

Prostorové vidění.

(Několik úvah pro letectvo a dělostřelectvo.)

Popíši základy vidění a zvláště binokulárního prostorového vidění. Myslím, že tím přijdu vhod protiletadlovým dělostřelcům, kteří pracují se stereoskopickými dálkoměry a na základě prostorového vidu určují vzdálenosti. Doufám však, že i letci, zvláště ti, kteří přicházejí do styku s leteckou fotografií, najdou v článku některé zajímavosti a podněty. Konečně každý, kdo užívá kukátku, 15násobného dalekohledu, nebo má vůbec zájem o vlastnosti vidění, bude mít příležitost ujasnit si některé základní pojmy.

Vždyť vidění, ač je to jedna z všedních a samozřejmých našich životních zkušeností, je zajímavý přírodní zázrak. Jeho podrobnější studium otvírá před námi celé bohatství evoluční schopnosti hmoty, která řízena skrytými vitalistickými silami dovedla postupným vývojem z plasmatických, na světle zprvu snad jen chemicky citlivých míst, vytvořit tak dokonalou optickou soustavu, jako je oko.

Probereme vlastnosti oka, monokulární, binokulární vidění, strukturu viděného prostorového modelu a aplikaci odvozených pouček na některé naše vojenské obory.

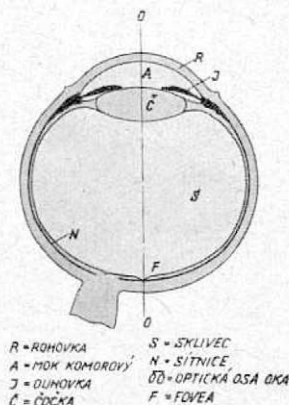
Oko je jednoočkový optický systém, složený z rohovky, moku komorového, duhovky, čočky, tělesa sklovitého (sklivec) a sítnice, která zachycuje a zpracovává světelné paprsky (viz obr. 1).

Světlo přichází do oka průzračnou rohovkou, prochází čirým komorovým mokem a dopadá na čočku kruhovitým, duhovkou vytvořeným otvorem — zornicí, jejíž průměr je proměnlivý a přizpůsobuje se intenzitě vnikajícího světla. Zornice mění průměr od 2 až do 8 mm. Čočka má schopnost měnit zakřivení ploch ji ohraničujících, čímž se mění ohnisková délka čočky od 17 do 14 mm. Tato schopnost, zvaná akomodace, umožňuje vidět předměty v různých vzdálenostech ostře, ovšem ne současně.

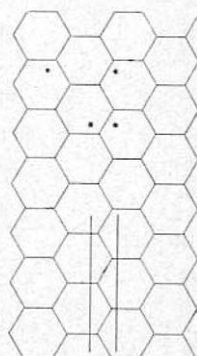
Světlo po prostupu čočkou prochází sklovitým, vnitřek oka vyplňujícím průzračným rosolovitým tělesem a dopadá na sítnici. Středý krivosti

všech příslušných hraničních ploch leží přibližně v jedné přímce: optické ose oka. Je tedy oko složitým, centrovaným optickým systémem. Tam, kde protíná optická osa sítnici, je malá vyhloubeninka, t. zv. ústřední jamka, fovea, o průměru asi 0,2 mm, která je současně se svým nejbližším okolím (žlutá skvrna) — jsouc nervstvem nejvíc prosycena — místem nejlepšího a nejurčitějšího vidění. Proto při pohledu na nějaký předmět stácíme oči tak, že optické osy procházejí pozorovaným předmětem a obrazy jeho se vytvářejí na žluté skvrně. Žlutá skvrna je centricky kolem fovey rozmístěna a má přibližně 1,4—2 mm v průměru.

Akomodační schopnost ztrácející se stářím anebo narozením daná ztrnulost čočky vede k oku krátkozrakému nebo dalekozrakému, při kterém se ostrý obraz vytváří před sítnicí nebo za ní a musí být na ni



Obr. 1.



Obr. 2.

teprve brýlemi převeden. *) Nestejnoměrné vyklenutí rohovky způsobuje obvykle astigmatické vady oka.

Sítnice je světlocitlivá a barvocitlivá plocha. Citlivost sítnice není však všude stejnoměrná a závisí na povaze nervového složení. Povšechně jsou v sítnici rozmístěny dva druhy nervových výběžků, a to čípky a tyčinky. Barvu světla vnímají jen čípky, zatím co pro ostrost vidění jsou rozhodující tyčinky. Čípky a tyčinky nejsou však stejnoměrně rozloženy. Tyčinky jsou nej hustěji umístěny ve žluté skvrně a ke kraji sítnice jich ubývá. O prosycenosti sítnice nervovými čivy si uděláme představu, uvážíme-li, že na jeden čtvereční milimetr sítnice ve žluté skvrně připadá 13.000 nervových konečků. Úbytek tyčinek ve směru od žluté skvrny a tím i úbytek ostrosti vidění není zvláště nápadný, poněvadž vnějšky okrajových partií slouží jen k povšechné orientaci a výstraze. Tyčinky jsou seřaděny vedle sebe a zvláště v okolí ústřední jamky stejnoměrně rozloženy. Ježto mají šestiúhelníkový tvar vytvářejí pravidelnou mosaiku, ne nepodobnou včelí

*) Mohutnost brýlí se nyní vyjadřuje o dioptriích. Jedna dioptrie znamená čočku o ohniskové vzdálenosti 1 m. Je-li f ohnisková vzdálenost v metrech, je $1/f$ optická mohutnost v dioptriích. Čočka o 3 dioptriích má tedy ohnisko $\frac{1}{3}$ m daleko.

plástvi, s tím rozdílem však, že průměr šestiúhelníku je asi 0'004 mm, což odpovídá úhlově při ohniskové vzdálenosti oka 17 mm asi 45". Tato čísla potřebujeme v úvaze další (obr. 2).

Monokulární vidění. Dva svítící body rozeznáváme jedním okem od sebe ještě tehdy, svírají-li paprsky okem procházející úhel větší než 1 minuta. Oko rozliší totiž dva svítící body od sebe tehdy, jsou-li vytvořené obrazy od sebe odděleny alespoň jednou neaktivovanou tyčinkou. Dopadají-li oba obrazy na sousední tyčinky, splývají v jeden výsledný dojem. Tento zjev zoveme monokulární rozlišovací schopností první třídy.

Pozorujeme-li však dvě rovnoběžné čáry, jejichž obrazy se pak rozprostírají po celé řadě tyčinek, rozlišíme ještě rovnoběžky jako dvě čáry, je-li jejich vzdálenost asi 15 vteřin. Zde není potřeba, aby mezi oběma řadami tyčinek zůstala jedna řada nedotčena. Mluvíme zde pak o rozlišovací schopnosti druhé třídy.

To, co bylo dosud uvedeno, týká se rozlišovací schopnosti, to je rozeznání dvou objektů od sebe. Jak to vypadá však na př. při pozorování jedné čáry? Zde nás zkušenost poučila, že vidíme již čáru mající rozměr 1—3 vteřin. Nejmenší rozměr závisí na osvětlení a na barvě pozadí. (Z toho na př. vyplývá, že se bude lano upoutaného balonu $\varnothing$ 7 mm za dobrých podmínek dobrému pozorovateli rýsovat na nebi ještě ve vzdálenosti asi 1400—400 m.)

Binokulární vidění. Pozorujeme-li nějaký bod, utkvíme na něm zrakem; to znamená, že osy očí stočíme tak, aby procházely pozorovaným bodem. Ač se v každém oku vytvoří na sítnici obraz pozorovaného bodu a současně též i jeho okolí, přec jen vidíme jednoduše, přirozeně, děkující za tento úkaz zvláštní a vypěstěné duševní schopnosti slučovat obrazy v každém oku vzniklé v jeden jediný výsledný. Tento výsledný obraz, ač vzniká na plošných útvech sítnice, reprodukuje nám do určité míry i hloubku, t. j. prostorovost pozorovaných předmětů. Schopnost vidět prostorově, to je tedy v podstatě schopnost přetvářeti plošné obrazy ve zrakový nebo, lépe, duševní prostorový relief, zoveme stereoskopickou vlastností vidění. Než stereoskopie očí je dosti omezeného rozsahu.

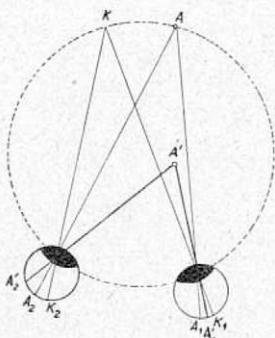
Jmenujme pozorovaný bod bodem konvergenčním K, neboť v něm konvergují optické osy očí; konvergenční bod se zobrazí v centru žluté skvrny. Okolí konvergenčního bodu se zobrazí kolem centra, a to body od pozorovatele stejně vzdálené se zobrazí na obou sítnicích v stejné vzdálenosti a v stejném směru od centra, t. j. průsečíku optické osy oka se sítnicí.

Důkaz vyplývá z obr. 3. $\overline{K_1A_1} = \overline{K_2A_2}$. Body od ústřední jamky v stejném smyslu stejně vzdálené nazýváme body korespondujícími a víme, že se zrakové nervy z nich vybíhající navzájem sdružují a tím ulehčují binokulární splynutí obrazu. Splynutí obrazů v konečný jediný dojem je činností duševní a nedá se říci, že by byla její podstata, jako u tak mnohých duševních pochodů, dostačujícím způsobem objasněna. Jde-li o body od pozorovatele nesteréjně vzdálené, netvoří se již obrazy na bodech korespondujících. Věnujme pozornost obrázku 3.

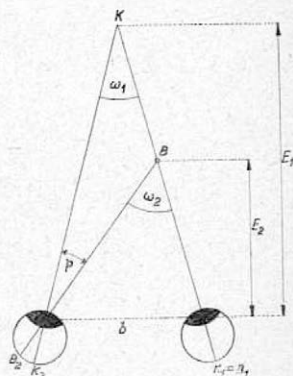
Obrazy bodu A' mají v obou očích různou vzdálenost od ústřední jamky; úsečka K_1A_1' se nerovná úsečce K_2A_2' , obrazy povstávají na místech disparátních a ne korespondujících. Představujeme si, že zde

musí mozek vykonati větší synthetickou námahu, aby oba disparátní obrazy přivedl ke splynutí; tato námaha je úměrná rozdílu vzdálenosti obou párů obrazů, tedy v podstatě úměrná rozdílu vzdáleností bodů K a A' v přírodě a je pro nás zkušeností vytvořenou mírou hloubky a základem prostorového dojmu a vidění. Aby ovšem rozdíl délek obou úseček na sítnici byl vnímán a jako hloubka vykládán, musí překročiti určitou minimální mezní, práhovou hodnotu; uvidíme dále, že tato práhová hodnota se dá výcvikem snížit a tím schopnost prostorového vidění zvýšiti.

Vzdálenost obou očí, t. zv. oční rozstup, činí průměrně 64 mm. Úhel, který svírají optické osy nebo jiné oční paprsky s pozorovanými předměty, nazýváme binokulárními paralaxami (tak na př. $\angle O_1KO_2$; $\angle O_1A'O_2$ atp.). Abychom při upření zraku na nějaký bod jeho okolí vnímali jako



Obr. 3.



Obr. 4.

blíže nebo vzdáleněji, musí rozdíl paralax (tedy rozdíl vzdáleností) překročiti, jak uvedeno, práhovou hodnotu, která je jiná u bodových a jiná u čárových objektů. Můžeme tedy také i zde mluvit obdobně jako u monokulárního vidění o binokulární (stereoskopické) rozlišovací schopnosti I. a II. třídy. Rozdíl binokulárních paralax nazýváme stereoskopickou paralaxou a ta je v podstatě mírou disparace obrazů. Pokusy bylo prokázáno, že se stereoskopický (hloubkový) efekt při vidění dostaví již tehdy, činí-li rozdíl vzdáleností obou očních obrazů od ústřední jamky jednu polovinu nervového šestiúhelníku, t. j. asi 0'002 mm, neboli, že stereoskopická paralaxa je asi 20—25". Jde-li o podráždění celé řady šestiúhelníkových tyčinek, snižuje se tato mez až na 10". Na základě toho můžeme již provésti některé důležité propočty.

Podle obr. 4 je bod K konvergenčním, ω_1 jeho binokulární paralaxou; bod B , který je spolu pozorován, je viděn pod paralaxou ω_2 . Rozdíl obou paralax $\omega_2 - \omega_1$ odpovídá stereoskopické paralaxe, která se v tomto případě projevuje jako úhel p . Aby bod B byl vnímán jako blíže, musí stereoskopická paralaxa překročiti práhovou hodnotu asi 20—25", neboli $\omega_2 - \omega_1 = p > 20''$.

$$\omega_1'' = \frac{b}{E_1} \cdot \rho'' = \frac{64 \text{ mm}}{E_1} \cdot 206.000^*)$$

$$\omega_2'' = \frac{b}{E_2} \cdot 206.000$$

$$\omega_2'' - \omega_1'' = p = b \left(\frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1} \right) \cdot 206.000 = b \frac{E_1 - E_2}{E_1 E_2} \cdot 206.000$$

[v případech, kdy se E_1 a E_2 málo od sebe liší, možno dosaditi za $E_1 E_2 = E^2$]

$$E_1 - E_2 = \Delta E = \frac{\pm p \cdot E^2}{b \cdot 206.000} \quad \text{I.}$$

Příklad. Pozorovatel upře zrak na předmět 30 m vzdálený. Jeho rozlišovací schopnost $p = 20''$. Binokulární paralaxa, pod kterou uvidí předmět (konvergenční úhel), je

$$\omega = \frac{64 \text{ mm}}{30.000 \text{ mm}} \cdot 206.000 = 440''.$$

Jako bližší nebo vzdálenější se mu budou jevit ty body, které uvidí pod úhlem $440'' \pm 20''$, tedy $460''$, nebo $420''$. Použijeme vzorce I.

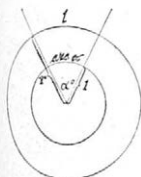
$$\Delta E = \frac{\pm 20'' \cdot 900 \text{ m}}{0.064 \cdot 206.000} = 1.36 \text{ m.}$$

Vyjádříme-li to slovy: Utkvěli jsme zrakem na předmětu 30 m vzdáleném. Teprve bod, který leží od nás více než $31'36''$ m daleko, budeme vnímati jako vzdálenější a body od $28'64''$ jako bližší. Bodová oblast mezi oběma krajními hraničními hodnotami ($28'64''$ m až $31'36''$ m) se nám bude jevit jako pásmo od nás vesměs stejně vzdálené, tedy jako plošný útvar. Rozlišíme-li v tomto pásmu, kterému říkáme neutrální, přes to některé body jako bližší nebo vzdálenější, nebude to na základě prostorového vidu, nýbrž na základě prosté rozumové zkušenosti. Různá barva, vzájemné zakrývání předmětů, rozměry ubývající se vzdáleností atp. nám rozumově mnohé napoví o prostorovém uspořádání předmětů, ale neukáží nám je prostorově.

Výraz ΔE je závislý na vzdálenosti E , a to roste se čtvercem vzdálenosti; to znamená, že čím vzdálenější předmět budu pozorovati, tím větší bude jeho neutrální pásmo. Tak na př. pozorujeme-li předmět 120 m vzdálený (při $p = 20''$), rozpoznáme jeho podrobnosti prostorově jako bližší a vzdálenější teprve tehdy, činí-li jejich rozdíl v dálece asi 22 m neutrální pásmo je tedy 44 m široké).

Dejme tomu, že pozorovaný bod je od nás tak vzdálen, že jeho binokulární paralaxa dospívá mezní hodnoty $20''$. Touto vzdáleností končí naše prostorové, stereoskopické vidění. Bližší body můžeme ještě jako

*) K osvěžení paměti uvádím vztah analytické míry k úhlové:



$$\text{arc } \alpha : 1 = 1 : r; \text{ arc } \alpha = \frac{1}{r};$$

$$\text{arc } \alpha : 2\pi = \alpha^0 : 360^0; \alpha^0 = \frac{180}{\pi} \cdot \text{arc } \alpha;$$

$$\frac{180}{\pi} = \rho^0; \frac{180 \cdot 60 \cdot 60}{\pi} = \rho'' = 206.000.$$

blíží rozeznati, všechny vzdálenější však již prostorově nerozeznáme a budou se nám jevit se stanoviska stereovidu stejně daleko. Tuto mezní vzdálenost označujeme jako radius stereoskopického vidění R .

$$R = \frac{b}{p} \cdot \rho'' = \frac{64 \cdot 206.000}{20} = 660 \text{ m} \quad \text{II.}$$

To nám vysvětluje, proč se z letadla jeví relief krajiny, jsme-li 660 m vysoko, úplně plošně. Pro pozorovatele s $p = 30''$ nastává tento úkaz již ve výši 440 m.

Máme však možnost naši poměrně omezenou schopnost prostorového vidění podstatně umělými prostředky zvýšiti. Zdokonalení stereoskopického vidění je možné buď

- a) umělým rozšířením oční základny, nebo
- b) použitím zvětšovacích optických přístrojů (dalekohledů) anebo
- c) kombinací obou způsobů.

Zvýšení schopnosti prostorového vidu.

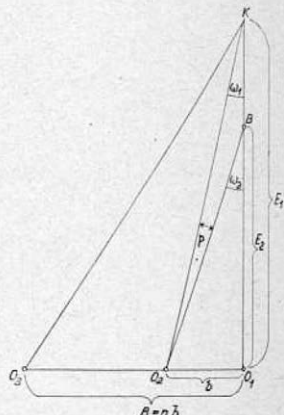
- a) Zvětšením základny. (Viz obr. 5.)

$$\frac{b}{E_1} \cdot \rho = \omega_1; \quad \frac{b}{E_2} \cdot \rho = \omega_2$$

$$\frac{n \cdot b}{E_1} \cdot \rho = n \omega_1; \quad \frac{n \cdot b}{E_2} \cdot \rho = n \omega_2$$

$$\omega_2 - \omega_1 = p$$

$$n \omega_2 - n \omega_1 = n p.$$



Obr. 5.

Z toho plyne, že zvětšíme-li nějakým způsobem oční rozstup n -krát, zvětší se též binokulární paralaxy a jejich rozdíly n -krát. To znamená, že mnohonásobněním očního rozstupu mnohonásobujeme v témž poměru i stereoskopickou schopnost.

Příklad. Oční rozstup rozšíříme $10\times$ na 640 mm; rozdíl vzdálenosti, který se nám při nezvětšené základně jevil na př. pod $\times 2''$, se nám projeví pod $\times 20''$ a dostupuje tak své meze, kdy může být vnímán. Zvyšujeme tedy $10\times$ binokulární rozlišovací schopnost. Toto zvýšení je dáno

$$\text{poměrem } \frac{B}{b} = n.$$

- b) Použitím dalekohledu.

Každý dalekohled má tu vlastnost, že úměrně svému zvětšení zvětšuje úhly sevřené paprsky přicházejícími od pozorovaného předmětu do

oka. Máme-li dalekohled g -krát zvětšující, zvětšuje nám též $g \times$ úhly ve shora uvedeném smyslu. Jeví-li se nám vzdálenost předmětů KA pod úhlem $2''$, vstupují při použití dalekohledu $g=10$ paprsky do oka pod úhlem $20''$. Tím vzrůstá g -krát rozlišovací schopnost.

c) Kombinací zvětšené základny s užitím dalekohledu se nám $\frac{B}{b} \cdot g$ krát zvyšuje schopnost prostorového vidu. Výraz

$\frac{B}{b} \cdot g$ zoveme totální plastikou a znamenáme jej zpravidla znakem Π .

Stereoskopické dálkoměry.

Naše protiletadlové dělostřelectvo využívá možnosti umělého vystupňování prostorového vidění k měření vzdáleností. Dálkoměry mají základnu 3 m a zvětšení $25\times$. Ujasníme si některé stereoskopické vlastnosti těchto přístrojů:

$$\Pi = \frac{3000}{64} \cdot 25 = 1172 \approx 1000.$$

To praví, že naše rozlišovací binokulární schopnost (stereoparalaxa) stoupá 1172 krát. Dálkoměrem tedy vidíme tak jako neozbrojeným okem s rozlišovací schopností

$$p' = \frac{p}{\Pi} = \frac{20}{1172} \approx 0.02''.$$

Podle vzorce II je radius stereoskopického vidění pro tento dálkoměr:

$$R = \frac{b \cdot p''}{p'} = \frac{64 \cdot 206.000}{0.02} = 660 \text{ km}.$$

Vidíme tedy, že se úměrně π rozšiřuje i obzor našeho prostorového vidění. Aplikujme náš dřívější příklad a stanovme ΔE pro předmět 30 m vzdálený; podle I je

$$\Delta E = \frac{\pm p' \cdot E^2}{b \cdot p''} = \frac{\pm 0.02'' \cdot 900 \text{ m}}{0.064 \text{ m} \cdot 206.000} = 1.36 \text{ mm}.$$

Neutrální pásmo je 2×1.36 , tedy necelé 3 mm široké. Normálně ovšem pozorujeme s dálkoměrem na vzdálenosti mnohem větší.

Princip stereoskopického dálkoměření záleží, jak známo, v tom, že v obou zorných polích jsou umístěny stejně vypadající měřicí značky ve formě kosodélníka, které při průhledu splynou binokulárně v jeden obraz. Při posouvání jedné ze značek měřicím válečkem pohybuje se binokulární obraz značky vpřed anebo zpět. Úkolem dálkoměřiče je nasadit značku na zaměřovaný objekt. Pozoruje-li značku před objektem nebo za ním, otáčí měřicím válečkem tak dlouho, až značka je stejné vzdálenosti s objektem. Poloha měřicího válečku určuje v podstatě vzdálenost objektu. Při rozpoznávání, zda značka je před objektem nebo za ním, tedy při posouzení tohoto prostorového efektu dochází k určité chybě dané velikostí neutrálního pásma, které je podmíněno rozlišovací schopností měřiče.

Příklad. Zaměřovaný objekt je ve vzdálenosti 4000 m; $p = 25''$; $b = 3$ m; $g = 25$;

$$\Delta E = \frac{\frac{p}{\pi} \cdot E^2}{b \cdot 206.000} = \frac{\frac{25}{1.172} \cdot 16.000.000}{0.064 \cdot 206.000} = 25 \text{ m.}$$

Měřič nadaný rozlišovací schopností $25''$ nerozezná při dálkoměření v pásmu od 3975 m do 4025 m, zda měřicí značka je před objektem nebo za ním a nutno u něho počítati s nejistotou ± 25 m na vzdálenost 4000 m. Neutrální pásmo je 50 m.

K obdobnému výsledku dospějeme též, budeme-li ve vzorci pro ΔE počítati s rozlišovací schopností p (tedy se schopností neozbrojeného oka), dosadíme-li však za základnu b (oční rozstup) hodnotu B . g. Je totiž:

$$\Delta E = \frac{\frac{p}{b} \cdot E^2}{b \cdot \rho''} = \frac{\frac{p}{B} \cdot g}{b \cdot \rho''} = \frac{p \cdot E^2}{B \cdot g \cdot \rho''};$$

pro náš dálkoměr:

$$\Delta E = \frac{p \cdot E^2}{3 \cdot 25 \cdot 206.000};$$

ve vzorci je E a základna vyjádřena v metrech; zaokrouhlíme-li ρ na 200.000, vyjádříme-li E v km, je

$$\Delta E = \frac{p \cdot E^2 \text{ km}}{75 \cdot 0.2} = \frac{p \cdot E^2 \text{ km}}{15}.$$

Je to přibližný, pro praxi však zcela vyhovující vzorec. Vypočítejme ΔE pro 4 km a $p = 25''$

$$\Delta E = \frac{25 \cdot 16}{15} = 26.6 \text{ m.}$$

Dostaneme tedy přibližně touž hodnotu jako dříve.

Z předchozího výrazu pro ΔE plyne, že

$$p = \frac{\Delta E \cdot 15}{E^2 \text{ km}}.$$

Tento vzorec má význam tehdy, chceme-li vyjádřiti chybu, které se měřič na známé vzdálenosti dopustil úhlově, a tak vyjádřiti jeho rozlišovací schopnost. Oba naposled uvedené výrazy jsou rovnicemi hyperbol a můžeme si je znázorniti nomogramem, kterého se dá velmi dobře při výcviku upotřebiti.

Individualita stereoskopické rozlišovací schopnosti.

Při studiu prostorového vidu jsem marně v literatuře shledával nějaká jednoznačná a dostatečným množstvím měření a pokusů podložená data. Údaje práhových hodnot stereoskopické paralaxy se pohybují mezi $10''$ — $60''$. Je jisté, že tyto rozdíly mají svůj hlavní důvod v tom, že stereoskopická paralaxa je hodnota subjektivní a kromě toho variabilní. Únava tělesná, duševní stav, doba denní, stav atmosféry, druh zaměřovaného objektu, osvětlení, výcvik a cvik, — to vše má vliv, abych tak řekl, na okamžitý stav rozlišovací schopnosti. Ta není jenom funkcí struktury sítnice, ale především duševní bdělosti a fyzické hotovosti. Sledujeme-li na př. průběžně stav rozlišovací schopnosti u měřiče pracujícího několik hodin za sebou, shledáme, že probíhá obdobně jako křivka pochodové výkonosti. Ze začátku svěžest po prvním akomodačním zakolísání (20—30 minut) činí stereoparalaxu malou, v průběhu doby po určitých výkyvech dochází k jakési duševní a pracovní automatisaci a paralaxa se stabilisuje na průměrné a nekolísající se hodnotě. Je zajímavé, že v noci je rozlišovací schopnost lepší než ve dne. V soboty a pondělky roztěkaná pozornost zvětšuje průměr paralaxy; na tu není též bez vlivu doba denní — před výdejem stravy je rozlišovací schopnost menší než při nasycenosti atd.

Všechny tyto okolnosti jsou důležité a rozhodující pro správné užití dálkoměrů. Nemůže být pro protiletadlovou střelbu jedno, zda své střelecké výpočty zakládá na měřeních člověka s momentní rozlišovací schopností $10''$ či $60''$. Stejně jako se pokoušíme mechanickým strojem dáti vše v nejlepší míře, aby jejich výkon byl 100procentní, a to pokládáme za samozřejmé, je nutno i fyziologický stroj lidský znáti a zjednat mu pracovní předpoklady.

Nemáme doposud dostatek statistického materiálu, abychom mohli odvoditi spolehlivá pravidla. Spíše jen tušíme určité zákonitosti. Je věcí protiletadlových útvarů, aby těmto okolnostem věnovaly pozornost a soustředěním celoročních záznamů vypracovaly statistický podklad pro všeobecné směrnice. Nestačí zde ovšem jen měření na pevné cíle; musí být dedukováno hlavně z měření na letadla a údaje měřičů srovnávány s hodnotami získanými nějakou objektivní metodou.

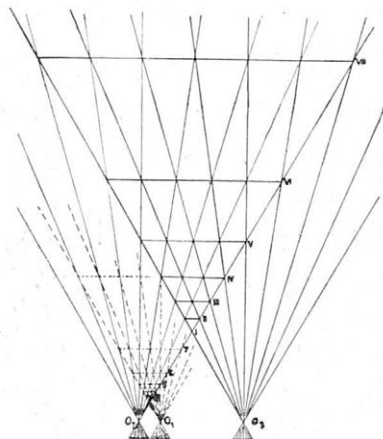
Pro určení „chování se“ stereoskopické paralaxy při měření na pohyblivé cíle jsme zvláště chudí na řádné podklady. Než i tak již skrovná spoluměření s kinofototheodolity zdají se ukazovati, že je nutno individuální paralaxu, určenou zaměřováním pevných bodů, násobiti dvěma, abychom zhruba dostali rozlišovací schopnost při bodech, které se rychle pohybují. Tedy nejenom studium dálkoměrů, ale též i dálkoměrů.

Vidění kukátky a dvojími dalekohledy.

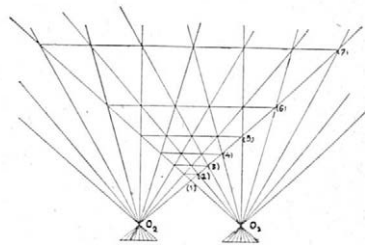
Poznali jsme, že prostorovost, plastičnost závisí na očním rozstupu (základně), na binokulární rozlišovací schopnosti a na vzdálenosti pozorovaného předmětu. Neutrální pásmo, obklopující každý pozorovaný předmět (konvergenční bod), je tím širší, čím vzdálenější je pozorovaný předmět. Shledali jsme však, že umělými prostředky, t. j. zvětšením a rozšířením očního rozstupu, můžeme podstatně neutrální pásmo zúžit a tím prostorovost zvýšiti.

Při pozorování kukátky a dvojitými dalekohledy využíváme obou těchto možností.

Při vidění kukátky uvědomuje si pozorovatel virtuální prostorový obraz, jehož dimenze jsou závislé na základně a na zvětšení. V obr. 6 značená O_1O_2 základnu odpovídající neozbrojenému oku (normální oční rozstup), O_2O_3 pak uměle rozšířenou základnu, při které však nebylo užito žádného optického zvětšení. Krajina ležící proti základně O_2O_3 je znázorněna rovinami I až VII. Z obrázku je patrné, že prostorový model vyplývající, znázorněný obdobně rovinami 1—7, je útvar, který vzniká úměrným zmenšením všech tří prostorových dimensí. Faktor úměrnosti je zřejmě dán poměrem základen $O_2O_3 : O_2O_1$.



Obr. 6.



Obr. 7.

I. Prostou změnou základny přecházíme tedy jen k prostorovým útvarům sobě navzájem podobným.

V obr. 7 je znázorněn případ zvětšené základny a dvojnásobného optického zvětšení. Základna O_2O_3 odpovídá svou velikostí základně z obr. 6. Všechny úhly centrální (optické) projekce jsou zdvojnásobeny a na místo rovin I—VII přicházejí roviny (1)—(7). Je vidět, že se tyto roviny k základně $2\times$ přiblížily, aniž však měnily svůj šířkový rozměr, svou šířkovou frontu.

II. Prosté zvyšování zvětšení (bez změn základny) způsobuje zmenšení hloubkové dimenze úměrně zvětšení.

Zmenšujeme-li základnu proti očnímu rozstupu nebo volíme-li zvětšení < 1 , nastanou reciproké poměry.

Použití obou pouček (I a II) nám dovoluje sestavit tabulku, která dává názorný přehled o vlivu obou činitelů u optických přístrojů. Tabulku uvádím v sestavě prof. Pulfricha:

Zvětšení (obrazový úhel)	Přirozený oční rozstup (64 mm)	Přístroje, které podmínce vyhovují :	Při pozorování těmito přístroji jeví se předměty a celá struktura krajiny za stejných geometrických podmínek, jaké by nastaly při pozorování prostým viděním na- podobného modelu krajiny, u kterého bychom však	
m a n jsou čísla větší než 1.			vzdálenosti E jednotlivých předmětů nahradili :	skutečné rozměry (1×1×1) předmětů, to jest: hloubka × šířka × výška, nahradili :
m × zvětšení	beze změny	Obyčejné diva- delní kukátko. Vzdálenost objektivů rovná se vzdálenosti okulárů.	$\frac{1}{m} \cdot E$ Předměty se přisunují k pozorova- teli v nezměněné frontě m × blíže a tím jsou ve své hloubce m × sraženy (kulisový účinek).	$\frac{1}{m} \times 1 \times 1$
m × zmenšení	beze změny	Jako dříve, však průhled směrem od objektivů.	m · E Předměty se m × odsunou od pozorovatele v nezměněné šířkové frontě; předměty se m × pro- táhnou do hloubky.	m × 1 × 1
beze změny	n × zvětšen	Helmholtzův telestereoskop. Stereoplanigraf. Oči obra.	$\frac{1}{n} \cdot E$ Předměty n × zmenšené se n × přiblíží k pozorovateli.	$\frac{1}{n} \times \frac{1}{n} \times \frac{1}{n}$
beze změny	n × zmenšen	Oči dítěte. Brachy- stereoskop.	n · E Předměty n × zvětšené se n × vzdálí od pozorovatele.	n × n × n
m × zvětšení	n × zvětšen	Kukátka. 15 × dalekohled. Stereoskopický dálkoměr.	$\frac{1}{m} \cdot \frac{1}{n} \cdot E$ Předměty se v n × zúžené frontě m · n × přiblíží k pozorovateli. V hloubce se m × n × srazí. m · n = π = totální plastika.	$\frac{1}{m} \cdot \frac{1}{n} \times \frac{1}{n} \times \frac{1}{n}$
m × zvětšení	n × zmenšen	Kukátko se zmenšenou vzdáleností objektivů; dří- vější Zeissovo divadelní kukátko.	$\frac{1}{m} \cdot n \cdot E$	$\frac{1}{m} \cdot n \times n \times n$
m × zmenšení	n × zvětšen	—	m · $\frac{1}{n} \cdot E$	m · $\frac{1}{n} \times n \times n$
m × zmenšení	n × zmenšen	—	m · n · E	m · n × n × n

Tím získáváme představu o struktuře prostorového modelu. Pro prostorové rozpoznání „blíž“ a „dál“ od pozorovaného předmětu platí ovšem poučky v dřívějších odstavcích uvedené.

Příklad. Kukátko $6\times$ zvětšující, rozstup okulárů 64 mm, objektivů 128 mm; pozorovatel s $p = 30''$.

$$\Pi = \frac{128}{64} \cdot 6 = 12.$$

Rozlišovací schopnost při užití kukátka je:

$$p' = \frac{p}{\Pi} = 2.5''.$$

Radius stereovidění:

$$R = \frac{b \cdot p''}{p'} = \frac{64 \cdot 206.000}{2.5} = 5.274 \text{ m.}$$

ΔE pro $E = 3000 \text{ m}$:

$$\Delta E = \frac{\pm p' E^2}{b \cdot p''} = \frac{\pm 2.5 \cdot 9.000.000}{0.064 \cdot 206.000} = 1700 \text{ m.}$$

To znamená, že na př. při zastržení na cíl 3000 m daleko, teprve náraz kratší nebo delší než 1700 m prostorově jako takový náraz rozeznáme. Ovšem rozumová zkušenost nás poučí i při úchylnkách menších o smyslu nárazu.

Doporučuji čtenářům, provést si podobné propočty i pro $15\times$ dalekohled a pro různé vzdálenosti.

Prostorové vidění a stereoskopické letecké snímky.

Z letadla, jak již uvedeno, se přímému pozorování naskýtají značné obtíže. S normálních bojových výšek vypadá terén úplně plošně, a je-li provedeno účelné zastírání, t. j. barevné splnutí zastíraného objektu s okolím, selhávají jak přímé pozorování, tak i fotografie. Hůře to již dopadá s prostorovým zastíráním. Zpravidla mají zastírané objekty určité hloubkové a výškové rozměry (zákopy, děla atp.), které se nedají zastříti, byť se i ostré hrany a plochy uměle zaoblovaly a vyplňovaly. Půjde jen o to, aby se celkem nepatrné hloubkové rozdíly staly vnímatelnými a vstoupily do obzoru rozlišitelnosti.

Dejme si otázku, jak velký oční rozstup by musil mít letecký pozorovatel, aby s výšky 3000 m při rozlišovací schopnosti $20''$ rozpoznal ještě předměty, které se hloubkově liší od svého okolí o 1 m; podle I:

$$\Delta E = 1 \text{ m} = \frac{20'' \cdot 3000^2 \text{ m}}{b \cdot 206.000}, \text{ z toho } b = 875 \text{ m.}$$

Oční rozstup pozorovatele by tedy musil být skoro 900 m. Prakticky ovšem můžeme tento nespelnitelný požadavek uskutečnit leteckou komorou, která by nám na obou koncích této základny pořídila snímkem

pravý a levý obraz jako náhradu obrazů očních. Při pozorování obou snímků v stereoskopu by bylo možné při vhodné volbě konstruktivních poměrů přístroje dosíci téhož dojmu jako při pozorování s očním rozstupem 900 m. Ovšem základna 900 m je ve skutečnosti z jiných důvodů nepřijatelná. Je příliš velká a nutná konvergence os leteckých komor při fotografování by měla nepříznivý vliv na stereoskopické splynutí obou obrazů. Ze zkušenosti plyne, že u kolmých snímků možno stereoskopicky ještě dobře pozorovati, když konvergenční úhel je 10° . (Viz poutavé pojednání npor. Capouška „Fotogrametrické zjišťování palebných postavení“ VR., XIII, čís. 1.—2.) Z toho se dá odvoditi, že základna má býti $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{10}$ výšky, neboli v našem případě 400 m. Vložíme-li nyní obě fotografie ze základny 400 m do stereoskopu, musíme použití nejméně dvojnásobného zvětšení, abychom prostorový detail 1 m rozlišili a vynahradili tím dvojnásobné zkrácení základny. Předpokladem je, že fotografie vzbudí úhlo-jevné dojmy v oku jako skutečnost sama. Z toho je již vidět, že promyšlený stereoskopický průzkum musí bráti v počet: výšku letu, základnu, fokální vzdálenost letecké komory, fokální vzdálenost stereoskopu, jeho zvětšení a tyto prvky uvést do souladu s požadavkem hloubkového rozlišování. Základna stereoskopu sama o sobě nemá vůbec význam. (Viz čl. mjr. dr. Peterky „Stereoskopie v letectví“ VR. 1931.)

Souboru celé této otázky musí býti věnována pozornost především letectvem, kterému je svěřeno čtení a taktický výklad leteckého snímku. Letectvo si musí uvědomiti potřebnou „prostorovost“ a podle toho konečně v souvislosti s vlastnostmi leteckých komor odvoditi požadavky na stereoskopy a je konstruktivně propracovati. Stereoskopie v letectví nesmí býti však v žádném případě opomíjena, neboť je podkladem leteckého průzkumu, je základem práce jak letce fotografa, tak letce zpravodaje. Bylo by zajímavé dovědět se, do jaké míry se otázka stereoskopického průzkumu u letectva vyvinula a jak jsou vyřešeny předpoklady stereoskopické práce v souvislosti s novými komorami AII a AIII, s jejich řadovými intervaly, fokusy atd.

Několik osobních poznámek.

Ke koncepci tohoto pojednání jsem byl přiveden cyklem přednášek o geometrické a fyziologické optice, které jsem letos měl v kursech školy OPL. Neujasněnost některých základních pojmů a nedostatek naší literatury mne donutily, abych se o předmětu rozepsal.

Použité prameny:

- F. Ollivier: „La topographie sans topographes“. 1929.
 A. König: „Die Fernrohre und Entfernungsmesser“. 1923.
 A. König: „Physiologische Optik“. 1924.
 Hugershoff: „Photogrammetrie u. Luftbildwesen“. 1930.
 P. Gast: „Vorlesungen über Photogrammetrie“. 1930.
 VTÚ.: „Popis a návod k použití naučného stereoskopu“. 1931.
 O. D. Chwolson: „Physik“. 1922.
 Gleichen: „Theorie der modernen optischen Instrumente“. 1923.
 Bonasse: „Vision et reproduction des formes et des couleurs“. 1917.
 Wundt: „Vorlesungen über die Menschen- und Tierseele“. 1919.