



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2015

CLAUDE NAVIER – 230 DE ANI DE LA NAȘTERE

Costică ATANASIU

CLAUDE NAVIER – 230 YEARS SINCE HIS BIRTH

In this paper are presented aspects from the technical, didactical and scientifically activity of the most representative personality of the domain of Strength of Materials which even today constitutes a beacon in the development of this engineering domain. Navier has extremely important contributions to the substantiation of the Theory of Elasticity and the development of the Strength of Materials. By theoretical and practical research Navier established the basis for the calculations for resistance and rigidity of straight or curved bars, statically determinate or statically indeterminate. For plane plates Navier established the differential equation of the median deformed and studied behaviour for vibrations.

Keywords: neutral axis, suspension bridge, strength of materials, tension

Cuvinte cheie: axa neutră, pod suspendat, rezistența materialelor, tensiune

1. Introducere

Începuturile Rezistenței materialelor pot fi considerate în epoca renașterii când metodele tradiționale nu mai puteau răspunde nevoilor dezvoltării industriale. În secolele XVII și XVIII în Europa se făceau studii sistematice privind proprietățile mecanice ale materialelor și modulul de comportare a acestora sub sarcini, apăreau primele școli de pregătire inginerească. Galileo Galilei (1564-1642), interesat de comportarea materialelor, stabilește că rezistența barei supusă la

întindere este proporțională cu aria secțiunii și independentă de lungimea ei. În evoluția istorică, Rezistența materialelor a început cu calculul barelor și a continuat cu calculul plăcilor și a corpurilor masive, rezolvate cu ajutorul Teoriei elasticității.

Este meritul incontestabil al unei pleiade de savanți, profesori la Școala Politehnică și la Școala de Poduri și Șosele din Paris, membri ai Academiei: J. Lagrange (1738-1813), C. A. Coulomb (1736-1806), C. L. Navier (1785-1836), S. D. Poisson, A. Cauchy (1799-1857), B. de Saint Venant (1799-1886), G. Lamé (1795-1870), B. P. E. Clapeyron (1700-1864), care au pus bazele matematice și fizice ale Teoriei elasticității și au contribuit la dezvoltarea Rezistenței materialelor. Dintre aceștia se detașează Claude Louis Marie Henri Navier [1], [2], [3], [5], [7], [8] care prin cercetările sale, teoretice și practice, a fundamentat calculul de rezistență al barelor. În cele ce urmează, se prezintă aspecte din activitatea tehnică, didactică și științifică a celei mai reprezentative personalități a Rezistenței materialelor, care și astăzi reprezintă un reper în dezvoltarea acestei discipline ingineresti.

2. Note biografice



Fig.1 Claude Louis Marie Henri Navier

Fondatorul teoriei moderne a elasticității, părintele rezistenței materialelor, Claude Louis Marie Henri Navier, s-a născut la 15 februarie 1785 la Dijon, Franța, tatăl său fiind avocat. La vârsta de 14 ani Navier rămâne orfan și este crescut și educat de unchiul său Gauthey, distins inginer de poduri și șosele. Îndrumat spre studii ingineresti, Navier își ajută unchiul în lucrările personale cu caracter științific. În 1802 este admis ca student la Școala Politehnică din Paris pe care o termină în 1804. Intră la Școala de Poduri și Șosele din Paris pe care o va absolvi în 1808, obținând titlul de inginer.

3. Activitatea didactică

Pentru a se întreține în facultate și datorită cunoștințelor sale superioare în domeniul matematicii și mecanicii, i se încredințează spre a fi predat cursul de Mecanică aplicată, la școala la care era student.

A predat acest curs și ca inginer începând din 1819 ca profesor suplinitor și profesor titular din 1820, iar în perioada 1830-1836 a fost titularul cursurilor de Analiză matematică și de Mecanică la Școala Politehnică [8]. Navier a fost prețuit ca unul din cei mai buni și mai străluciți profesori ai Școlii Politehnice și ai Școlii de Poduri și Șosele, reușind să dea lecțiilor sale o înfățișare didactică pe atunci cu totul nouă, ca fond și ca formă. Ca recunoștință pentru unchiul său, care l-a îndrumat în cariera inginerească, Navier a revizuit și a dat forma finală lucrărilor tehnice ale acestuia, le-a completat cu interesante note personale și le-a publicat: în anul 1813 *Tratatul de construcția podurilor*, în două volume, iar în 1816 lucrarea *Canale de navigație*. Totodată Navier s-a îngrijit de publicarea a două volume de *Arhitectură hidraulică* și *Știința inginerului* ale lui Belidor în 1819, volume care conțin și numeroase adăugiri ale sale. Tot prin grija sa s-a tipărit în 1831 lucrarea de *Analiza ecuațiilor*, elaborată de Fourier.

4. Activitatea inginerească

Navier, după terminarea studiilor, ca inginer, ocupă următoarele funcții tehnice: inginer aspirant între anii 1806-1808, inginer ordinar în 1808, inginer atașat la construcția podului Choisy în anii 1810-1817, inginer clasa I în 1820, inginer șef în 1823, inspector divizionar în 1834.

Navier a participat la realizarea unor construcții importante [5]: podurile peste Sena la Choisy, Asnieres, Argenteuil și la reabilitarea unor cheiuri pe Tibru, la Roma. El nu s-a mulțumit să aplice metodele practice care se utilizau în domeniul construcțiilor, empirismul arhitecților și inginerilor nu-l satisfăceau. Ca profesor de Mecanică aplicată a adunat ceea ce se cunoștea în acest domeniu, a înlăturat teoriile eronate și a introdus metode noi de calcul. Tratatul de inginerie pe care le-a scris conține contribuții deosebit de valoroase stabilite prin considerații științifice și cercetări experimentale proprii. Navier este considerat creatorul staticii construcțiilor. Trimis în Anglia pentru a se documenta asupra construcției podurilor suspendate, Navier abordează calculul lanțurilor, a turnurilor de susținere, al modului de ancorare, studiază efectul vântului, al influenței variației de temperatură și al vibrațiilor asupra structurii. Memoriul întocmit, publicat în 1823 și reeditat în 1830 a servit ca manual, în următorii 50 de ani, inginerilor în construcția de poduri suspendate. Această lucrare a contribuit la alegerea lui Navier ca membru al Academiei de Științe din Paris în 1824, la secția de mecanică.

Ca specialist recunoscut în construcții, lui Navier i s-a încredințat în 1824 realizarea unui pod suspendat cu o deschidere de 155 metri, peste Sena, la Paris, în dreptul Palatului Invalizilor. Mulți arhitecți și Consiliul Comunal nu agreeau construcția acestui pod care ar fi stricat perspectiva palatului. După doi ani de muncă, podul fiind aproape construit, din cauza unor infiltrări de apă de la o conductă de mare capacitate spartă, una din culeele de ancorare s-a mișcat. Fără a se aștepta cercetarea cauzelor care au produs deplasarea și a măsurilor de consolidare, beneficiarul a dispus sistarea lucrărilor și abandonarea acestora, construcția fiind demolată. Navier a fost profund afectat de accidentul produs care putea fi lichidat prin măsuri simple și cu cheltuieli extrem de reduse.

5. C. Navier, întemeietorul Rezistenței materialelor moderne

Navier are contribuții extrem de importante la fundamentarea Teoriei elasticității și la dezvoltarea Rezistenței materialelor [3], [4], [7]. În lucrarea "*Mémoire sur les lois de l'équilibre et du mouvement des corps solides élastiques*", prezentată la Academia de Științe la 14 mai 1821, Navier stabilește legile Teoriei elasticității pentru corpuri izotrope. Navier considera că asupra moleculelor unui corp elastic acționează două sisteme de forțe care sunt proporționale cu variația distanței dintre particule. Unul dintre sisteme reprezintă forțele moleculare care acționează asupra particulei în absența forțelor exterioare, iar un alt sistem de forțe echilibrează forțele exterioare. Exprimând variația distanței dintre două particule adiacente, Navier deduce ecuațiile diferențiale de echilibru ale particulei. Aceste ecuații, care trebuie să satisfacă și condițiile pe contur unde forțele moleculare trebuie să fie în echilibru cu forțele exterioare distribuite pe suprafața corpului, permit determinarea forțelor moleculare care echilibrează forțele exterioare. Aceste considerente și relațiile stabilite au constituit bazele Teoriei elasticității, dezvoltată în continuare de Cauchy, B. de Saint Venant, Poisson ș.a.

În 1826 a apărut prima ediție a cărții sale de Rezistența materialelor "*Resumé des leçons données à l' Ecole de Ponts et Chaussées sur l'application de la Mécanique à l'établissement des constructions et de machines, première section: de la Résistance des corps solides [6]*", curs predat studenților și în care se găsesc o parte din contribuțiile sale în mecanica corpului deformabil. Tratănd problema barelor prismatice solicitate la întindere sau compresiune, Navier arăta că pentru a defini caracteristicile mecanice nu este suficientă

cunoașterea rezistenței la rupere a acestuia, ci este strict necesară cunoașterea modului de elasticitate longitudinal „E” pe care-l definește și îl determină experimental pentru oțelurile pe care le utiliza la construcția de poduri. În cazul solicitării de încovoiere Navier, plecând de la constatarea lui Bernoulli și Euler că expresia curburii într-un punct al axei grinzii este proporțională cu momentul încovoietor care a produs-o, adică,

$$\frac{1}{\rho} = M \quad (1)$$

unde:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{w'''}{[1+(w')^2]^{3/2}} \quad (2)$$

neglijază, pentru cazul deformațiilor foarte mici în domeniul elastic, termenul $((w')^2)$ considerând că $((w')^2 \ll 1)$, obține ecuația fibrei medii deformată:

$$w''' = \frac{M}{EI} \quad (3)$$

Navier, pentru cazul grinzilor prismatice solicitate la încovoiere pură, stabilește relația care-i poartă numele în literatura de specialitate,

$$\sigma = \frac{M}{I} z \quad (4)$$

Relația lui Navier arată distribuția tensiunilor normale într-o grindă solicitată la încovoiere pură, reprezentând baza calculelor care se fac pentru această solicitare. Aceasta a fost stabilită folosind ipoteza secțiunilor plane și considerând că materialul are o comportare liniar elastică, principiul proporționalității între tensiuni și deformații specifice „ut tensio sic vis” fiind deja stabilit de Robert Hooke în urma unor experiențe pe arcuri de oțel, în 1678.

Este interesant de urmărit evoluția stabilirii relației (4). În primele lucrări din 1813, relativ la bara solicitată la încovoiere [2], Navier adoptă concluziile studiilor efectuate de J. Bernoulli și Mariotte privind variația lineară a tensiunii normale în secțiune, ca în figura 2, c, și poziția indiferentă pe care o poate avea axa neutră. J. Bernoulli afirma că valoarea forței exterioare capabilă să rupă grinda ar fi aceeași indiferent dacă fibrele sunt întinse sau comprimate, iar poziția axei neutre este indiferentă, fie că este situată la limita de jos, de sus sau intermediară a secțiunii. Mariotte susținea că axa neutră trece pe la

jumătatea înălțimii secțiunii, unele fibre fiind întinse, altele comprimate, ca în figura 2, d, caz valabil numai la secțiunea dreptunghiulară. C. A. Coulomb arăta că în încăstrare (figura 2, a) momentul încovoietor produs de forța exterioară este egal cu suma momentelor încovoietoare ale forțelor interioare față de axa neutră. Referitor la poziția axei neutre Coulomb susținea că aceasta nu trece neapărat prin mijlocul înălțimii secțiunii și că în nici un caz nu poate fi tangentă la contur, așa cum indica J. Bernoulli. Coulomb dovedește totodată că pentru a fi în echilibru un corp solid, este necesar ca suma proiecțiilor forțelor pe trei direcții perpendiculare între ele, să fie nule.

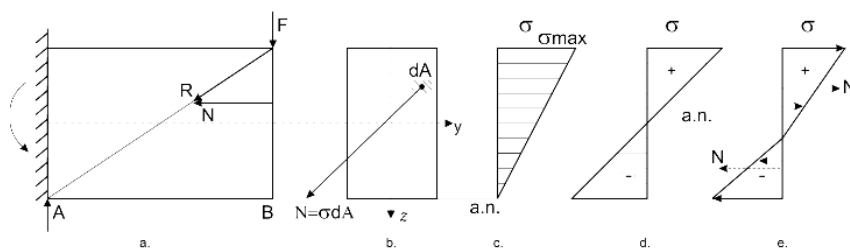


Fig. 2 Bara sollicitată la încovoiere

În anul 1819 Navier în cursul său litografiat, stabilește o relație pentru calculul momentului încovoietor capabil, poziția axei neutre fiind presupusă cunoscută din condiția ca suma momentelor produse de forțele de întindere și a celor de compresiune din secțiune să fie nulă, situație care nu poate fi îndeplinită la toate formele de secțiuni.

În cursul scris pe foi și dat studenților săi și publicat în 1826 (prima ediție) Navier înlătură erorile anterioare, determinând poziția axei neutre din condițiile de echivalență ale forțelor interioare cu forțele exterioare:

$$N = \int \sigma dA = 0 \quad (5)$$

$$M = \int \sigma z dA \quad (6)$$

stabilind, pentru un material omogen, că axa neutră trece prin centrul de greutate al secțiunii grinzii.

Din lucrările lui Coulomb dar și ale lui Navier nu rezultă că au cunoscut rezultatele obținute în această problemă de către Antoine Parent, membru al Academiei din Paris, cu un secol mai devreme.

Parent, în 1713 publică în *Essais et Recherches de Mathématique et Physique*, vol. 3, page 187, Paris, un studiu asupra încovoierii grinzilor, în care se referă la poziția axei neutre. Parent presupune inițial, ca Mariotte, că fibra neutră la o bară de secțiune dreptunghiulară (figura 2, a) este linia AB, cu o distribuție lineară a tensiunilor normale ca în figura 2, c, sau cu o forță axială N. Parent constata că rezultanta R a forțelor N și F, presupusă că ar trece prin punctul A, nu ar putea fi preluată și ajunge la concluzia că o parte a secțiunii din încastrare este supusă la compresiune iar distribuția tensiunilor ar fi ca în figura 2, d. Această distribuție a fost folosită și de Mariotte dar care a considerat că cele două triunghiuri sunt egale (figura 2, c), situație în care momentul încovoietor capabil al grinzii are o valoare dublă celui corespunzător distribuției din figura 2, d.

Parent admite, pentru un anumit caz de încărcare și pentru o anumită secțiune a grinzii, o distribuție a tensiunii normale și o poziție a axei neutre ca aceea din figura 2, e. Arată că suma forțelor interioare de întindere este egală cu suma forțelor interioare de compresiune dar că în același timp, suma momentelor forțelor interioare în raport cu axa neutră este egală cu momentul încovoietor din secțiune, exprimată tot prin relațiile (5) și (6).

Parent demonstrează, ceea ce a făcut ulterior și Coulomb, că în secțiunea din încastrare trebuie să existe și o forță tăietoare egală cu F, astfel ca forțele din încastrare să reprezinte un sistem în echilibru cu cel al forțelor exterioare aplicate.

6. Concluzii

■ Navier a adus contribuții esențiale în calculele de rezistență ale barelor: a determinat expresia tensiunilor normale în cazul solicitării la încovoiere pură, oblică, încovoierii cu întindere (compresiune), la barele drepte și curbe precum și a tensiunii tangențiale la răsucirea barelor de secțiune circulară, a stabilit modalitatea de rezolvare a sistemelor de bare static nedeterminate iar pentru plăci plane ecuația diferențială a suprafeței mediane deformată.

■ Navier a fost un inginer cu o activitate multilaterală în domeniul general al lucrărilor publice, a șoselelor, a căilor ferate și a podurilor. Studiile sale asupra frecării corpurilor, a mașinilor cu aburi și a combustibililor, în mecanica fluidelor s-au extins și în domenii neingineresti ca: aplicarea statisticii matematice în medicină, executarea lucrărilor publice prin concesionări, funcționarea Casei de Economii și Consemnațiuni.

■ Navier a încetat din viață la 23 august 1836, regretat de oamenii de știință ai timpului și de elevii săi. Deși elevii Școlii Politehnice se găseau în examene toți, în număr de 200, în ziua înmormântării au urmat sicriul lui, de la domiciliu până la locul de veci.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Atanasiu, C., *Școala politehnică de rezistența materialelor din București*. Editura AGIR, București, 2014.
- [2] Barré de Saint Vénant. *Des notes sur les ouvrages de Navier à la troisième édition de Résumé des leçons*. Dunod, Paris, 1864.
- [3] Bușilă, C., *Louis Navier*. Buletinul Societății Politehnice din România, București, 1936, pag. 1015-1017.
- [4] Filipescu, Em.Gh., *Contribuția lui Navier la teoria elasticității*. Buletinul Societății Politehnice din România, București, 1936, pag. 1032-1035.
- [5] Ionescu, I., *Louis Marie Henri Navier. Viața și activitatea lui tehnică*. Buletinul Societății Politehnice din România, București, 1936, pag. 1017-1027.
- [6] Navier, L., M., H., C., *Résumé des leçons données à l'École des Ponts et Chaussées sur l'aplications de la Mécanique à l'établissement des constructions et des machines*, tome I, fascicule I, Dunod, Paris, 1864.
- [7] Timoshenko, S., *Istoria Rezistenței materialelor*. Editura AGIR, București, 2006.
- [8] Țițeica, C., *Navier ca profesor de analiză matematică la Școala Politehnică din Paris*. Buletinul Societății Politehnice din România, București, 1936, pag. 1028-1030.

Prof. Emerit Dr. Ing. Costică ATANASIU
membru (c) al ASTR, membru AGIR
Departamentul de Rezistența materialelor
Universitatea Politehnică din București
Departamentul de Rezistența materialelor, Facultatea IMST
București, Splaiul Independenței nr. 313, sector 6, 060042
e-mail: atanasiucostica@yahoo.com