

III.

EXTRASE DIN PUBLICAȚIUNILE STREINE



Cercetări experimentale asupra deformației podurilor metalice

(CONTINUARE)

Fiind admis deja că deformațiunea este plană, se face dar, pentru piesele primei grupe, această nouă ipotesă, că reacțiunea unei legături se reduce la o forță longitudinală; se face ast-fel abstracțiune: 1) de reacțiunea-cuplu; 2) de o componentă normală a reacțiunei-forță. Trebu: a observa că se neglijează încă flexiunea complementară sau flambagiu care rezultă, în piesele comprimate, din singura componentă longitudinală. Resistența materialelor arată, în adevăr, că flambagiul n'are loc dacă această componentă rămâne dedesubtul unei oare-care valori; dar exactitatea acestei propuneri este ea însuși subordonată absenței ori-cărei alte cauze de flexiune, ceea ce nu este cazul aci. Eliminarea travaliului de flambagiu este dar, în realitate, o ipotesă distinctă.

În privința grupeii a doa de piese arărată mai sus, teoria nu presupune numai că există flexiune simplă; ea consideră aceste piese numai rezemate pe două puncte cari nu pot exercita nici reacțiune-cuplu, nici reacțiune-forță longitudinală, dar numai o reacțiune transversală, ca și cum legăturile ar avea un aparat de dilatațiune cu șarniere și rulouri. Ipotesa este, în mod evident, destul de neexactă în ceea ce privește longeroanele și întretreazele, de oare ce aceste piese sunt în același timp foarte rigide și, în general, foarte solid legate la extremitățile lor cu alte piese nu mai puțin robuste; este dar evident, *a priori*, că reacțiunile-cuplu, cari se neglijează, trebuie să aibă, din contra o mare importanță. În privința tălpilor, este asemenea o importanță neexactitate, când se descompune în bucăți, neglijând reacțiunile-cuple ale acestor bucăți între ele. Într'un cas ca și în cel'alt, eroarea este de același ordin ca și când s'ar calcula o grindă continuă, ca o grindă cu travee independente. Când ne închipuim din contra, ansamblul celor două tălpi ale unei aceleiași grinzi, ca o piessă unică simplu încovoiată, se presupune că ea n'are de suportat de cât încărcări verticale, făcând ast-fel ab-

stracțiune de reacțiunile-cuplu exersate pe tălpi de către zăbrele; nimic nu probează, *a priori*, că efectul acestor reacțiuni să fie neglijeabil, și este evident că importanța sa depinde de rigiditatea relativă a tălpilor și a zăbrelelor, care s'ar putea face să varieze în mod simțitor fără a modifica rezistența lor propriu dișă.

Într'un studiu recent, D-nu inginer șef Jacquier, reluând o chestiune deja tratată de D-nu Ritter, a căutat a calcula aproximativ prin o metodă de false pozițiune flexiunea transmisă de tălpi pe piesele zăbrelelor; această flexiune ar putea spori travaliul zăbrelelor cu mai mult de 40%. Cu toate acestea calculul este făcut pentru un sistem simplu de zăbrele, și încă de egală rezistență; această a doa condițiune nu se realizează în practică unde travaliul maximum al diferitelor piese este produs de supra-încărcări diferite. În fine, trebuie a admite că, într'o primă aproximațiune, deplasarea nodurilor poate fi presupusă aceeași ca și când niturile legăturilor ar fi înlocuite prin articulațiuni.

Rezultă însă din experiențe făcute asupra podurilor învîrtitoare de la Havre, de D-nii inginerii Eduard și Maurice Widmer, că încărcarea unei osii, se împarte pe mai mult de două întretreaze, și că partea acestei încărcări afectând întretreaza cea mai vecină poate să nu fie de cât 40% din reacțiunea calculată; acest rezultat este suficient pentru a anihila formulele usuale ale calculului întretreazelor, și arată că postulatul de mai sus este cu totul inacceptabil în ce privește longeroanele.

Nu cunoașcem altă verificare experimentală relativă la această a patra grupă de ipotesă.

5. Supozițiunile de la No. 3 și 4 reunite conduc, când se clasează tălpile în piesele neîncovoiate, a nu face nici o distincțiune între un tablîer nituit și acela în care toate piesele (longeroane, întretreaze, zăbrele, porțiuni de tălpi) ar fi liber articulate la toate rosturile. Deformarea unui sistem articulat supus la încărcări

date, se poate riguros calcula, admitând, bine înțeles, ipotezele No. 1 și 2 și neglijând efectele de flambagiu: aceasta este o problemă a cărei soluțiune generală a fost dată de Clebsch.

Când sistemul de zăbrele nu comportă piese țe supraabondente, adică în cazul când ecuațiunile statice sunt suficiente pentru a determina reacțiunile la punctele de legătură, calculul este foarte simplu. În cazul general, cel mai frecuent în practică, el este mult mai lung, și cu atât mai mult cu cât numărul încrucișărilor este mai mare. Când sistemul de zăbrele este de tipul foarte întrebuițat, în care crucile Saint-André alternează cu montanți verticali, acest calcul este tot-d'auna abordabil, și nu fără interes, când este vorba de proiecte foarte importante; ast-fel a calculat D-nu inginer șef Moise grinzele principale ale viaducului de la Rance, formate fie-care de trei-spre-șee panouri de tipul indicat, cu talpa superioară convexă. Ecuațiunile lui Clebsch admit în acest cas simplificațiuni interesante, rezultând din forma particulară a sistemului de zăbrele, și formulele simplificăte se pot stabili direct prin elegante considerațiuni de geometrie infinitesimală.

Dar, în general, nu ne mărginim la această analiză și se simplifică calculul zăbrelelor admitând că toate porțiunile acestor piese întâlnite de aceeași perpendiculară la cale, suportă eforturi egale în valoare absolută; urmează imediat că travaliul barelor înclinate și acela al tălpilor se obține multiplicând respectiv prin coeficienți cunoscuți forța forfecătoare și momentul de flexiune datorite supra-sarcinei. Devine atunci indiferent a classa tălpile printre piesele încovoiate, sau porțiunile lor printre piesele neîncovoiate; rezultatul este același în ambele casuri. Neexactitatea acestei ultime ipoteze se manifestează când se face calculul exact al sistemului articulat; ast-fel, la viaducul de la Rance, s'a recunoscut că ea atenua în mod simțitor travaliul barelor vecine cu culeele. Ea are, de alt-fel, consecinți imediate, cari nu s'ar putea admite: nulitatea constantă a travaliului barelor verticale, discontinuitatea posibilă a efortului longitudinal într-o aceeași porțiune de bară, etc. Se pare totuși că n'a fost nici o dată supusă controlului direct al experienței.

6. Afară de ipotezele pe cari le enumerăm și cari se aplică la toate tipurile de grinzi metalice, sunt altele cari sunt speciale casului de travee solidare. Nu că nu există, în teorie, proceduri permițând a calcula momentele de flexiune și forțele forfecătoare într-o grindă continuă, ori cari ar fi supra-încărcările și variațiunile secțiunei; aceste proceduri ale căror principii sunt stabilite de mult sunt astă-și desvoltate în uvrajele clasice; dar cum ele ar conduce, în practică la calcule foarte lungi, nu se obișnuște a le întrebuița și se presupune că secțiunea grinzilor este constantă; momentele de flexiune și forțele forfecătoare determinate în această ipoteză servă în urmă a calcula secțiunea variabilă ce se va da real grinzilor. Până în timp din

urmă, să presupunea că supra-încărcarea este uniform distribuită în tot lungul fie-cărei travee încărcată; întrebuițarea formularului și epurelor tip ale lui Bresse făcea calculul foarte repede. De la promulgarea ultimului regulament relativ la podurile metalice, inginerii au căutat a se scăpa de această ipoteză, ajutându-se cu statica grafică. Dar complicațiunea epurelor este ast-fel în cât se renunță a le stabili pentru toate pozițiunile supra-încărcării cari ar fi utile de considerat (pozițiuni cari, de alt-fel, nu se pot determina *a priori*); ne dăm ast-fel multă casnă pentru a trece de sigur alături de scopul ce ne propunem. Dar acestea sunt cauze de erori secundare în comparațiune cu ultimul grup de ipoteze gratuite despre cari ne rămâne de vorbit.

7. Acestea sunt ipotezele ce surtem obligați a face pentru a assimilia încărcările rulante pe care uvrajele au a le suporta cu încărcările moarte. Formulele de rezistența materialelor nu se adresează de cât la construcțiuni în echilibru, sub aplicarea încărcărilor fixe dar observațiunea din toate zilele probează că chiar sub cele mai mici iteli realizabile, tablierele intră în vibrațiune la trecerea trenurilor; această mișcare vibratorie atestază existența unor forțe de inerție considerabile care și schimbă sensul de mai multe ori pe secundă și se suprapun, la fie-care moment, încărcării actuale. Importanța acestui fenomen pare a spori cu itueala trenului. Din contră, făcând abstracțiune de mișcările vibratorii, această itueală, reducând durata de acțiune a supra-încărcării; trebe a tinde la reducerea efectelor sale. Este dar dificil a prevedea în ce sens și, *a fortiori* în ce proporțiune deformațiunea static datorită unei supraîncărcări determinate va fi modificată când această supraîncărcare va lua o itueală dată. În fapt, cu toate numeroasele și remarcabilele cercetări teoretice, nici o doctrină nu s'a putut stabili asupra acestei chestiuni capitale, a cărei importanță, creșce din și în și cu itueala și masa trenurilor. Prudență obligă dar pe constructori, în absența ori cărei indicațiuni precise, fie a majora într-o proporțiune arbitrară valoarea reală a supra-încărcărilor, la cari tablierele trebe a rezista, fie a scobori, din contră, în mod nu mai puțin arbitrar, limitele hotărâte pentru travaliul diferitelor piese.

În spiritul cător-va ingineri, acest coeficient de prudență este motivat prin rațiuni de un ordin cu totul diferit; ei admit că o deformațiune des repetată, ori cât de slabă ar fi și ori cât de încet operează, micșorează, cu timpul rezistența metalului. Această presupunere se bazează pe experiențele, adesea citate, ale lui Wöhler, în cari niște osii s'au rupt sub aplicarea repetată a unei încărcări inferioară limitei de elasticitate primitivă a metalului. Dar nu se pare că aceste experiențe să fi fost dispuse în așa mod în cât să evite forțele de inerție, adică aplicând încărcarea fără itueală apreciazabilă; se pare, din contră, că s'a voit, prin repede variațiune a eforturilor, să se realizeze condițiune

nile de serviciu ordinare ale ossiilor. Dacă este astfel, efortul maxim, superior încărcării, a putut întrece limita de elasticitate, și repetarea sa să aducă ruptura fără alterarea necesară a rezistenței materialelor. În cazul contrar fenomenele observate ar fi încă explicabile admitând, după cum se propusese anterior, că eforturile cele mai mici produc o deformare permanentă. Aceste mici deformări acumulate ar fi prin a atinge lungirea de ruptură caracteristică a metalului. Dar fi va pentru aceasta legitim a aplica la poduri formule empirice verificate asupra unor ossii?

Fie că coeficientul de prudență vizează efectul de inerție, sau acela de repetițiune, sau aceste două efecte împreună, el are, în fapt, o valoare în general considerabilă, și tendința sa actuală este d'a se mări. Importanța acestei corecțiuni cu totul arbitrară, adusă la calcule adesea lungi și minuțioase, face să se simtă cât de preferabilă ar fi în această materie simplitatea metodelor în lipsa exactității.

Enumerând, după cum am făcut, punctele slabe ale teoriei, scopul nostru nu este d'a o discredită; am voit numai a pune pe cititor în pozițiune d'a judeca dacă trebuie să comptăm numai pe densă, după cum s'a făcut, cu oare care motiv, până astăzi, pentru a trage calea progresului în materie de construcțiuni metalice.

Dacă ne raportăm la începutul acestui articol, unde sunt expuse un număr destul de mare de chestiuni pe cari calculul nu le a putut rezolva, se va observa că diferitele piese ale tablierului sunt considerate aici nu în mod izolat, ci în rapoartele-lor cu restul construcțiuni. Parcurând apoi seria ipoteselor, servind de baza teoriei, vedem că cea mai mare parte, cel puțin ipotezele 2, 3, 4, și 5 apar ca și cum ar fi combinate în vederea d'a isola piessa de calculat, neglijând relațiunile sale cu piesselle streine ori de câte-ori aceste relațiuni nu sunt ușor de exprimat. Vedem astfel că problemele la ordinea zilei astăzi în stabilirea lucrărilor metalice nu par abordabile numai prin calcul, afară de cazul când renunțăm la sus-citatele postulate.

Supresiunea ipoteselor despre cari este vorba, este teoretic realizabilă: se poate închipui perfect posibilitatea d'a edifica o *teorie a sistemelor nituite* care ar fi perechea teoriei sistemelor articulate a lui Clebsch, și în care s'ar ține socoteală de reacțiunea-cuplu precum și de componentele transversale ale reacțiunii-forță pe care o piessă le încearcă la extremitățile sale; ecuațiunile de echilibru ale pieselor ar fi stabilite de altă parte, admitând că ea se deformează în toate sensurile. Dacă se caută a se determina în aceste condițiuni deformățiunea sistemului dat sub forțe exterioare cunoscute, se ajunge la o grupă de ecuațiuni în cari cantități necunoscute nu figurează de cât în primul grad și a căror rezolvare nu oferă teoreticește nici o dificultate. Dar, în practică, calculul ar fi inextricabil chiar pentru tablariile cele mai simple, din cauza numărului considerabil al necunoscutelor, din cari mai multe figurează în fie-care ecuațiune.

Dacă vre-o dată această teorie, care este singura exactă, poate fi făcută utilizabilă, se poate conjectura că aceasta va fi procedând pe cale de corecțiuni successive; acesta este procedul familiar astronomilor când întâlesc dificultăți de acest fel. Dar, admitând că această problemă ar fi rezolvată, deformățiunea unei piese dată ar comporta astfel un număr destul de mare de corective, corespunzând acțiunilor diverse ce s'ar fi neglijat într'o primă aproximațiune; pentru a ști cari din acești termeni ar fi util a'i calcula, ar trebui să avem o idee de importanța lor respectivă, și nu ne putem închipui că această noțiune s'ar putea căpăta alt-fel de cât pe cale experimentală.

În ori-ce caz, ar rămâne să se țină socoteală de efectul dinamic al supraîncărcării și asupra acestui punct, teoria este așa de departe d'a fi făcută, în cât nu se poate nici de cum prevedea cum va fi ea edificată. Aci mai cu seamă ea nu va putea de sigur să nu recurgă la ajutorul direct al experienței.

Se pare dar că în punctul unde sunt teoria și practica, calculul, ca instrument de cercetare, ne mai puțin pretinde la simplitatea care erea principalul său merit, va trebui să cedeze pasul, cel puțin timporar, metodei experimentale, al cărei interpret este; nu numai experienței de cabinet, făcută pe piese izolate, simplitate și reduse, dar mai cu seamă experimentațiunile directe, măsurile deformățiunilor chiar asupra uvravelor, cu trenuri în mers, fie în momentul încercărilor, fie în serviciu. Astfel practică, metoda experimentală oferă resursele cari tocmai lipsesc calculului; mai întâiu certitudinea, apoi caracterul sintetic. Calculul analizează deformățiunea; el nu coprinde de cât o piessă și în această piessă un fel particular de travaliu; din contră, a măsura deformățiunea pe o parte dintr'un uvrugiu, înseamnă, în unele privințe, a experimenta uvrugiul întreg: nici una din cauzele cari concură la această deformățiune, nu rămâne la o parte, când se provoacă fenomenul, și măsura sa are caracterul unei sintese complete la care calculul n'ar putea viza.

Din contră, un rezultat izolat de experiență nu are aceeași generalitate ca un rezultat de calcul; de unde necesitatea d'a multiplica operațiunile cu circumstanțe variate înainte d'a formula o lege. Dar, din fericire, condițiunile în cari se stabilesc uvragele metalice se pretează în mod admirabil unor serii de experiențe ori cât de numeroase s'ar dori; lucrările reglementare, în particular, pun în mâinile inginerilor resurse puternice pe cari n'au de cât a le întrebuința, și dacă se gândește cine-va la cheltuiala ridicată, ce are în general loc pentru reunirea materialului necesar acestor încercări, și la mulțimea de informațiuni practice pe cari ele permit a le aduna, se va găsi că ar fi regretabil a nu trage din ele tot folosul posibil pentru a cunoaște adevăratul mod de deformățiune a fie-cărui uvrugiu încercat. Dupe aceea, în serviciu, experimentato-

rul este mai puțin liber, mai cu seamă pe căile ferate, dar măsurile care se pot lua la trecerea trenurilor regulate compensează micul lor număr prin interesul lor practic și caracterul lor de documente vii; și dacă ele relează fapte pe cari ar fi util să studieți în liniște trenurile de materiale ne dăm mijlocul de a face aceasta.

În sens invers cu calculul care procedează piessă cu piessă, experimentațiunea va proceda dar uvragiu cu uvragiu, și prima sa etapă va fi *monografia tipurilor*. Când deformațiunea unui tablîer construit pe un tip dat va fi fost determinată în toate organele sale sub acțiunea încărcărilor vii, pe cari el este chemat a le suporta, poate nu se va putea încă formula legi aplicabile la alte tipuri, dar, de sigur, se va putea ști cum trebuie a corecta proporțiunile date diferitelor organe ale acestui tip particular, pentru a distribui metalul într'un mod cu totul rațional. Aceasta este un rezultat practic a cărui importanță nu va putea fi negată și al cărui profit se va putea culege imediat la construcțiunea altor uvrage de același fel. Este însă permis a spera, că, într'un viitor ce-va mai depărtat, comparațiunea diferitelor tipuri studiate ast-fel vor da naștere la inducțiuni de natură mai generală, și că legile ast-fel descoperite se vor putea traduce direct în formule mai exacte, peate în același timp și mai simple de cât acelea de astăzi.

Monografia tipurilor reprezintă, ea singură, o sarcină considerabilă. Noi ne-am propus a contribui, în măsura resurselor noastre, operând asupra a diferite uvrage pe cari le-am construit în ultimii ani. Ne propunem încă a face cunoscute rezultatele câștigate acum în cercetări începute de trei ani. Ele vor părea, fără îndoială, foarte incomplete, căci primele noastre încercări n'au reușit din cauza lipsei de instrumente precise, și operațiunile ulterioare au fost turburate de numeroase tatonamente. Sperăm cel puțin că cu procedurile de investigațiuni ce am căutat a crea sau a perfecționa, inginerii vor putea face, în viitor, nișe serii de măsuri mai complete și mai interesante.

Vom începe dar a explica metoda de experimentațiune urmată, a descri instrumentele a căror întrebuintare o comportă, precum și modul lor cel mai practic de instalare, și a arăta cum trebuie a interpreta indicațiunile lor

Vom da în urmă, discutându-le, rezultatele cele mai bine stabilite ale măsurilor făcute asupra fie-cărui uvragiu experimentat.

Caracterele deformațiunilor din punctul de vedere al măsurii lor. — Deformațiunea în serviciu a unui tablîer metalic este rezultanta unei deformațiuni permanente, datorită gravitației și circumstanțelor montațiunii, și a unei deformațiuni temporare produsă de încărcările rulante și accesoriu de vânt și de mișcările de temperatură

Deformațiunea permanentă scapă ori-cărei constatări directe pentru uvragele în serviciu. Pentru a o măsura

asupra unui uvragiu în construcțiune, ar trebui să se ridice exact forma fie-cărei piese înainte de montarea sa, apoi după montarea completă și punerea la loc a tablîerului. Dar se poate aprecia indirect deformațiunea datorită gravitației în grințile principale ale unui pod în serviciu studiind pe aceea pe care o produce uă încărcare moartă uniform distribuită, și multiplicând rezultatele observate prin raportul greutatei tablîerului către acela al supra-încărcării. De altă parte, deformațiunea permanentă a întretreazelor și longeroanelor este evident neînsemnată. Pentru aceste motive n'am operat direct de cât asupra deformațiunilor temporale.

Acest fenomen se traduce, în împrejurimile unui punct al șarpantei metalice, prin uă deformațiune locală și uă deplassare. Deformațiunea locală constă într'o dilatațiune sau uă contractiune proporțională, de intensitate neegală după diferitele direcțiuni eșite din punctul considerat; aceasta este, afară de un factori ceea ce rezistența materialelor numește „travaliu“. Cât despre deplassare, ea implică uă translațiune după trajectul punctului considerat și uă rotațiune în jurul acestui punct; și una și cea-altă cere trei parametre pentru determinarea și ea și poate fi descompusă după trei direcțiuni fixe. Ast-fel, într'un punct al unei tâlpi se va considera trei deformațiuni lineare, adică:

1. O translațiune verticală, săgeata tablîerului în acest punct;

2. O translațiune laterală sau deport;

3. O translațiune longitudinală, deplassare spre reazemul mobil al grindei dacă este vorba de talpa inferioară

Și trei deformațiuni unghiulare:

1. O rotațiune longitudinală, înclinarea grindei în punctul studiat;

2. O rotațiune transversală sau *devers*;

3. O rotațiune orizontală.

Aceleași deformațiuni elementare se pot studia într'un punct al unei piese oare-care a tablîerului; dacă de alt-fel voim a estima aceste deformațiuni intru cât sunt proprii acestei piese, trebuie a le raporta, nu la axe fixe, dar la niște axe mobile cu însă-și piessa; ast-fel torsiunea unui montan vertical este diferența rotațiunilor orizontale măsurate la extremitățile sale; săgeata proprie a unei întretreaze în mijlocul său este diferența între săgeata totală a tablîerului în acest punct și mijlocul săgeților la extremitățile întretreazei.

Încercările de măsurare a deformațiunilor întreprinse până în ultimii ani au considerat, după cunoștința noastră, numai două elemente: deformațiunea locală și săgeata. Uă singură măsură, aceea a săgeței, a fost făcută obligatorie. Deformațiunea locală este de sigur mai utilă de cunoscut; ea fatigă metalul și poate produce ruptura. Dar săgeata este mai ușor de observat. Sub supra-încărcarea de încercare, uă travee izolată se încovoae în mijlociu cu $1/2000$ din deschiderea sa, sau

un centimetru pentru o deschidere de 20 metri; în aceleași condiții, travaliul maximum la celei mai mari părți din piese nu va varia de cât cu 2 kilogr. pe milimetru pătrat, ceea ce corespunde la deformațiune locală de oă decime dintr'un milimetru pe metru curent; cantitatea de măsurat este dar cam de o sută de ori mai mică în cazul al doilea, dacă se operează (ca de ordinar) asupra unui metru de lungime, și mai mică încă dacă suntem forțați a reduce dimensiunile aparatului de măsură. În fapt, dacă prin procedurile de altă dată, săgeata de încercare statică în mijlocul de săgeți grinzi mai mari de 10 metri deschidere s'ar determina cu aproximație de 20%, nu s'ar putea țice tot ast-fel despre măsura travaliului. Ast-fel, ridicările de săgeți date de diferiți ingineri sunt dacă nu concordante, cel puțin conciliabile (nu vorbim de cât despre săgețile statice), pe când încercările de măsură a travaliului publicate până acum presintă contradicțiuni pe cari chiar autorii le-an semnalat de cele mai multe ori. În această stare a chestiunii, administrațiunea superioară s'a abținut a impune, cu măsura directă a travaliului, întrebuițarea unor aparate de oă exactitate cel puțin suspectă; și cum, cu toate acestea, necesitatea de a introduce oă verificare experimentală a gradului de importanță a eforturilor locale, era unanim recunoscută, măsura săgeței a fost adoptată ca un control al acestor eforturi, de sigur foarte indirect dar recomandabil prin facilitatea sa relativă.

La această epocă, nu fusese nici o dată vorba d'a determina deformațiunile unghiulare; abia sunt menționate în tratatele de rezistență, ca un intermediar inevitabil în calculul săgeților. Dar se întâmplă că această măsură este incomparabil mai lesne și mai exactă de cât cea a săgeților: ea convine, în adevăr unui procedeu optic de o extremă precisiune, aplicabil la toate casurile, și necerând, pentru a țice ast-fel, nici o instalațiune prealabilă. Cunoașcerea deformațiunilor unghiulare nu este mai puțin utilă de alt-fel, de cât aceea a diformațiunilor liniare; în particular înclinarea pe care o ia o grindă pe readețele sale este în corelațiune, de sigur mai puțin depărtată de cât săgeata mediană, cu travaliul metalului.

Din aceste diferite considerațiuni, ni s'a părut a resulta:

1. Că problema capitală în studiul deformațiunilor fiind tot d'una măsura travaliului local, ar fi nemerit a aduce, aparatelor întrebuițate mai înainte la această măsură perfecționările necesare, pentru a face întrebuițarea lor practică și demnă de încredere;
2. Că măsura săgeților, făcută obligatorie de regulamente, ar trebui să facă obiectul unui studiu special;
3. Că câmpul de cercetări, nu mai puțin interesant și cu totul nou, oferit de deformațiunile unghiulare, nu trebuie a fi lăsat la oparte.

Toate deformațiunile fiind funcțiuni de timp, problema măsurii lor nu găsesce soluțiunea sa completă de

cât în *înregistrare*. Noi am realizat-o pentru deformațiunile grupeii a doua și o parte din ale celei d'a treia.

Să abordăm acum descrițiunea procedurilor aplicate la fie-care grupă de măsuri, începând cu cele mai ușoare.

1 **Măsura deformațiunilor unghiulare** — Principiul acestei măsuri este din cele mai simple, să presupunem că este vorba a determina *înclinarea pe rează* a unei grinzi principale, adică deviațiunea, într'un plan vertical paralel cu calea, care se produce într'un punct al secțiunii transversale făcută d'asupra unei culee, pe verticala axei șarnierei aparatului de dilatațiune (fig. 1). Se va fixa pe talpă, în punctul conside-

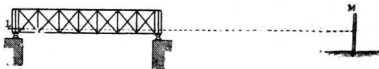


Fig. 1

rat, o lunetă orizontală. L paralel cu calea, visând o miră verticală M așezată la distanță: diferența citirilor pe miră înainte și după încărcare, divizată prin distanța de la miră la axa de rotațiune, va da valoarea unghiului căutat.

Deviațiunea particulară definită mai sus este în general, cea mai mare din toate câte se produc într'un tablier. Valoarea sa maximă sub supra-încărcarea de încercare este în mijlocii de șapte la opt minute; raportul dat prin operațiunea de mai sus, care este raportul arcului către rađa, are drept valoare corespunzătoare aproape două miimi; pe o miră așezată la o distanță de 100 metri, deplassarea rađei viziuale este ast-fel cam de 70 centimetri.

Am presupus luneta orizontală pentru că aceasta este, în general, pozițiunea cea mai comodă, se poate opera, dacă dispozițiunea locurilor arată că ar fi mai avantajos, cu o lunetă înclinată (fig. 2); trebuie atunci,

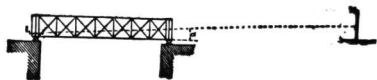


Fig. 2

dacă unghiul α este foarte considerabil să se împartă citirea prin $\cos. \alpha$. Dar este de ajuns ca $\alpha < \frac{1}{5}$ pentru ca: $1 - \cos. \alpha < \frac{1}{80}$ și atunci corecțiune este inutilă în practică.

Se va observa, de altă parte, că asemenea nu este necesar a fixa luneta direct pe talpa de studiat; este suficient ca luneta să fie făcută solidară cu această talpă și se poate da suportului intermediar forma și dimensiunile ce vom voi pentru a face luneta accesibilă ochiului, și pentru a degaja linia de visă.

Să presupunem acum că vom a măsura înclinarea talpei, tot într'un plan vertical paralel cu calea, dar în tr'un punct oare care P al deschiderii. Dacă am opera în același mod ca d'asupra reazemelor, citirea pe miră

ar cuprinde o eroare egală cu săgeata luată de tablier în punctul P ; s'ar putea determina această săgeată separat prin procedurile indicate mai departe; dar este preferabil a o elimina, operând în modul următor: în loc de o miră unică, se va dispune două mire M și M' (fig. 3) la depărtări neegale D , D' , dar amândouă în



Fig. 3

câmpul lunetei, așa în cât, să poată fi vizate de o dată. Dacă H și H' sunt deplasările reticulului, observate pe aceste două mire, avem evident ca măsură a unghiului căutat:

$$\omega = \frac{H' - H}{D' - D}$$

ori care ar fi valoarea lui PP' . Se va observa că nu numai această translațiune verticală PP' , dar translațiunile horizontale ce poate încerca punctul P în cele două direcțiuni paralelă și perpendiculară pe cale, sunt fără influență asupra citirii.

În locul deviațiunii în planul vertical paralel cu calea, ne putem propune a măsura deviațiunea tâlpilor grinziilor principale într'un plan orizontal. În acest scop, se fixează în punctul studiat o lunetă orizontală paralel cu calea, și se vizează de o dată două mire orizontale perpendiculare pe cale: direcțiunea lunetei elimină efectul translațiunii punctului studiat paralel cu calea, și întrebuițarea a două mire elimină efectul translațiunii orizontale care se poate asemenea produce în sensul transversal. Cât despre translațiunea verticală, ea nu alterează citirile.

În fine se poate determina unghiul de deviațiune a tâlpei într'un plan transversal pe cale; această măsură se efectuează cu o lunetă orizontală dirijată transversal și visând două mire verticale.

Deviațiunea totală sau rezultantă a tâlpei, într'unul din punctele sale, este astfel determinată prin componentele sale în trei planuri ortogonale, și anume: planul orizontal și planurile verticale paralel și transversal căei; și această determinare este independentă de mișcarea de translațiune imprimată punctului studiat, ori-care ar fi direcțiunea acestei mișcări.

Aceleași proceduri se aplică fără modificare la măsura componentelor deformațiunii unghiulare a întoarcerilor și longeroanelor, precum și a montanților verticali ai grinziilor principale. Cât despre barele înclinate, este preferabil a raporta deformațiunile la planurile ortogonale paralel și perpendicular la fibra neutră a piesei, și care conduce a întrebuițarea mire înclinate

paralele sau perpendiculare la această fibră. Nu trebuie a perde din vedere că unghiurile astfel obținute sunt raportate la direcțiuni fixe; dacă vom a cunoaște unghiul de flexiune sau de torsiune proprie, care se produce între cele două secțiuni ale unei piese, trebuie a face diferența măsurilor corespunzătoare la cele două secțiuni.

Luneta de întrebuițat este o lunetă de nivel ordinară. Modul de fixare este de o mare simplitate; luneta este prinsă într'un inel prins de piesa de studiat printr'un șurub de presiune; singura precauțiune de luat este a interpune în piesa de strâns o placă de cauciuc vulcanizat, pentru ca trepidațiunea tablierului să nu poată deranja aparatul; de alt-fel această deranjare este foarte rară, și dacă s'ar produce, am fi înștiințați prin neîntoarcerea reticulului la pozițiunea sa inițială pe miră, după depărtarea supra-încărcării. După pozițiunea piesei de studiat, orientarea lunetei variază, precum și distanța minimă la care ea trebuie să se afe de piessă pentru a degaja linia de visă; am fost ast-fel conduși a fabrica mai multe modele de port-lunetă.

Fig. 4 reprezintă două din aceste modele potrivite

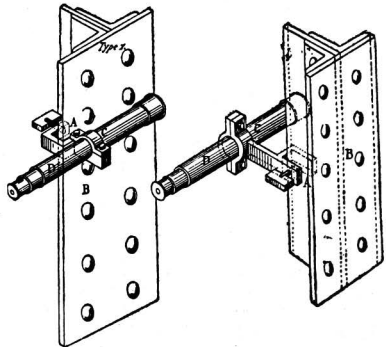


Fig. 4

fi-care pentru unele cazuri determinate. Cel din figura 5 este un port-lunetă dis universal, în care orientarea lunetei este arbitrară, și care se adaptează la piese cu po sițiune foarte variată.

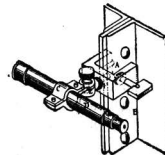


Fig. 5

Toate aceste pot-lunete servă la măsurarea deviațiunii piesei studiate într'un punct precis: punctul A unde se pro-

duce strângerea (fig. 6). Este adesea interesant a mă-

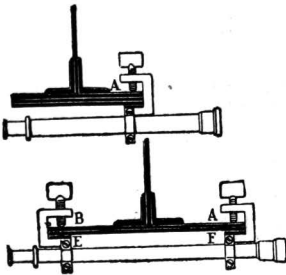


Fig. 6 și 7.

sura deviațiunea mijlocie între două puncte A și B; se întrebuințează atunci o dispozițiune ca aceea din figura 7; plăcile de cauciuc EF au ca dublul rol a împiedica deranjarea scărilor de strângere și a permite celor două inele de strângere a se orienta fără a strica țeava lunetei; nu sunt în realitate de cât două puncte de fixare vîrfurile șuruburilor de strângere A și B.

Montagiul unei lunete de nivel în aceste condițiuni nu cere de cât câteva minute, și cum se găsește totdeauna la îndemână mai multe din aceste instrumente într'un serviciu de lucrări, este ușor a multiplica citirile și a ridica unghiuri multe în puțin timp. Această metodă este dar foarte economică, din dublul punct de vedere al personalului și al materialului.

Cât despre precisiunea sa, ea este cu atât maimare cu cât aparatul nu comportă nici un mecanism; experiența probează că reticulul revine continuu la pozițiunea sa inițială pe miră; nu este dar nici o cauză de eroare apreciabilă provenită din modul de fixare al lunetei, și aproximațiunea măsurilor este atât de mare cât permite exactitatea citirei pe miră. Dacă operatorul apreciază milimetrul la o distanță de 100 metri, eroarea absolută va fi limitată la un unghi de $\frac{1}{100000}$ și eroarea relativă la $\frac{1}{1000}$, dacă deviațiunea de măsurat are o valoare mijlocie de $\frac{1}{1000}$. În practică aceasta este mai mult de cât necesar, și o aproximațiune de $\frac{1}{10}$ este de ajuns pentru a pune în evidență faptele utile de cunoscut.

Procedul de măsură a deformațiunilor unghiurilor pe care l' descrierăm are totuși un defect: și anume nu convine pentru înregistrarea în funcțiune de timp. Este însă foarte ușor a înregistra înclinarea pe reazeme a grinților principale, care este dupe cum am dîs, cea mai mare din toate deformațiunile. O vargă metalică în formă de V culcat, de 1 metru la 1^m,50 lungime, este bulonată la extremitatea grindei, pe cu-

leea unde se află reazemul fix (fig. 8). Deplassarea ver-

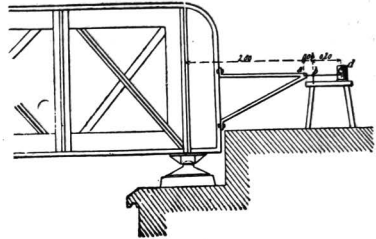


Fig. 8.

ticală a extremității libere a acestei vergele, proporțională cu înclinarea grindei pe reazemul său, este amplificată cu ajutorul unei mici pârghii abc articulată la varga pivotului fix b, și a cărei extremitate opusă c, prevădută cu un condei, efectuează înregistrarea săgeților. Se va observa că instalațiunea sa este tot dauna posibilă și ușoară, și rămâne simțitor aceeași ori-care ar fi tablierul. Măsura săgeței, după cum vom vedea, nu presintă aceste avantagii în același grad; de altă parte înclinarea sub încărcarea de încercare variind puțin de la un tablîer la altul, cu toată diferența de deschidere, diagrama sa constituie un element mai caracteristic al fatigiei metalului de cât săgeata de încărcare, foarte variabilă cu deschiderea.

O dispozițiune analogă ar permite a înregistra tot la extremitatea grindei, fie deviațiunea orizontală, fie deviațiunea transversală. În primul caz, varga ce comandă pârghiei rămâne ca în figura 8, dar pivotul pârghiei este făcut vertical și axa cilindrului orizontală; în cazul al douălea, varga este așezată transversal, înregistratorul rămânând dispus ca în fig. 8.

Măsura săgeților.—În măsură deformațiunilor unghiulare, se poate dice că precisiunea nu costă nimic. Același lucru se întâmplă cu măsura săgeților când este vorba de tablîere situate la o înălțime moderată deasupra solului accesibil. Dacă aceste două circumstanțe, nu sunt realizate, nu se va obține o exactitate comparabilă cu cea a procedurilor descrise mai sus de cât cu prețul unor instalațiuni ceva mai complete. Dar această exactitate nu este necesară de cât pentru studiul aprofundate cari nu se vor face de cât asupra câtorva uvraje alese ad hoc; pentru celelalte uvraje, ne vom putea mulțumi cu o precisiune ceva mai mică, cea ce va permite a simplifica operațiunile. Suntem ast-fel conduși a trata separat cazul măsurilor de precisiune și acela al măsurilor curente.

Măsuri de precisiune.—Se poate propune a ridica numai lungimea săgeței statice pentru o pozițiune determinată a supraîncărcării, a înscrie maximul săgeței produsă la trecerea unui tren, sau în fine a înregistra variațiunile acestei săgeți.

Măsura săgeții statice.—Vom presupune că vom a face această măsură cu aproximațiune de o sutime.

Când săgeata este mare sau, pentru a preciza, când ea trece de un centimetru, este de ajuns ca eroarea absolută să rămână inferioară unei zecimi de milimetru. Acest rezultat se obține

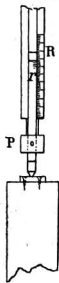


Fig. 9

fără alt instrument de cât o riglă prevădută cu un vernier și lovind contra unui reazem fix. Fig. 9 arată o dispozițiune care este suficientă în cea mai mare parte din cazuri: partea inferioară a riglei **R** poartă o culisă în care se introduce cu frecarea mică o linioară **r** prevădută cu un vernier. Această linioară, încărcată cu greutatea **P**, se termină la partea sa inferioară prin un vârf metalic ce lovește o placă mică de fer în care este practică o gaură conică. Săgeata este egală cu diferența celor două citiri făcute înainte și în timpul supraîncărcării.

O variantă a acestei instalațiuni (fig 10) constă a înlocui rigla de lemn prin o vargă metalică terminată ascuțit. Scobirea vârfului este măsurată cu ajutorul unui suport cu culisă prevădută cu un vernier și legat pe suportul fix.

Este esențială ca extremitatea superioară a riglei sau a vergelei metalice să fie fixată invariabil cu punctul tablierului a cărui deplasare verticală vom a o măsură. În acest scop, ea este înșurubată într-o piessă strânsă pe talpa grindei cu ajutorul unei mici piesse în formă de C (fig. 11).

Când înălțimea tablierului d'asupra solului nu întrece cinci la șase metri, se poate întrebuința fie o riglă de lemn, fie o vergea

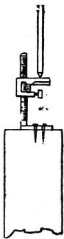


Fig. 10

de fer, a cărei extremitate inferioară poartă vernierul. Pentru o înălțime considerabilă, această transmisie rigidă devine mai dificilă de instalat, și poate fi înlocuită prin un fir metalic încărcat cu o greutate suficientă pentru a-l întinde. Dacă firul este expus la vânt, este necesar al menține vertical cu ajutorul unor trăgători (haubans) de sfoară fixați în diferite puncte ale înălțimii sale, nu trebuie a căuta să resistă vântului prin sporirea gre-

utății întinzătoare, căci ne am expune a determina în fir o lungire progresivă care ar altera indicațiunile vernierului. Un fir de oțel ne recopt de 1 milimetru diametrul, întins de o greutate de 5 la 10 Kilograme, convine în cele mai multe cazuri.

Cât despre reazemul pe care trebuie să lovească releta, el va fi format de o simplă masă dacă solul este accesibil. Dacă trebuie a ne stabili în rîu și partea inferioară a grîndilor nu este la mai mult de douăzeci de metri d'asupra fundului, acest reazem poate fi constituit de un par unic; nu este nici un inconvenient a rezema acest par de tablier și chiar a' lega solid de tablier prin legături orizontale, lăsând liberă mișcarea verticală a tablierului. În aceste condițiuni, parul nu are necesitate a fi bătut: se va pune vârful parului pe fund, și dacă este necesitate, se va înfige puțin făcându-l să se învertească cu mâna ca un par cu șurub. Rigla atârnată, care poate fi atunci foarte scurtă, este în acest caz, fixată de o piessă superioară a tablierului. La încercarea viaductului de la Manoir, lângă Pont-de-l'Arche (linia de la Paris la Havre), s'a întrebuințat sub lacrele din rîu pari de 20 metri lungime cari au luat, cu mâna, uă înfigere de 1 metru în fundul Senei și au resistat la un curent foarte tare; fie-care par era menținut în sensul orizontal după cum arată fig. 12: parul era coprins între două călăuze metalice laterale, traversate la capăt prin un bulon.

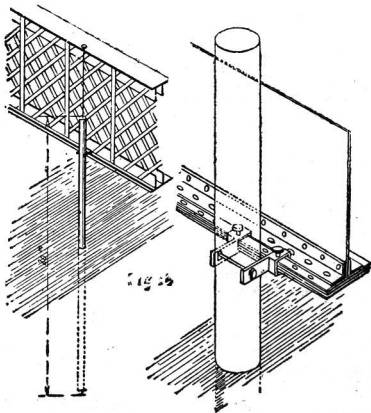


Fig. 12

Avantagiul acestui tip de instalațiune este d'a se putea stabili și înălțura destul de repede, așa în cât, chiar pe cursurile de apă foarte frecventate, serviciile navigațiunii le tolerează prezența în timpul necesar încercărilor.

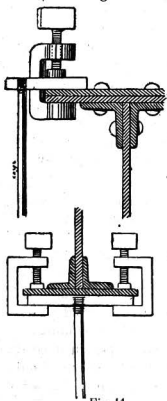


Fig. 11

Dacă partea inferioară a grindilor ar fi la o înălțime mult mai mare deasupra fundului, am putea fi conduși a stabili o platformă pe pale, la un nivel ceva mai sus de cât acela al apei, și această instalațiune s'ar combina cu întrebuițarea unui fir metalic ce s'ar scobori de la tablier până la platformă.

Măsura cu vernier, în condițiunile descrise este practicabilă cu săgeți mai mari de cât un centimetru, dar dedesubtul acestei limite, eroarea relativă este cu atât mai mare cu cât săgeata este mai mică, afară de cazul când facem citirea pe vernier cu ajutorul unei lupe, ceea ce permite a dubla precisiunea aparaturii. Un bun microscop **M** cu picior articulat **P** (fig. 13) este fixat

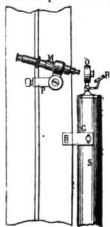


Fig. 13

de tablier și visează un micrometrul obiectiv **O**, așezat pe suportul fix **S** ca și reflectorul **R**: micrometrul aproape vertical, prezintă o linie de reper care taie vertical diviziunile sale; orientarea microscopului și a reticulului nu sunt indiferente, de unde rezultă oare-cari facilități pentru iluminare, care se dă prin transparentă.

Intrebuițarea microscopului cerând tot-d'auna o oare-care obișnuință, va fi adesea avantajos, pentru măsura de precisiune a săgeților mici, a se servi de un aparat special construit în acest scop și care se poate numi *visor cu basculă*. El constă într-o lunetă așezată pe tablier și pe un suport fix (fig. 14): devierea

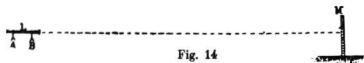


Fig. 14

axei optice a acestei lunete, proporțională cu săgeata, se citește pe o miră verticală așezată la distanță.

Dispositivul este reprezentat în detaliu de fig. 15.

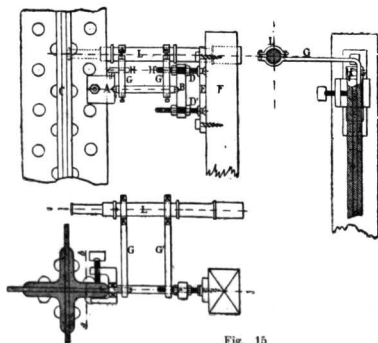


Fig. 15

Varga **AB**, formând basculă, se termină prin două virfuri de oțel călit rezemându-se pe palierole cussineți **A, B** de același metal, cu găuri conice; unul din aceste palierole **A**, este fixat, prin un șurub de strângere, de o piessă a tablierului; cea-laltă, **B**, este făcută solidară, prin șuruburile **D D'**, cu placa **E**, care la rindu-i este așezată cu tirfoane pe stâlful **F** fixat în pământ. Pentru a degaja linia de visă, luneta **L** trebuie a fi depărtată lateral, de aceea este reunită cu bascula prin două piesse cotite **G G'**; greutatea lunetei tinde a face să pivoțeze aceste piesse cu varga, dar brațele lor verticale sunt împedicate de opritorii **H, H'**.

Pentru a pune aparatul în stațiune, se strângă varga **AB** între cussineții săi, acționând piulițele și contra-piulițele șuruburilor **V, V'**, ceea ce pune în joc elasticitatea stîlpului; la trebuință, se poate atrage și el spre tablier cu oă frânghie.

Dacă luneta este orizontală și săgeata *l* destul de mică în raport cu lungimea basculei, avem evident, dacă *d* este distanța de la miră la stâlpl, *h* diferința celor două citiri:

$$f = 1 \frac{h}{d} \quad (1)$$

Pentru a aprecia gradul de aproximație al acestei formule, să numim α (fig. 16) înclinarea primitivă a lui



Fig. 16

netei pe orizon, φ deplassarea sa unghiulară: **AB** venind în **A' B'**, vârful **A** se va deplasa pe verticala **AA'**, și vârful **B** după orizontala **BB'**, vom avea dar riguros:

$$f = 1 [\sin(\varphi + \alpha) - \sin \alpha]$$

$$h = d [\text{tg}(\varphi + \alpha) - \text{tg} \alpha]$$

sau cu aproximație al de treilea ordin :

$$f = 1 \varphi \left(1 - \frac{\varphi^2 + 3\alpha\varphi + 3\alpha^2}{6} + \dots \right)$$

$$\text{și } h = d \alpha \left(1 + \frac{\varphi^2 + 3\alpha\varphi + 3\alpha^2}{3} - \dots \right)$$

de unde:

$$f = 1 \frac{h}{d} \left(1 - \frac{\varphi^2 + 3\alpha\varphi + 3\alpha^2}{3} + \dots \right) \quad (2)$$

Dacă dar ne impunem condițiunea ca φ și α să rămână mai mici de $\frac{1}{20}$, eroarea relativă comisă luând

$$f = 1 \frac{h}{d}$$

va fi mai mici de cât :

$$\frac{1 + 3 + 3}{2 \times 20^3} = \frac{7}{800} < \frac{1}{100}$$

Dar, pentru ca să avem $\varphi < \frac{1}{12}$, este de ajuns ca cu o basculă de 0,20 lungime, săgeata de măsurat să nu intreacă 0,01; și pentru ca să avem $\alpha < \frac{1}{20}$, este de ajuns ca denivelarea vârfulor **A, B** să fie cel mult 0,01 condițiune foarte lesne de realizat la ochiu când se așază șurubul de fixare **A** pe tablier.

Sensibilitatea acestui aparat este extremă; cu o lunetă bună, se poate pune mira la uă sută de metri de tablîer; în aceste condițiuni, deplăssarea raței vizuale pe miră este de 500 de ori săgeata; dacă dar operatorul distinge divisiunile milimetrice ale mirei, eroarea relativă va fi efectiv mai mică cu o sutime pentru orice săgeată mai mare de $\frac{1}{x}$ din milimetru. Unul din avantajele acestei mari sensibilități este de a putea face determinațiuni precise chiar sub încărcări slabe.

Dacă vom a întrebuința visorul cu basculă la măsura săgeților mai mari de un centimetru, vom putea face aceasta, fără a schimba întru nimic exactitatea instrumentului, cu condițiune d'a înlocui formula (1) de mai sus cu formula mai apropiată:

$$f = l \frac{h}{d} \left(1 - \frac{h^2}{2d^2} \right) \quad (1 \text{ bis})$$

dedusă din formula (2), înlocuind φ prin prima aproximație a lui $\frac{h}{d}$ și neglijând $\alpha \varphi$. Trebuie în acest caz, pentru ca mira să rămână în câmpul lunetei, să se lungească bascula și, la trebuință, să se apropie mira.

Când ridicarea tablîerului d'asupra solului nu permite a instala un suport fix la nivelul grinților, întrebuințarea visorului cu basculă se poate combina cu aceea a unei transmissiuni prin fir metalic. Aceste condițiuni se vor prezenta de alt-fel destul de rar, căci, după cum am știș, experiențele de mare precisiune se vor face în general asupra unor uvraje alese *ad-hoc* și oferind toate înlesnirile de instalațiune.

Tradus după *Ch. Rabut* de
Y. N. Papadopol, inginer.

(Va continua).