne a dobrou viditelnost.

Druhým důvodem je rozsáhlá síť drátového spojení a udržování sítě na bojišti.

Druhý důvod se dá odstraniti poměrně lehko bezdrátovým přenosem zvukových rozruchů od naslouchatelny k ústředně. První důvod činí obtíže mnohem větší.

Hustá triangulační síť nebude vždy k disposici. Nebude ani plánů většího měřítka pro daný účel vyhovujících. Zbývá tedy jenom speciální mapa 1 : 75.000. V noci, za mlhy a podobně, se však nedá použít ani této pomůcky.

Ruský inženýr N. Sinkov podává v své knize „Zvuková hlídka dělostřelectva v boji — Moskva 1931" několik zajímavých návrhů na použití zvukoměrné baterie v pohybném boji.

Způsob se zakládá na zvukoměrném měření vzdáleností, k čemuž slouží petardy (značkovací náboje). Výhody způsobu jsou:

1. rychlé zaměření systému za všech okolností, vyjma silný vítr,
2. rychlé sestrojení plánu,
3. jednoduché dodávání výsledků střílejícímu oddílu.

Nevýhody způsobu jsou:

1. menší přesnost měření,
2. výsledky mají ráz relativní, nevztahují se na nějakou všeobecně užívanou síť.

Rusové pracují s jednotlivými základnami jako s disposiční jednotkou a nekladou takovou váhu na jejich vzájemnou polohu jako my. Zvukoměrné baterii přidělují alespoň jeden oddíl všeobecné činnosti (skupiny proti bateriím), který již při zaměřování systému spolu působí.

Stanice se zaměřují zvukem takto:

1. nejdříve určíme délku jednotlivých základen způsobem obvyklým v obou směrech, abychom vyloučili vliv větru (obr. 1).

Všechny naslouchatelny jsou již zapojeny do ústředny. Na každé základně levé naslouchatelny přemístí mikrofon o určitou délku, kterou změříme pásmem. Podle síly výbuchu petardy může býti $l = 50$, 100 m nebo i více.

Na filmu určíme v ústředně časový rozdíl t'_0:

$$t'_0 = \frac{z'}{V_t} - \frac{l'}{V_t} \qquad z' = t'_0 \cdot V_t + l' \quad \ldots \ldots \ldots \quad 1.$$

Nyní opakujeme postup a přemístíme mikrofony na stanicích B. Dostaneme pro základny poněkud odchylnou hodnotu z″

$$z'' = t''_0 \cdot V_t + l''.$$

Vezmeme-li střed z obou hodnot, vyloučíme vliv větru na měření a máme:

$$z = \frac{z' + z''}{2} = \frac{t'_0 + t''_0}{2} \cdot V_t + \frac{l' + l''}{2} \quad \ldots \ldots \quad 2.$$

Potřebujeme znát aktuální rychlost zvuku V_t, t. j. rychlost při dané teplotě a vlhkosti vzduchu. Vliv barometrického tlaku lze zanedbati, aniž se dopustíme citelné chyby.

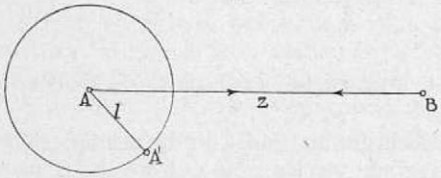
$$V_t = V_0 \left[1 + \frac{1}{2 \times 273} (\underbrace{t + 0{\cdot}134\ e}_{t'}) \right] \qquad V_0 = 331{\cdot}5 \text{ m/sec.}$$

(Viz poznámku 1.)

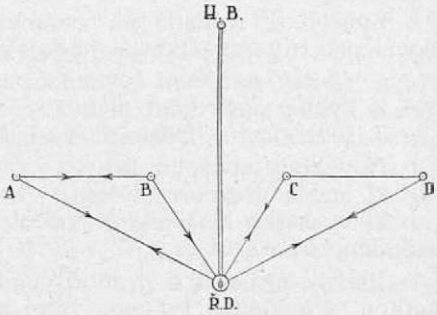
K výpočtu rychlosti zvuku používáme tabulek. Pro praktickou potřebu netřeba znáti základny v metrech, nýbrž v míře časové, t. j. čas, který by potřeboval zvuk normální rychlosti na proběhnutí základny:

$$t_0 = \frac{z}{V_0} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 3.$$

Po zaměření délek základen zaměříme do systému i řídicí dělo přiděleného oddílu a hlavní bod (hlavní body). Řídicí dělo provede zastřílení do hlavního směru a tím jest dána příležitost zaměřiti vzdálenosti „řídicí dělo — základny". Jediné je třeba umístit blízko děla mikrofon a položiti linku do ústředny. Ta může později sloužiti k spojení s oddílem.



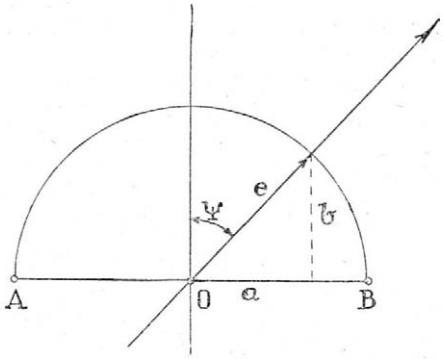
Obr. 1.



Obr. 2.

Měříme tedy vzdálenosti A — Ř. D., B — Ř. D. atd. stejným způsobem jako základny. Protože snadno zjistíme i časové rozdíly pro Ř. D. a H. B., dostaneme i směr k Ř. D. a H. B. od středu každé základny (obr. 2).

Vycházíme od asymptoty (obr 3).



Obr. 3.

Rovnice hyperboly (středová) zní:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \qquad y = \frac{b}{a}\sqrt{x^2 - a^2},$$ pak je směr tangenty:

$$\frac{2xdx}{a^2} - \frac{2ydy}{b^2} = 0 \qquad \frac{dy}{dx} = \frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{x}{y} = \frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{x}{\frac{b}{a}\sqrt{x^2 - a^2}} = \frac{b}{a} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{a}{x}\right)^2}}$$

pro $x = \infty$ (asymptota) máme:

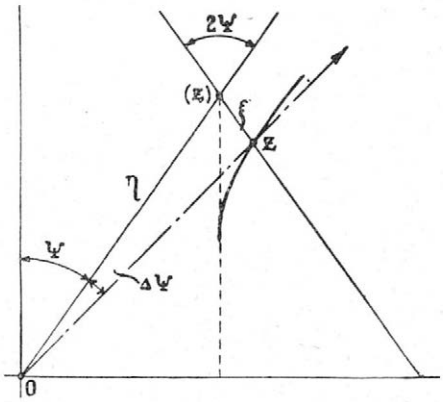
$$\left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{b}{a} = \frac{\sqrt{e^2 - d^2}}{a}$$

označíme $2\,e = t_0$ a $2\,a = t$ (časový rozdíl) máme:

$$\sin \psi = \frac{t}{t_0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad .4.$$

(Viz poznámka 2.)

Je-li zvukový zdroj od základny dosti daleko, nahrazuje nám asymptota více méně přesně hyperbolu samu. Můžeme proto průsečík asymptot pokládati za přibližné místo zvukového zdroje. Přesné místo lze zjistiti takto (obr. 4):



Obr. 4.

Béřeme-li asymptoty jako šikmoúhlý souřadnicový kříž, platí pro hyperbolu rovnice:

$$\xi \cdot \eta = \left(\frac{e}{2}\right)^2 \quad , \quad \xi = \frac{1}{\eta}\left(\frac{e}{2}\right)^2$$

(Viz poznámka 3.)

Sinová věta dává v trojúhelníku 0 (z) z:

$$\frac{\xi}{\sin \Delta \psi} = \frac{\eta}{\sin (2\psi + \Delta \psi)}$$

$$\sin \Delta \psi = \frac{\xi}{\eta} \cdot \sin (2\psi + \Delta \psi) = \frac{1}{\eta^2}\left(\frac{e}{2}\right)^2 \cdot [\sin 2\psi \cdot \cos \Delta \psi + \cos 2\psi \cdot \sin \Delta \psi].$$

Poněvadž jde o velmi malý úhel, je přibližně:

$$\cos \Delta \psi \doteq 1, \quad \sin \Delta \psi \doteq 0 \quad \text{a máme:}$$

$$\sin \Delta \psi = \frac{1}{2^2} \cdot \left(\frac{e}{\eta}\right)^2 \cdot \sin 2\psi.$$

Označíme $z = 2\,e$, $D = \eta$ dostaneme v dílcích:

$$\Delta \psi^{dc} \doteq \frac{1}{16}\left(\frac{z}{D}\right)^2 \cdot \sin 2\psi \cdot \varrho^{dc} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5.$$

$$\varrho^{dc} \doteq 1.000.$$

Je však výhodnější vyjádřiti opravu úhlu ψ podle vzorce 5 v časových jednotkách. Z vzorce 4 plyne:

$$t = t_0 \cdot \sin \psi,$$

$$t + \Delta t = t_0 \cdot \sin (\psi + \Delta \psi),$$

$$\Delta t = t_0 \, [\sin (\psi + \Delta \psi) - \sin \psi].$$

Rozvineme $\sin (\psi + \Delta \psi)$ podle Taylora a zůstaneme u 1. členu:

$\Delta t = t_0 \, \Delta \psi \cdot \cos \psi$, pro $\Delta \psi$ zasadíme vzorec 5.

$$\left.\begin{aligned} \Delta t &= t_0 \cos \psi \cdot \frac{1}{16}\left(\frac{z}{D}\right)^2 \cdot \sin 2\psi \\ z &= t_0 \cdot V_0 \\ \sin 2\psi &= 2 \sin \psi \cdot \cos \psi \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} \Delta t &= \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{V_0}{D}\right)^2 \cdot t_0^3 \sin \psi \cdot \cos^2 \psi \\ \cos^2 \psi &= \frac{t_0^2 - t^2}{t_0^2} \end{aligned}\right\} \text{ a máme:}$$

$$\Delta t = \frac{1}{8}\left(\frac{V_0}{D}\right)^2 \cdot t \cdot (t_0^2 - t^2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6.$$

(Viz poznámka 4.)

Tuto opravu nepočítáme nýbrž určíme graficky.

P o z n á m k a. Je-li cíl (Ř. D.) velmi blízko základny, nelze se spokojiti 1. členem řady Taylorovy. Vezmeme-li v úvahu i 2. člen, zní vzorec:

$$\Delta t = \frac{1}{8}\left(\frac{V_0}{D}\right)^2 t\,(t_0^2 - t^2) - \frac{1}{128}\left(\frac{V_0}{D}\right)^4 t^3\,(t_0^2 - t^2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6a.$$

Chceme-li nyní k základně A B konstruovati polohu Ř. D., postupujeme takto (obr. 5):

Nakreslíme základnu A B v měřítku plánu a symetrálu k ní S S. Dálky A D a B D dostaneme ze zvukového zaměření děla. Průsečík oblouků nám dává místo D a dálku O D. Nyní kreslíme nad základnou kruh K_0 s poloměrem $\frac{t_0}{2}$ v libovolném měřítku. Časový rozdíl pro řídicí dělo t (opravený již o meteorologické vlivy) opravíme podle vzorce 6 o Δt a sestrojíme nyní úhel $\psi + \Delta \psi$ podle výkresu. Dostaneme přesně směr k dělu.

Vzdálenost Ř. D. — H. B. nelze zjistit přímo. Nemůžeme u nepřítele umístit mikrofon. Můžeme však:

1. určit dálku tuto z mapy (topografická dálka),

2. není-li to možné nebo není-li vidět (mlha, déšť atd.), bereme dálku zaměřovače udanou baterií nebo, lépe, dálku balistickou.

Směr k H. B. určíme jako při určení polohy Ř. D. Dálku Ř. D. — H. B. označíme jako „Hlavní základnu", hlavní bod nazýváme „Zvukovým reperem".

Pro každou základnu můžeme tedy sestrojit trojúhelník, střed základny — O řídící dělo — Ř, reper — R. Trojúhelníky mají společnou stranu Ř — R. Dostaneme tak na základě zvukového měření úplný systém.

Zvukoměrný plán bude tedy obsahovat to, co je naznačeno na obr. 6. Naslouchatelny samé netřeba zakreslit.

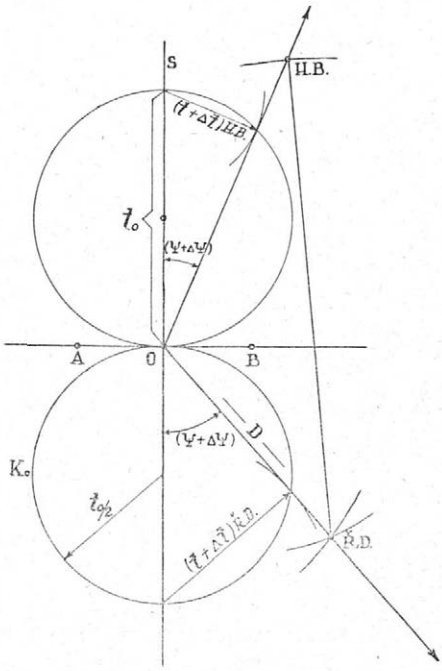
Základny volíme jako obyčejně v délce 1—2 km. Bude tedy $t_0 = 300$ až 600 terc. Kreslíme proto kruhy K v měřítku 2 terc. = 1 mm.

Nepřátelské baterie zjistíme pak takto:

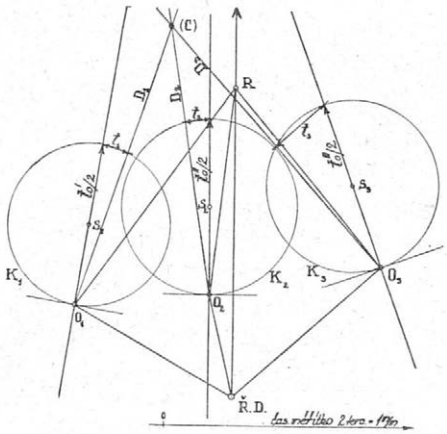
1. časové rozdíly nad každou základnou opravíme o meteorologické vlivy normálním způsobem pomocí nomogramů,

2. zjistíme baterii asymptotálně a změříme dálky D_1, D_2, D_3,

3. opravíme časové rozdíly t o Δ t podle vzorce 6 a dostaneme skutečnou polohu zvukového zdroje.



Obr. 5.



Obr. 6. Systém o 3 základ. (6 naslouch.).

Vlastním bateriím udáváme nyní cíle relativně k reperu R v polární soustavě, jak ukazuje (obr. 6, 7).

Máme-li stříleti s jinou baterií, než původně umluveno, zastřílí se baterie buď na tentýž reper nebo na jiný. Zaměříme pak jak vlastní baterii, tak reper a udáváme cíle jako dříve.

Vlastní baterie neutralisují pak cíle palbou na pásmo nebo s pozorováním zvukoměrné baterie. Pro tento poslední způsob třeba si upravit ještě graf poněkud jinak, než jsme činili dosud.

Z rovnice 4 jest:

$$\sin \psi = \frac{t}{t_0}$$

$$l \sin \psi = l\,t - l\,t_0 \qquad \text{derivujeme:}$$

$$\frac{\cos \psi \,.\, d\psi}{\sin \psi} = \frac{dt}{t}$$

$$d\psi = \operatorname{tg} \psi \,.\, \frac{dt}{t}\,, \text{ a protože jest } t = t_0 \sin \psi,$$

$$\Delta \psi = \varrho^{dc} \frac{\Delta t}{\cos \psi \,.\, t_0}$$

Počítejme, že kreslíme graf v měřítku 1 : 5.000, že hledáme kolmé posuny Δ pro interval 5 tercií, tak jest:

$$\Delta_5 = \left(\frac{D^m}{t_0'' \cos \psi}\right) \text{ mm} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 7.$$

(Viz poznámku 5.)

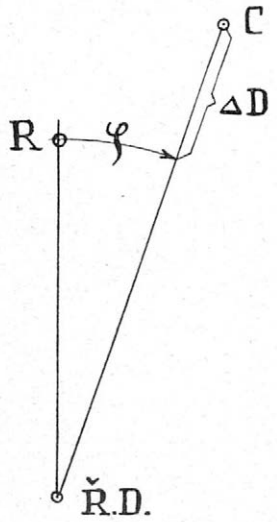
Pro tento vzorec sestrojíme vhodný nomogram:

Na příklad jest (obr. 8):

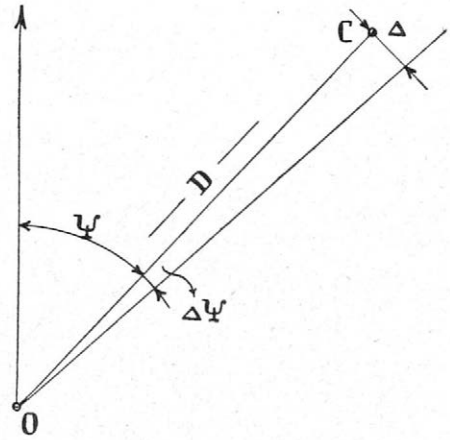
$$\psi = 800 \text{ dc}, \; t_0 = 350 \text{ terc.}, \; D = 9000 \text{ m.}$$

$$\Delta_5 = \frac{9000 \,.\, 1{\cdot}41}{350} \doteq 36{\cdot}3 \text{ mm.}$$

Udávání cílů (viz obr. 7).
Na příklad; Nepř. bat. od reperu (hl. bodu I) vpravo 220 dc 2550 dále.



Obr. 7.



Obr. 8.

V blízkosti cíle možno pokládati paprsky za rovnoběžné.

Postup při sestrojení grafu jest (obr. 9):

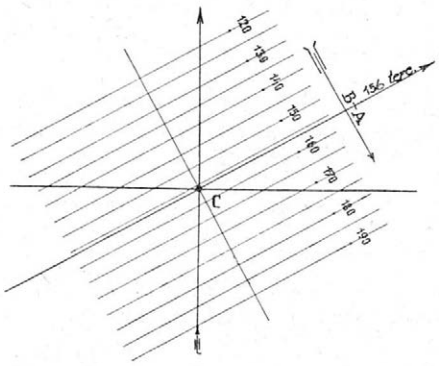
1. na průsvitce kreslíme paprsky C-O,
2. položíme skrze C kolmici na paprsek a naneseme v nutném počtu interval 5 terc. (Δ) vycházejíce od normálního časového rozdílu pro cíl,
3. táhneme rovnoběžky k paprsku C O a náležitě je očíslujeme,
4. do grafu nakreslíme výstřelnou a kolmici k ní.

Zvukoměrná baterie nebude míti vždy dosti času, aby pozorovala střelbu baterií, s nimiž má spolu pracovati. Bude hlavně zaměstnána vyhledáváním nepřátelských baterií a studiem jich.

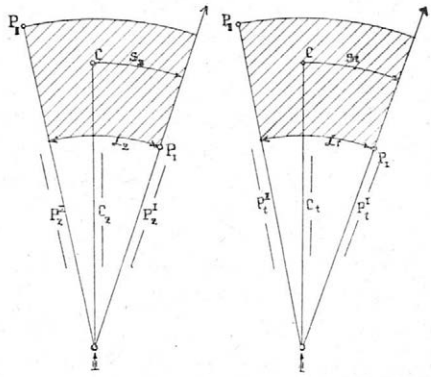
Musíme proto vyšetřit způsoby, které by umožnily vlastním bateriím neutralisovati nepřátelské dělostřelectvo i tehdy, jsou-li odkázány samy na sebe.

Zvukoměrná baterie je s to udati prvky pro přenos z reperů na cíl velmi přesně. Předpoklad je ovšem, že baterie má alespoň dva repery v svém pásmu působnosti. Poněvadž je interpolace vždy přesnější než extrapolace, je výhodné, vyvoliti repery (hlavní body) vzhledem k pásmu působnosti tak, jak ukazuje obraz 10.

Baterie: Vyhodnocovací plán:



Obr. 9.



Obr. 10.

Řídicí dělo baterie se zastřílelo na repery P_I a P_{II} na okrajích pásma působnosti. Zvukoměrná baterie vyhodnotila repery na vyhodnocovacím plánu.

Známe tedy dálky zastřílené P_z^I a P_z^{II}, jakož i dálky vyhodnocené, které označíme P_t^I a P_t^{II}.

Zvukoměrná baterie zaměřila nyní nepřátelskou baterii C a má udati prvky pro střelbu.

Projednáme nejdříve dálku.

Je možný přenos z obou reperů, tedy jest:

$$\frac{C_z'}{C_t} = \frac{P_z^I}{P_t^I} \qquad \text{nebo:} \qquad \frac{C_z''}{C_t} = \frac{P_z^{II}}{P_t^{II}}$$

$$C_z' = C_t \frac{P_z^I}{P_t^I} \qquad \text{,,} \qquad C_z'' = C_t \frac{P_z^{II}}{P_t^{II}}$$

Dostaneme tedy obecně pro dálku zastřílenou cíle C dvě poněkud se rozcházející hodnoty, které jsou však stejně oprávněny. Pravděpodobnou hodnotu dostaneme tedy vystředěním:

$$C_z = \frac{C_z' + C_z''}{2} = \frac{C_t}{2}\left[\frac{P_z^I}{P_t^I} + \frac{P_z^{II}}{P_t^{II}}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 8.$$

Odměr dostaneme jednoduše z rovnice:

$$S_z = S_t \frac{a_z}{a_t} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 9.$$

S těmito prvky provedeme střelbu na pásmo podle D-VII-1, čl. 361, III, a (t. j. $\pm 5^{dc}$, 1—2% dostřelu).

Udáváme tedy bateriím cíle v soustavě polární, jejíž pól je dán řídicím dělem a nulový směr spojnicí mezi řídicím dělem a jedním reperem.

Úvahy o přesnosti postupu.

Měření délek stran zvukem je dosti přesné. Vzorec 2 můžeme psáti:

$$z = t_0 \,.\, V_t + l$$

a jest:

$$d_z = V_t \,.\, dt_0,$$

když předpokládáme, že rychlost zvuku známe přesně a že délky l jsme změřili velmi pečlivě. Vliv větru na měření jsme vyloučili tím, že jsme změřili základnu v obou směrech. Zbývá zjistit rychlost při dané teplotě a vlhkosti, což při malé délce základny jest úkolem dosti přesně splnitelným.

Ze vzorce vidíme, že přesnost měření je teoreticky nezávislá na délce strany, což je výhodou měření.

Praxe ukázala, že chyba v měření času málokdy překračuje mez 0·02 sec. Máme tedy při teplotě + 15° C na příklad:

$$\Delta z = (331{\cdot}5 + 0{\cdot}6 \,.\, 15) \,.\, \pm 0{\cdot}02 \doteq \pm 6{\cdot}8 \text{ m}.$$

Praktické pokusy daly průměrnou chybu asi ± 5 m. Tedy řadově potvrdily teorii.

Zajímá nás, jaký vliv má chyba v měření t_0 na vyhodnocení.

Ze vzorce 4 máme:

$$\sin \psi = \frac{t}{t_0}, \quad l \sin \psi = l\,t - l\,t_0,$$

derivujeme:

$$\frac{\cos \psi \,.\, d\psi}{\sin \psi} = -\frac{d\,t_0}{t_0}$$

$$\Delta \psi^{dc} = \pm \operatorname{tg} \psi \, \frac{\Delta t_0}{t_0} \,.\, 1000 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10.$$

(Viz poznámku 6.)

Předpokládejme případ nejnepříznivější, v praxi ještě možný:

$$\psi = 45^0, \quad \Delta t_0 = \pm 0{\cdot}02^{sec}, \quad t_0 \doteq 3{\cdot}00^{sec} \ (1 \text{ km}),$$

máme:

$$\Delta \psi^{dc} = \pm 1000 \,.\, 1 \,.\, \frac{0{\cdot}02}{3{\cdot}00} \doteq \pm 6^{dc}.$$

$$\text{Pro } t_0 = 6{\cdot}00^{sec} \ (2 \text{ km}) \text{ jest } \Delta \psi^{dc} \doteq \pm 3^{dc}.$$

Z toho plyne, že základny kratší než 1 km jsou již velmi nepříznivé.

Další nevyhnutelnou chybu činíme při konstrukci trojúhelníku, řídicí dělo, reper, střed základny. Předpokládejme, že máme speciální mapu, že není čas na nějaká měření a že zakreslujeme do speciální mapy řídicí dělo a reper prostým porovnáním. Odhaduji v tomto případě chybu ve straně řídicí dělo — reper na ± 100 m (obr. 11).

$$d\gamma = \frac{da}{a} \,.\, \operatorname{tg} \beta,$$

$$\Delta \gamma = \varrho \, \frac{\Delta a}{a} \,.\, \operatorname{tg} \beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 11.$$

Představme si možný, poněkud idealisovaný systém podle obrazu 12. Pak je vliv chybné dálky Ř. D-R na směr γ pro střední základnu rovný nule, pro základny bočné se středy O_1 a O_3:

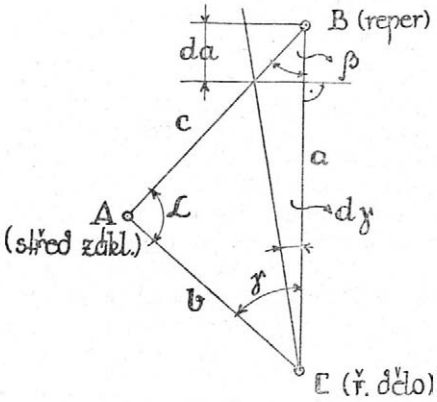
$$\Delta \gamma^{dc}_{1,2} \doteq 1000 \,.\, \frac{\pm 100}{10.000} \,.\, 0{\cdot}5 \doteq \pm 5^{dc}.$$

Vzorec 10 a 11 nás poučují, jak založit při zvukovém zaměření celý systém, obzvláště se zřetelem na polohu Ř. D.

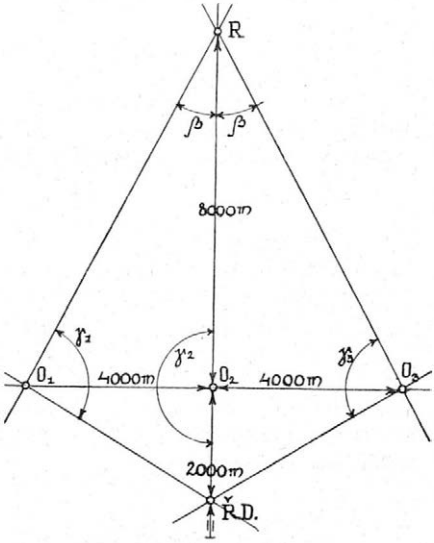
Je-li ve vzorci 10 ψ blízko 90°, nelze řídicí dělo vůbec zaměřit. Tg 90° jest ∞.

Chyba ve směru podle vzorce 11 roste s úhlem β a ubývá s dálkou (Ř. D.-R.).

Z toho máme poučení, že základny třeba položiti přibližně v přímce rovnoběžně s frontou, že systém nesmí býti příliš široký a že Ř. D. musí ležeti v náležité vzdálenosti za systémem a co možná za jeho středem.



Obr. 11.



Obr. 12.

Kde by se tato poslední, nepříjemná podmínka splniti nedala, nutno zaměřiti za systémem vhodný bod petardami a určiti pak teprve dělo, jako určíme nepřátelskou baterii. (Viz poznámku 7.)

Závěr.

Z našich úvah vyplývá:

1. Zaměření systému zvukem jest ještě tak přesné, že můžeme prováděti neutralisaci nepřátelských baterií, a to buď přenosem anebo s pozorováním zvukoměrnou baterií.

2. Při pečlivé volbě systému a přesném provedení všech prací, zůstanou chyby v mezích udaných předp. D-VII-1, čl. 361, III, a) a stačí říditi účinnou střelbu na pásmo tam uvedené.

3. Zaměření systému zvukem jest oprávněno tam, kde třeba pracovati rychle a za všech okolností.

4. Zvukové měření nahradíme, dovolí-li to taktická situace, co nejdříve měřením geodetickým.

5. K palbě účinné používáme zásadně plynového střeliva.

Poznámky.

1. V podstatě nezáleží na tom, kterou rychlost zvuku pokládáme za normální.

U nás je to rychlost zvuku při $+ 3^0$ C a vlhkosti relativní 0%, ovšem při bezvětří. Pro rychlost zvuku byly odvozeny různé vzorce prakticky málo se lišící.

U nás používáme vzorce francouzského původu:

$$V_t = V_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}, \quad v_0 = 331{\cdot}5 \text{ m/sec.}$$

Rozvedeme-li vzorec podle binomické řady, dostaneme při zanedbání vyšších mocnin:

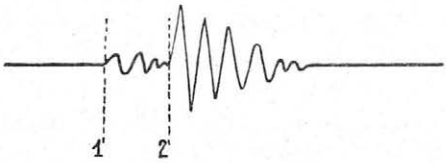
$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{2.273}\right) = 331{\cdot}5 \pm 0{\cdot}6 \text{ t.}$$

Tento vzorec odvodil první Laplace za toho předpokladu, že se longitudinální vlnění ve vzduchu děje adiabaticky, což při velkém počtu kmitů je předpoklad velmi pravděpodobný. Experimentálně bylo určeno pro $t = 0^0$ C.

$$v_0 = 331{\cdot}8 \text{ m/sec.}$$

Manometrické mikrofony, kterých se užívá ve zvukoměřictví, zachycují hlavně infračást hlavňové vlny s trváním periody od 0·05—0·25 sec. Tedy neslyšitelné tóny s počtem period 4—20 za sekundu.

Při tak malém počtu kmitů nelze již předpokládati, že se změny tepelné dějí přesně adiabaticky. Skutečně zjistil francouzský fysik Esclagon, že rychlost infrazvuků jest asi o 0·5 m/sec. nižší než u tónů slyšitelných. Tento zjev potvrdila i praxe u nás. Nejdříve zaznamenává mikrofon slabě vyšší tóny a pak teprve infratóny. Často však nezaznamenává vyšší tóny vůbec.



Obr. 13.

Praxe též ukázala, že je třeba bráti za počátek bod 2, aby se dosáhlo nejlepšího vyhodnocení (obr. 13).

Dostali bychom sice správné vyhodnocení i tehdy, kdybychom u všech stanic brali počátky 1, nejsou však u všech stanic jasné nebo chybějí vůbec. Počátky 2 jsou vždy zřetelnější pro větší amplitudu kmitu.

Hodnota $V_0 = 331{\cdot}5$ m/sec. nebere v úvahu pozorování Esclagonovo úplně, byla však přijata proto, že pro $t = + 3^0$ C dává $V_3 = 331{\cdot}5 + 0{\cdot}6 \,.\, 3 = 333{\cdot}3$ m/sec. Tedy proběhne zvuk 1 km přesně za 300 tercií. Tento fakt má výhody při konstrukci zvukoměrných měřítek.

Vliv vlhkosti na rychlost zvuku je dána vzorcem:

$$V_t' = \frac{V_t}{\sqrt{1 - \frac{3}{8} \cdot \frac{e}{b}}},$$

kde e jest napětí vodních par a b barometrický tlak, oboje v mm Hg.

Spojíme-li oba vzorce pro opravu rychlosti následkem změny teploty a vlhkosti, dostaneme při normálním tlaku barometrickém 760 mm Hg.

$$V_t = V_0 \left[1 + \frac{1}{2.275} (t + 0{\cdot}134 \,.\, e) \right],$$

označíme-li:

$$t' = t + 0{\cdot}134 \,.\, e,$$

máme:

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{t'}{2.273} \right) = 331{\cdot}5 + 0{\cdot}6 \; t'.$$

Hodnoty napětí vodních par v mm Hg obsahuje na př. tabulka připojená k log. tab. dr. Valoucha str. 162 pro 100% rel. vlhkost (páry nasycené).

Vliv barometrického tlaku na rychlost je malý a dá se zanedbati.

Pro praktickou zvukoměrnou potřebu měříme tedy jen teplotu a relativní vlhkost a určíme rychlost zvuku z tabulek.

1. tabulka obsahuje hodnoty t′ podle vzorce $t' = t + 0{\cdot}134\, e$, kde však místo písmenem e označíme příslušnou rubriku relativní vlhkostí.

Hygrometrická oprava

$t' = t + 0{\cdot}134 \times e \times f.$

e = napětí vodních par f = relativní vlhkost

t	Relativní vlhkost v %				t	Relativní vlhkost v %			
	0·20	0·40	0·60	0·80		0·20	0·40	0·60	0·80
	t′					t′			
0°	0·1	0·2	0·4	0·5	21°	21·5	22·0	22·5	23·0
1°	1·1	1·3	1·4	1·5	22°	22·5	23·1	23·6	24·1
2°	2·1	2·3	2·4	2·6	23°	23·6	24·1	24·7	25·3
3°	3·2	3·3	3·5	3·6	24°	24·6	25·2	25·8	26·4

Tabulka Valouch, str. 162, udává pro 100% rel. vlhkosti a + 10° C e = 9·209 mm Hg, je tedy pro 60% rel. vlhkosti:

$$t' = t + 0{\cdot}134 \,.\, e \,.\, \frac{p\,\%}{100} = 10{\cdot}0 + 0{\cdot}134 \,.\, 9{\cdot}209 \,.\, \frac{60}{100}$$

Tabulka rychlosti zvuku

pro teploty 0° až — 20° a 0° až + 40°.

$V_t = V_0 \pm 0{\cdot}6 \; (t' - 3) \qquad V_0 = 331{\cdot}5 \qquad V_3 = 331{\cdot}5 + 0{\cdot}6 \times 3 = 333{\cdot}3$

Teplota nad nulou								Teplota pod nulou			
+°C	V	+°C	V	+°C	V	+°C	V	+°C	V	+°C	V
+1°	332·1	+11°	338·1	+21°	344·1	+31°	350·6	—1°	330·9	—11°	324·9
+2°	332·7	+12°	338·7	+22°	344·7	+32°	350·7	—2°	330·3	—12°	324·3
+3°	333·3	+13°	339·3	+23°	345·3	+33°	351·3	—3°	329·7	—13°	323·7
+4°	333·9	+14°	339·9	+24°	345·9	+34°	351·9	—4°	329·1	—14°	323·1
+°5	334·5	+15°	340·5	+25°	346·5	+35°	352·5	—5°	328·5	—15°	322·5

2. Naše již zavedené nomogramy pro opravy čas. rozdílů (viz VTZ. roč. VIII, čís. 4 pplk. Ing. Mahr „Nomogramy pro opravu časových rozdílů“) berou za základ rychlost zvuku při + 3° C.

Chceme-li těchto nomogramů dále používati, musíme i při tomto způsobu vyhodnocení všude důsledně používati V_3.

To platí zejména pro vzorec 4. Značí tedy t vždy časový rozdíl pro rychlost V_3, t_0 časový rozdíl pro rychlost V_3.

Že uvedený vzorec zůstane správný, ukazuje krátká úvaha (obr. 14):

$$t_3 = \frac{AK}{V_3}, \quad t_{0\cdot 3} = \frac{AB}{V_3}$$

$$\frac{t_3}{t_{0\cdot 3}} = \frac{AK}{AB} \cdot \frac{V_3}{V_3} = \frac{\frac{AK}{V_0}}{\frac{AB}{V_0}} = \frac{t}{t_0}$$

Je tedy jedno, kterou rychlost zvuku pokládáme za normální.

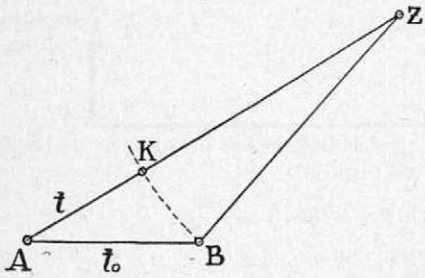
3. Tento vzorec lze snadno odvodit vhodnou transformací (obr. 15):

$$m = x\frac{\sin\alpha}{\sin 2\alpha} = \frac{x}{2\cos\alpha}$$

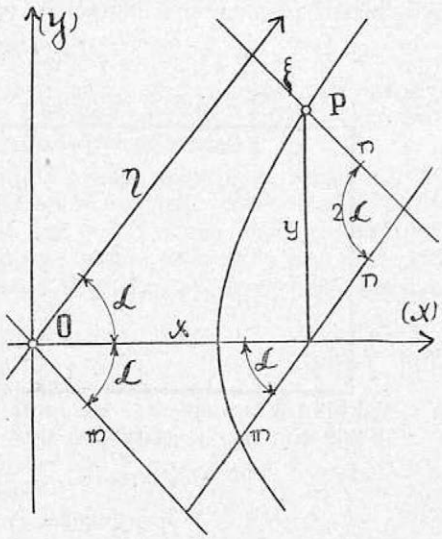
$$n = y\frac{\sin(90-\alpha)}{\sin 2\alpha} = \frac{y}{2\sin\alpha}$$

$$\left.\begin{aligned} \xi = m - n &= \frac{1}{2}\left(\frac{x}{\cos\alpha} - \frac{y}{\sin\alpha}\right) \\ \eta = m + n &= \frac{1}{2}\left(\frac{x}{\cos\alpha} + \frac{y}{\sin\alpha}\right) \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} \xi + \eta &= \frac{x}{\cos\alpha} \\ \eta - \xi &= \frac{y}{\sin\alpha} \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} x &= (\xi + \eta)\cos\alpha \\ y &= (\eta - \xi)\sin\alpha \end{aligned}$$



Obr, 14.



Obr. 15.

Tyto rovnice zasadíme do rovnice hyperboly v ortogonálních souřadnicích:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

a máme:

$$\frac{(\xi+\eta)^2 \cdot \cos^2\alpha}{a^2} - \frac{(\eta-\xi)^2 \cdot \sin^2\alpha}{b^2} = 1$$

Jak jsme již dokázali dříve, jest $\operatorname{tg}\alpha = \frac{b}{a}$, tudíž jest:

$$\cos^2\alpha = \frac{1}{1+\operatorname{tg}^2\alpha}, \quad \sin^2\alpha = \frac{1}{1+\operatorname{ctg}^2\alpha},$$

proto:

$$\frac{(\xi+\eta)^2}{a^2\left(\frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{(\eta-\xi)^2}{b^2\left(1+\frac{a^2}{b^2}\right)} = 1$$

a poněvadž

jest $a^2 + b^2 = e^2$ máme konečně::

$$\xi^2 + \eta^2 + 2\,\xi\,\eta - \eta^2 - \xi^2 + 2\,\xi\,\eta = e^2,$$

nebo:

$$\xi\,\eta = \left(\frac{e}{2}\right)^2$$

4. Pro grafické řešení rozložíme vzorec 6 takto:

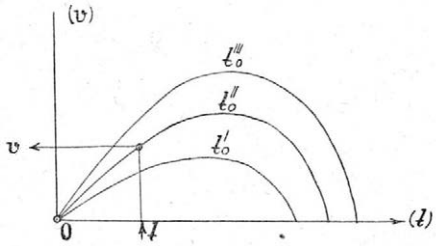
$$8\left(\frac{D}{V_0}\right)^2 \cdot \Delta t = v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1$$

pak jest:

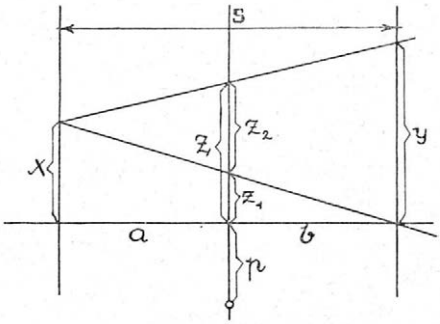
$$v = t\,(t_0^2 - t^2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2.$$

a nakreslíme

isoplety pro postupné hodnoty t_0 (obr. 16):



Obr. 16.



Obr. 17.

dostaneme z grafu pro daná t a t_0 hledané hodnoty v.

S nalezenou hodnotou počítáme dále ve spojnicovém nomogramu (obr. 17):

Pro spojnicový nomogram platí:

$$z = \frac{b}{s} \cdot x + \frac{a}{s}\,y + p \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3.$$

Protože jest:

$$\left.\begin{array}{l} x : z_1 = a + b : b \\ y : z_2 = a + b : a \end{array}\right\} \left.\begin{array}{l} z_1 = \frac{b}{s} \cdot x \\ z_2 = \frac{a}{s} \cdot y \end{array}\right\}$$

$$z = z_1 + z_2 + p.$$

Z rovnice 1 a 2 máme:

$$\Delta t = \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{V_0}{D}\right)^2 \cdot V$$

a nahradíme:

$$v = X, \quad D\,km = Y, \quad \Delta t = Z, \frac{1}{8} \cdot \frac{V_0^2}{10^6} = P,$$

pak máme:

$$Z = \frac{X}{Y^2} \cdot P$$

nebo

$$\log Z = \log X - 2 \log Y + \log P \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4.$$

Zavedeme ještě měřítka stupnic:

$$\left.\begin{array}{l} x = \alpha \log X \\ y = \beta \log Y \\ z = \gamma \log Z \end{array}\right\} \text{pak je rovnice 3.}$$

$$\log z = \frac{b}{s} \frac{\alpha}{\gamma} \log X + \frac{a}{s} \frac{\beta}{\gamma} \log Y + \frac{1}{8} p \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5.$$

Mají-li nyní rovnice 4 a 5 tentýž význam, musí býti:

$$\left.\begin{array}{l} \frac{b}{s} \cdot \frac{\alpha}{\gamma} = +1 \\ \frac{a}{s} \cdot \frac{\beta}{\gamma} = -2 \\ \frac{1}{8} \cdot p = \log P = -1{\cdot}857 \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6.$$

V těchto rovnicích máme 6 neznámých, lze proto 3 libovolně voliti:

$$\left.\begin{array}{l} a = 100 \text{ mm} \\ b = 100 \text{ mm} \\ \gamma = 100 \text{ mm} \end{array}\right\} \text{ a dostaneme: } \left\{\begin{array}{l} \alpha = 200 \text{ mm} \\ \beta = -400 \text{ mm} \\ p = -185{\cdot}7 \text{ mm} \end{array}\right.$$

5. Pro grafický výpočet funkce $\Delta 5 = \left(\frac{D^m}{t_0'' \cos \psi}\right)$ mm hodí se asi nejlépe nomogram spojnicový.

Výpočet a konstrukce je podobná jako u nomogramu odvozeného v pozn. 4.

6. Nejpřesnější měření je vždy na symetrále, t. j. leží-li cíl na ní nebo blízko ní.

Vzorec 10 má minimální hodnotu pro $\psi = 0$, má tedy chyba v měření základny nejmenší vliv na vyhodnocení pro cíle, které leží na symetrále.

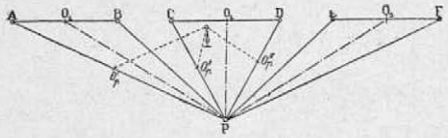
Derivujeme-li vzorec $\sin \psi = \frac{t}{t_0}$ podle t, máme:

$$d\psi = \operatorname{tg} \psi \frac{dt}{t}.$$

Je tedy opět chyba v měření časového rozdílu nejméně škodlivá, leží-li cíl na symetrále.

Ve vzorci 10 je t_0 ve jmenovateli. Zmenší se tedy vliv chybného měření základny, je-li základna větší.

Proti přílišnému zvětšení základny, mluví však větrná oprava (vedle úvah taktických). Je tedy:



Obr. 18.

$$\Delta t_w = \frac{\overline{AB}, w}{V^2} \cdot \cos \psi,$$

roste proto oprava s délkou základny. Lze dokázati, že optimum délky základny leží blízko u 2000 m. Viz VTZ., roč. IX., čís. 10, pplk. Ing. Mahr: „Pokus o chybovou teorii zvukoměřictví".

7. V tomto případě musíme zřídit vedení k pomocné naslouchatelně, které je pak jinak zbytečné a neužitečné pro vyhodnocení cílů. Taková pomocná naslouchatelna nám však umožňuje přesnější zaměření všech baterií, které leží nepříznivě.

Můžeme určiti přesně polohu děla i tehdy, leží-li přímo na některé základně nebo blízko ní, jak ukazuje obraz 18.

Pět příloh.