

Novi nivelmansi instrumenti*

Martin Drodofsky, Heidenheim: »Neue Nivellierinstrumente«, Zeitschrift für Vermessungswesen, Stuttgart br. 8/1951.

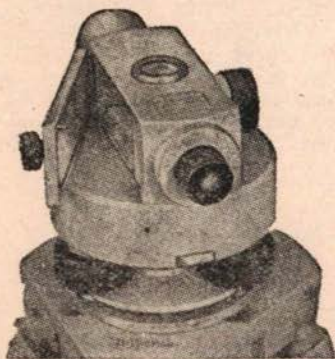
(Izveštaj iz laboratorijuma za geodetske instrumente firme Zeiss-Opton, Oberkochen, Württemberg).

U razvoju nivelira djelovao je kao jak poticaj, kada je 1908 Heinrich Wild, tada znanstveni suradnik firme Carl Zeiss, Jena uveo opažanje koincidencije libele i unutarnje fokusiranje. U daljnjem razvoju nastojalo se povećati mjernu točnost i smanjivati potrošak vremena. Iako su instrumenti na tom putu do svršetka drugog svjetskog rata postigli već veliko savršenstvo, razvoj nije još bio nipošto završen, jer je praktičar i sa najmodernijim instrumentima imao još stanovite poteškoće.

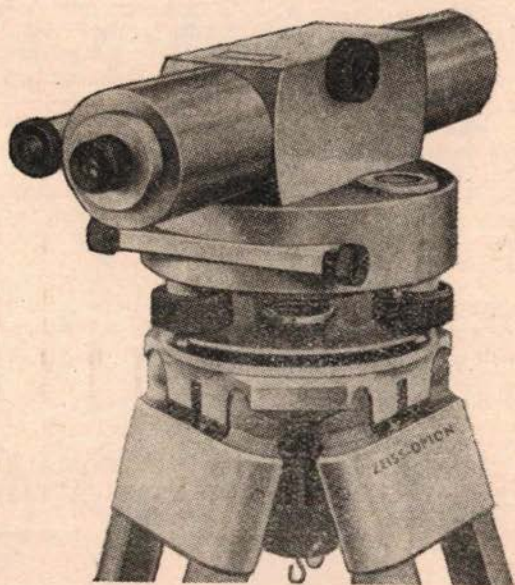
Tako je svakom, koji je izvađao praktička mjerenja, poznata neugodna pojava, da pri kočenju cilj izmakne, i da u naročito nepovoljnim slučajevima područje finog pomaka ne dostaje za ponovno viziranje. I fokusiranje ima svoje mane, kada kod hladnog vremena prsti nisu više tako osjetljivi kao inače, te se mnogi zbog toga nije pravo mogao sprijateljiti s modernim durbinima. No najčešći prigovori odnose se sigurno na libele preciznijih nivelira, koji se tako teško dovode do vrhunjenja.

Kod novijih konstrukcija firme Zeiss-Opton nastojalo se ukloniti navedene poteškoće.

Mali nivelir Ni3 (sl. 1) pokazuje u osnovnim potezima klasičnu građu: durbin



Sl. 1



Sl. 2

je čvrsto spojen sa cijevnom libelom, a oboje su okretno montirani na tronogu. Uporedivši sa dosadanjim instrumentima slične građe uvedeno je ipak nekoliko poboljšanja, koja predstavljaju nastavak prijašnjeg razvoja. Tako je vijak za kočenje kod okretanja oko vertikalne osovine nadomješten čvrsto namještenom kočnicom, no ipak — za razliku od prijašnjeg Zeissovog nivelira E — postoji mogućnost finog pomaka, koja je neograničena. Fokusiranje je olakšano time, da odgovarajući postavni uređaj osim normalnog hoda posjeduje i fini hod, koji se automatski u pravi čas uključi.

* Dozvolom redakcije Z. F. V. preveo docent Ing. F. Braum.

Centralni vijak, koji povezuje instrument sa stativom, ne djeluje više — kao kod starih Zeissovih nivelira — na elastičnu ploču, već na podložnu ploču kao što je poznato kod teodolita. Time se postizava da se podnožni vijci jednolično i mekano okreću i onda, kada je centralni vijak vrlo čvrsto pritegnut; time ni neugodno savijanje elastične ploče nije više moguće. Pritisak, koji elastična ploča vrši na podnožne vijke, može se regulirati na postavnom vijku u sredini tronoga.

Dozna libela smještena je na instrumentu centrično, tako da se kod postavljanja instrumenta on ne mora istom dovesti u takav položaj, da bi se mogla vidjeti dozna libela. Cijevna libela nalazi se zaštićena u postranoj niši durbinovog kućišta.

Analaktički durbin ima pri otvoru od 25 mm 19-struko povećanje i obložen je Zeissovim T-oblogom, koji umanjuje reflekske. Slika je u durbinu stoga naročito svjetla i kontrastna. Praktički pokusi su dokazali, da pri upotrebi obične libele sa 30"/2 mm 19-struko povećanje durбина potpuno zadovoljava, te da su durbinu prijašnjih Zeissovih nivelira D i E sa njihovim 25-strukim povećanjem bili predimenzionirani. Procjenjivanje mm-a u centimetarskom polju letve moguće je do vizurne daljine od 70 m.

Kod praktičkog ispitivanja na dužini od ukupno 40 km sa 20 priključaka srednja pogreška nije nikada bila veća od ± 5 mm na kilometar dvostrukog nivelmana.

Podnožni vijci djeluju kod Ni 3 na vrhunjenje cijevne libele dovoljno fino, tako da nije bio potreban elevacioni vijak sa svojim nedostacima za plošni nivelman.

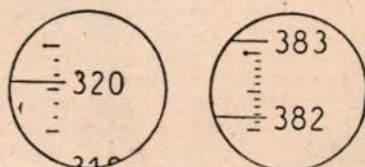
Po želji Ni 3 može biti snabdjeven sa podjelom limba ili na 360° ili na 400 g, koja se pomoću index-crtnice očitava na 0,10 odnosno 0,1g.

Za preciznije svrhe namjenjeni nivelir Ni 2 (sl. 2) odstupa principijelno od klasične građe, jer kod njega nema ni cijevne libele ni elevacionog vijka; oboje su zamjenjeni automatskim uređajem, kompenzatorom.

Ako se za ispravljanje vizurnog pravca koristi libela, to mora opservator biti uključen kao »pojačivač«, koji upotrebom neke — dakako malene — sile tako djeluje na elevacioni vijak, da bi libela vrhunila. Samo kod instrumenata male točnosti moglo se samu sliku libele koristiti kao vizurnu marku, tako da nije trebalo »pojačivača«.

Za razliku od libele kompenzator je posve mehanički konstruktivni element, koji je u stanju da djeluje na jedan sastavni dio jednog optičkog sistema; prema tome je moguće osloboditi opservatora od ispravljanja vizurnog pravca i tu zadaću prepustiti kompenzatoru, koji ju vrši automatski. To praktički znači bitno odteterećenje opservatora pri istovremeno znatnom redukciranju potroška vremena. Kompenzator radi toliko točno, kao da je instrument snabdjeven običnom 3"-libelom ili 10"-libelom sa uređajem za koincidenciju (kao na pr. Zeissov precizni nivelir A).

Dalekozor od Ni2 ima 32-struko povećanje kod 40 mm otvora. On omogućuje procjenjivanje milimetara u centimetarskom polju letve sve do vizurne daljine od 100 m. Kod praktičkog ispitivanja na dužini od ukupno 50 km sa 23 priključka srednja pogreška nije prekoračila iznos od ± 2 mm na 1 km dvostrukog nivelmana. Pri tom je vizurna daljina iznosila cca 50 m, a milimetri su procjenjivani u centimetarskom polju.



Sl. 3

Isto kao i svaki libelni instrument ima i Ni2 za približno vertikaliziranje osovine doznu libelu sa podatkom od cca 15' na 2 mm, koja se međutim samo približno navrhuni, jer kompenzator ima akciono područje od cca 10'. Već 0,5 sekunde nakon zadnjeg pokreta podnožnih vijaka kompenzator je već horizontirao vizurni pravac. »Horizontalno« treba pri tom u istom smislu shvatiti kao i kod instrumenata sa cijevnom libelom, naime tako, da se tek postupkom justiranja osigurava zaista horizontalan smjer; kod pogrešne rektifikacije vizurni pravac zatvara sa horizontalom konstantan nagib. Justiranje se ispituje na poznati način niveliranjem iz

sredine i po potrebi korigira pomakom nitne pločice pomoću vijka za rektifikaciju.

I Ni2 može po želji biti providen limbom, koji se u skalnom mikroskopu može očitati na 1' odnosno na 0,01g točno (sl. 3). (Op. prev.: Ova oprema sa limbom ima kod Ni2 mnogo više smisla nego kod nivelira odgovarajućeg reda točnosti sa cijevnom libelom, čija velika osjetljivost čini instrument vrlo neprijatnim za plošni nivelman).

Za neka poboljšanja nanijeta na instrumentima Ni2 i Ni3 bio bi potreban detaljniji opis.

1. Analaktički durbin.

Durbini Zeissovih nivelira bili su uvijek analaktički, t. j. adicione konstanta mogla se kod Reichenbachovog određivanja daljina u praktički uobičajenom daljinskom području uzeti jednakom O. Na činjenicu, da se analaktička točka nešto pomiče u ovisnosti od vizurne daljine, obazrijelo se tek napomenom, da vizurna daljina treba biti veća od 10 m. Novo je dakle samo to, da uporabna uputa sadrži tabelu, iz koje proizlaze vrijednosti adicione »konstante« kod vrlo kratkih udaljenosti. Multiplikaciona konstanta je udešena na vrijednost $100,0 \pm 0,1$. Jedna nova metoda udešavanja osigurava, da neizbježive netočnosti kod proizvodnje leća utječu na udaljenost tek još u iznosu od malo milimetara.

2. Zeiss-T-oblog.

Na graničnoj plohi između stakla i zraka biva normalno cca 5% upadajućeg svjetla reflektirano. U jednom optičkom sistemu sa mnogo lomnih ploha izaziva to znatan gubitak svjetla. Pomoću T-obloga taj se gubitak bitno smanji. Djelovanje obloga počiva na interferenciji svjetla na tankim slojevima, koja prouzrokuje i njegovu boju. Principijelno sličnu pojavu predstavljaju boje tankih slojeva ulja na vodi. T-oblog nanaša se na leće prema naročitom postupku u vakuumu, on je tako čvrst, da se obložene leće mogu bez bojazni čistiti sa mekom kožom ili krpicom koja ne sadrži prašine.

3. Neograničeni fini pomak bez zakočivanja.

Na tronogu je montiran zupčanik, a na zupčaniku gornji dio instrumenta. Jedan u gornjem dijelu montirani puž zahvaća u zupčanik i povezuje tako dugo dok se ne pokrene, gornji dio i zupčanik u jednu cjelinu. Stoga se kod grubog okreta zupčanik okreće na tronogu. Kod finog pomaka naprotiv okreće se puž i time se gornji dio i zupčanik zakreću jedan prema drugom. Ako se zupčanik dovoljno teško pokreće na podnožju, što se postizava jednom kočnicom, ostat će on nepomičan prema podnožju, tako da se pokreću relativno gornji dio i tronog. Mogu se naravski gornji dio i tronog izvana u svom međusobnom položaju prisilno zadržati i ipak djelovati na vijak za fini pomak, pri čemu se zupčanik okreće na tronogu, a da se izvana ne zapazi nikakav pomak.

4. Fini pomak koluta za fokusiranje.

Za očitavanje mora postav slike letve u dalekozoru biti slobodan od paralakse. Pokusi su pokazali, da se to može komotno postići samo ako kolut za fokusiranje toliko fino djeluje, da je za prefokusiranje od dalekog cilja do najkraće udaljenosti potrebno cca 5 okreta koluta. Taki pogoni fokusiranja bili su prije građeni, ali se nisu afirmirali, jer kod malenog efekta pogona nije se moglo odmah konstatirati, koji je ispravan smisao okretanja. Stoga kod novog koluta postoji mali prenos samo kod finog hoda, dok je prenos kod grubog hoda pet puta veći. Za prefokusiranje od neizmjernog na najkraću daljinu potreban je sada kod Ni2 u grubom hodu samo jedan okretaj koluta, čemu svakako pridolazi područje finog hoda sa $\frac{1}{3}$ okretaja.

Uredaji za fini pogon fokusiranja smješteni su u unutrašnjosti koluta; na pogonu fasunga leće pomoću nazubljene motke i zupčanika nije se ništa promijenilo.

Na sl. 4 prikazana je shematski unutrašnjost koluta za fokusiranje. Izvana vidljivi kolut A okretno je smješten na dijelu B čvrsto povezanom sa durbinom. U prstenastom žljebu dijela B smješten je okretno sa razmjerno velikim trenjem prsten C. Prsten C nosi zatik F, oko kojeg se može zakretati poluga D. Ta poluga D zahvaća kod H u izraz koluta A. Drugi kraj poluge zahvaća kod I u viljušku E,

koja je sa svoje strane čvrsto povezana sa razmjerno lako okretnom osovinom G. Na istoj osovini G učvršćen je jedan zupčanik, koji zahvaća u nazubljenu motku na fasungu fokusirane leće. Pomak fokusirane leće je dakle proporcionalan sa okretajem osovine G odnosno vilice E. Osovina G zahvaća sa jednim krajem u izrez poluge D i ograničuje time zakretajno područje te poluge.

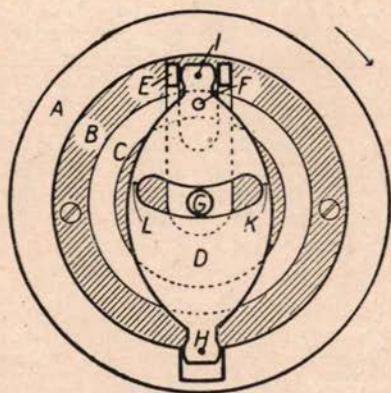
Ako se iz naranog položaja zakrene kolut na pr. u desno (smjer strelice na sl. 4), to se točka H pokrene na lijevo. Kako zatik F uslijed velikog trenja prstena C ostane na mjestu, to se točka I pokrene na desno i povede sa sobom vilicu E. Pokret točke I uslijedi u odnosu $IF:FH$ polaganije nego li pokret točke H.

Zakretaj vilice E uslijedi u odnosu $\frac{IF}{FH} \cdot \frac{HG}{GI}$ polaganije nego rotacija od A (fini hod). Ako se na taj način poluga D toliko zakrene, da točka K udari na osovinu G, biva kod daljnje rotacije koluta prsten C povučen posredstvom zatika F. Pomak se sada uslijed većeg trenja od C izvodi teže. Poluga D prenosi u tom stanju rotaciju koluta A u odnosu 1:1 na vilicu E (grubi hod).

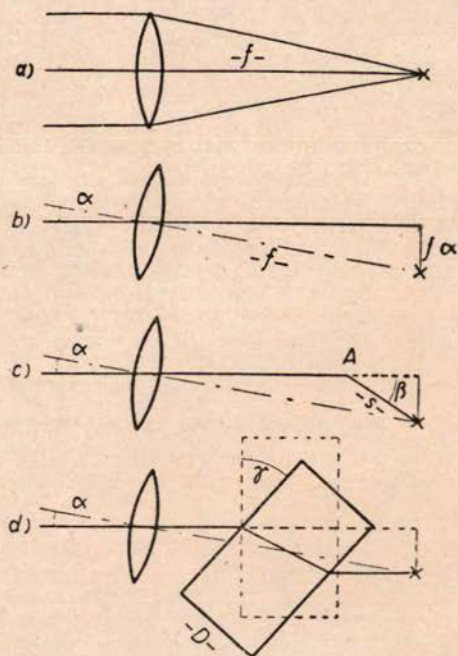
Obrne li se u tom stanju smisao okretanja koluta, to se poluga D opet može okretati oko zatika F; opet dakle funkcioniira fini hod sve dok točka L ne udari na osovinu G.

5. Kompenzator

Kompenzator je u principu uspravni čovječuljak (Stehaufmännchen), koji je kao igračka svakom poznat. Ako ga se stavi na ravnu horizontalnu podlogu, to



Sl. 4



Sl. 5

se on postavlja vertikalno. Ako se podloga nešto nagne, to se sa iznenađenjem ustanovi, da čovječuljak nipošto ne ostane vertikaln, nego poprimi nagib koji je bitno veći nego nagib podloge. Ta pojava povećavanja biva kod Ni2 korištena za kompenzaciju nagiba durbina.

Ako je vizurni pravac durbina horizontalan, sjedinjuju se sve zrake koje dolaze od neke daleke vizirane točke u horizontu na presjeku nitnog križa (sl. 5a).

Ako je durbin nagnut za kut α , to se sve zrake dolazeće od te iste točke sjedinjuju za iznos $f \cdot \alpha$ ili ispod ili iznad presjeka nitnog križa na vertikalnoj niti (sl. 5b). Ima više mogućnosti da se postigne, da slika dalekog cilja opet padne na presjek nitnog križa. Može se na pr. između objektivna i nitnog križa uvesti zrcalni uređaj, koji kod A otkloni zrake za kut β (sl. 5c). Pri tom se točka A nalazi na nepromjenjenoj udaljenosti s od nitnog križa, dok se kutni otklon β tako upravlja,

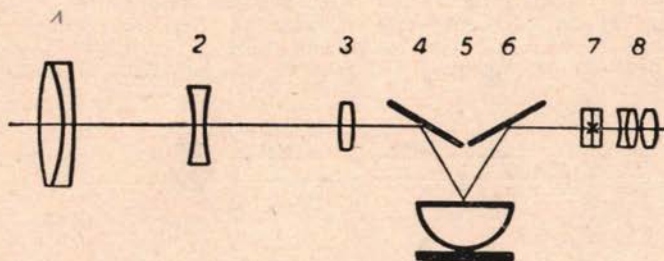
da je uvijek $s \cdot \beta = f \cdot \alpha$. Tim se putem išlo kod Ni2, pri čem su kutno povećanje $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{f}{s}$

upravlja pomoću kompenzatora. Umjesto da se glavna zraka kod A prelomi, može ju se pomoću planparalelne ploče paralelno pomaknuti. Pomak zrake pomoću planparalelne ploče jednak je, kako se prema zakonu loma lako dade izvesti, u

prvom približenju $\alpha = D \cdot \frac{n-1}{n} \cdot \gamma$, pri čem je n koeficijent loma stakla, D debljina planparalelne ploče, a γ kut za koji je ploča nagnuta iz svog normalnog položaja (sl. 5d). Kako mora biti $d = f \cdot \alpha$, to kompenzator mora upravljati povećanje

$$\frac{\gamma}{\alpha} = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{f}{D}$$

Željeno djelovanje može se na pr. postići i time, da se kut β u sl. 5c ostavi konstantan, i da se udaljenost s varira kao funkcija kuta α . U tom slučaju mora svakako nagib α uslijediti uvijek u istom smjeru. Tok zraka u Ni2 shematski je



Sl. 6

prikazan na sl. 6. Od objektivna 1 proicirana slika biva pomoću rasipne leće 2, koja leži između objektivna i njegovog žarišta, povećana i pomoću pokretne fokusirajuće leće 3 oštro preslikana na nitnoj pločici 7 (između 1 i 7 ne postoji nikakova realna slika cilja). Na putu od 3 do 7 svjetlo pogađa ravna zrcala 4, 5 i 6, od kojih je zrcalo 5 pričvršćeno na kompenzatoru. Trostruko zrcaljenje proizvodi uspravljanje slike, ali do daljnjeg nikakove izmjene lijeve i desne strane. Prema tome bi se dobila ispravna no krivostrana slika, kad ne bi jedno od tih triju zrcala bilo izvedeno kao krovno zrcalo. Slika 7 promatra se kroz okular 8.

Razlaganja za potrebno povećanje u kompenzatoru vrijede ponajprije za vrlo daleki cilj, jer u jednadžbama dolazi veličina f . Za konačnu udaljenost cilja mora mjesto nje biti uvrštena slikovna daljina b , koja u stanovitim okolnostima znade znatno odstupati od žarišne daljine. Ako je na pr. $f=250$ mm, daljina cilja $a=20$ m, to je razlika $b-f \approx 3$ mm, uslijed koje bi povećanje moralo biti veće za 1,2%. Taj se moment dade prikazati i na slijedeći način: U sl. 5 i na nju nadovezanim razmatranjima je šutke pretpostavljeno, da se dalekozor nagnuo oko središta objektivna; to međutim nije potrebno, i treba rade potražiti onu točku, oko koje se durbin mora nagnuti, da bi kompenzacija pri konstantnom povećanju kompenzatora za bilo koju udaljenost bila ispravna.

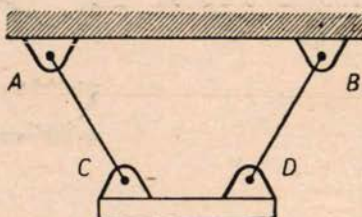
Lako se dade dokazati, da je ta tražena točka identična sa analaktičkom točkom. Prema definiciji je ona točka analaktička, za koju bi odgovarala udaljenost $E=kL$. Nju dakle dobijemo, ako udaljenost E nanesimo od letve prema instrumentu. Pri tom je L odsječak letve očitani između daljinomjernih niti a k multiplikaciona

konstanta. Označimo li sa F_0 rezultirajuću žarišnu daljinu leća 1 do 3 kod postava na vrlo daleki cilj a sa p razmak daljinomjernih niti, to će biti $k = \frac{F_0}{p}$. Definicija analaktičke točke znači dakle, da odsječak letve iz analaktičke točke ima konstantnu prividnu veličinu $\frac{1}{K} = \frac{p}{F_0}$. Mi možemo na pr. na nitnoj pločici durbina zamisliti

kutno podjeljenje, koje vrijedi za polumjer F_0 . Možemo nadalje zamisliti to podjeljenje proicirano kroz durbin na projekcioni zastor, koji se nalazi na proizvoljnoj udaljenosti, u kojem slučaju toj slici kutnog podjeljenja pripadaju ispravne kutne vrijednosti sa vrhom u analaktičkoj točki. No kompenzator ne vrši niti nikakovu drugu funkciju, već tu da optički dovodi nitni križ uvijek na ono mjesto, koje odgovara nagibu durbina, on nanaša takorekuć na nitnoj pločici kutno podjeljenje. Projekcija kutnog podjeljenja ispravna je promatrajući iz analaktičke točke. Prema tome treba za nagibnu osovinu zamisliti horizontalan pravac okomit na os durbina kroz analaktičku točku.

Za vrijednost nivelira nije naime bitno, da li nagibna osovina leži više ili manje ekscentrično, ako se samo pobrinemo, da vertikalna osovina bude zaista vertikalna sa tolikom točnošću, da u odnosu sa točnošću mjerenja ne nastupi nikakova bitna visinska promjena nagibne osovine. No kako je upliv nevertikalnosti »vertikalne« osovine razmjeran sa ekscentričnošću nagibne osovine, to se nagibna osovina stavlja što bliže k vertikalnoj osovini. Kod Ni2 znači to, da durbin mora biti analaktičan i da povećanje kompenzatora mora biti podešeno kod postava na vrlo daleki cilj.

Ako treba biti postignuta na početku navedena vrlo visoka točnost, to kompenzator mora biti što je moguće više slobodan od trenja. On stoga ne može imati oblik uspravnog čovječuljka, iako je princip isti. U stvari to je jedan zglojni četverokut ABCD (sl. 7). Zglobovi A i B su čvrsto povezani sa kućištem durbina,



Sl. 7

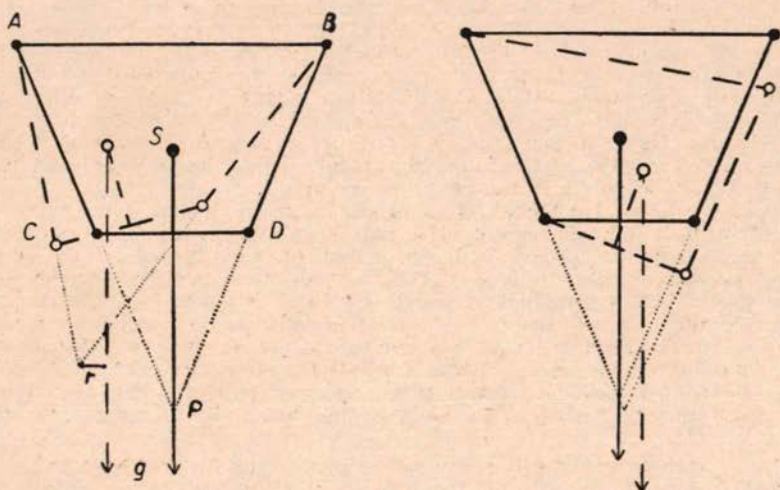
dok je nosač zrcala sa svojim zglobovima C i D obješen sa mogućnosti slobodnog njihanja. Da bi se postigla dovoljna stabilnost u smjeru okomitom na ravninu crteža, izvedena su dva zglobna četverokuta u paralelnim vertikalnim ravninama. Principijelno su mogući i drugi prostorni razmještaji štapova, no u vertikalnoj ravnini paralelnoj sa durbinom mora se uvijek proicirati jedan zglojni četverokut (štapovi AC i BD mogu se u projekciji i križati). Zglobovi su izvedeni na pero, tako da kao smetnja postoji samo nutarnje trenje pera, koje je međutim tako maleno, da dosada nije moglo biti zapaženo u zglobovima kompenzatora.

To maleno trenje zahtjeva s druge strane posebni prigušni uređaj, koji je izveden kao obično zračno prigušenje.

Za razjašnjenje pokreta kompenzatora zglojni četverokut još jednom shematski naran na sl. 8. Težište S čitavog njihalnog uređaja (zrcalo, zrcalni nosač i prigušni valjak) neka leži iznad pravca CD, kao što je to slučaj kod Ni2. Pri njihanju mogu se zglobovi C i D pokretati samo po kružnim putanjama oko zglobova A odnosno B. Kod malenih pokreta može se kružna putanja shvatiti kao tangenta, te se prema tome C i D pokreću na okomicama kroz C na AC odnosno kroz D na BD. Kako je razmak CD konstantan, to se oba zgloba pokreću u prvoj aproksimaciji za jednake dužine. Iz toga slijedi, da si pokret od C i D možemo

zamisliti kao zajedničku rotaciju oko točke P, koja leži na produženju od AC i BD. Mi velimo, točka P je momentanpol za pokret sistema CDS. To rezoniranje vrijedi za proizvoljan položaj titrajućeg sistema CDS obzirom na čvrsti sistem AB (durbin). Ako titrajući sistem izvodi ne »male« pokrete već pokrete konačne veličine, to momentanpol putuje, kako se lako crtežem dade dokazati (crtkani položaj na sl. 8).

U težištu S djeluje sila teža vertikalno prema dolje. Titrajući sistem je u ravnoteži, kada vektor sile teže g , koji ima svoje ishodište u S, prolazi momentanpolom P (kao na pr. u ishodišnom položaju na sl. 8). U crtkanom položaju nije to više slučaj, sila teža prolazi za veličinu r pokraj momentanpola i nastoji titrajući sistem vratiti u ishodišni položaj. Bez daljnjeg je jasno, da je poluga r to manja, što težište leži više iznad linije CD, da postoji određena visina kod koje je $r=0$ (indiferentna ravnoteža), i da kod još veće visine težišta r postaje negativan, u tom slučaju ishodišni položaj predstavlja tek labilnu ravnotežu.



Sl. 8

Ako se čvrsti sistem AB (durbin) naglo nagne za neki maleni kut i zatim opet zaustavi, to si možemo zamisliti, da se to desi na taj način, da u prvi moment štap AC zadrži svoj položaj; tada nastane položaj naznačen crtkanom na sl. 9. Sila teža prolazi sada pored momentanpola i nastoji titrajući sistem dalje zakretati u istom smislu, u kojem se zakrenuo kod promjene nagiba od AB. Na sl. 8 vidjeli smo, da kod sistema, koji se nalaze u stabilnoj ravnoteži, momentanpol pretrpi veći postrani pomak nego težište. Stoga će kod daljnjeg pokreta, koji je bio izazvan promjenom nagiba, momentanpol stići težište, tako da nastupi novi položaj ravnoteže, u kojem titrajući sistem bude primiren uslijed prigušnog uređaja. Već kod prvog dijela pokreta titrajući se sistem uslijed nejednakih dužina AB i CD više zakrene nego čvrsti. K tome pridolazi daljnji pokret titrajućeg sistema, dok se ne postigne novi položaj ravnoteže, čime nakon prestanka pokreta titrajući sistem pretrpi bitno veću promjenu nagiba nego li čvrsti sistem.

Mi možemo predočiti geometrijsko mjesto svih momentanpolova obzirom na jedan čvrsti koordinatni sistem povezan sa AB. Ta se krivulja zove »stojna putanja pola« (Rastpolbahn). Ista se krivulja može odnositi i na jedan titrajući koordinatni sistem, čvrsto privezan sa CDS, čime se dobije »hodna putanja pola« (Gangpolbahn). Pokret se događa kao da se hodna putanja odvija po stojnoj putanji, jer momentanpol pripada stalno obim krivuljama, i kod tog odvijanja momentanpol leži stalno u doticaju obih krivulja. Analogija sa uspravnim čovječuljkom je tada odmah jasna: kod uspravnog čovječuljka je stolna ploča stojna polna putanja (u projekciji pravac), a kuglina kalota hodna polna putanja (u projekciji krug).