

# Česká Zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



## **Historický vývoj vědního oboru pružnost a pevnost**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Herák David, doc. Ing., Ph.D.

Autor práce: Oleksiy Kolva

PRAHA 2012

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra mechaniky a strojnictví

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kolva Oleksiy

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Historický vývoj vědního oboru pružnost a pevnost**

Anglický název

**Historical development of the mechanics of materials**

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je popsat historický vývoj vědního oboru pružnost a pevnost a stanovit zásadní milníky, jež v kontextu doby tento vývoj ovlivnily.

### Metodika

Student popíše v bakalářské práci vývoj vědního oboru pružnost a pevnost v jednotlivých historických epochách a určí zásadní milníky vývoje vědního oboru pružnosti a pevnosti. V bakalářské práci budou také uvedeny vnější faktory, jež tento proces vývoje ovlivnily.

### Osnova práce

1. Úvod
2. Vývoj oboru
3. Zásadní milníky vývoje
4. Diskuze
5. Závěr

## Rozsah textové části

30 až 40 stran

## Klíčová slova

mechanika, konstrukce, fyzika, stroje

## Doporučené zdroje informací

1. Hoschl, C.: Eseje o mechanice, TU Liberec 2009
2. Dugas, R.: A History of Mechanics, Dover Publications, 2011
3. Westfall, R., S.: The Construction of Modern Science: Mechanisms and Mechanics, Cambridge University Press, 1977
4. Crowe, M., J.: Mechanics from Aristotle to Einstein, Green Lion Press, 2007

## Vedoucí práce

Herák David, doc. Ing., Ph.D.

## Termín zadání

listopad 2010

## Termín odevzdání

duben 2012

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 9.2.2011

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

## Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Historický vývoj vědního oboru pružnost a pevnost** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne .....

..... Oleksiy Kolva

## Poděkování:

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce, profesoru Herák David, doc. Ing., Ph.D. za cenné rady a potřebnou kritiku. Dále také za podporu celé své rodiny a mých blízkých přátel, kteří mě podporovali hlavně psychicky a motivovali k nejlepšímu možnému výsledku.

V Praze dne .....

..... Oleksiy Kolva

## **Abstrakt:**

Cílem této bakalářské práce je popsat historický vývoj vědního oboru pružnost a pevnost a stanovit zásadní milníky ve vývoji tohoto oboru. Z historie lidské společnosti jsem se snažil dohledat potřebné informace o vývoji této oblasti.

Tento vývoj je stručně sepsán a jsou zde také jmenovány nejvýznamnější osobnosti, které se podílely na zformulování daného odvětví.

V první části bakalářské práce je popisován vývoj obecné fyziky a matematiky jakožto stavební materiál pro budoucí vytvoření tohoto odvětví na přelomu 15 a 16 století.

V další části je potom zmapovaný přínos vědců, kteří se zabývali přímo problematikou pružnosti a pevnosti.

**Klíčová slova:** mechanika, konstrukce, fyzika, stroje

## **Summary:**

The aim of this thesis is to describe the historical development of the mechanics of material and flexibility provide major milestones in the development of this field. From the history of human society, I tried to trace the necessary information on the development of this area. These developments are briefly listed and there are also named most people, who participated in the formulation of the sector.

In the first part of the thesis is described the development of general physics and math as a building material for the future development of the industry at the turn of the century 15 and 16.

The next section is then mapped benefit scientists, who are directly engaged in the issue of flexibility and strength.

**Key words:** mechanics, engineering, physics, machine

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1	UŽITEK STUDIA HISTORIE.....	- 1 -
1.2	VYMEZENÍ POJMŮ .....	- 2 -
1.2.1	<i>Mechanika.....</i>	- 2 -
1.2.2	<i>Pružnost a pevnost.....</i>	- 2 -
1.2.3	<i>Tradiční rozdělení PP:.....</i>	- 3 -
<b>2</b>	<b>STARÝ VÝCHOD .....</b>	<b>- 4 -</b>
2.1	PRVNÍ CIVILIZACE .....	- 4 -
2.2	CIVILIZACE MAYŮ .....	- 5 -
2.3	MEZOPOTÁMIE .....	- 5 -
2.4	EGYPT.....	- 6 -
2.5	INDIE.....	- 7 -
2.6	ČÍNA .....	- 8 -
<b>3</b>	<b>STAROVĚKÉ ŘECKO A GÉNIOVÉ ANTICKÉHO SVĚTA .....</b>	<b>- 9 -</b>
3.1	PŘÍRODNÍ FILOZOFIE IONSKA .....	- 9 -
3.2	PYTHAGORAS A JEHO ŽÁCI.....	- 11 -
3.3	ELEATÉ A ATOMISTÉ .....	- 11 -
3.4	LÉTA NEJVĚTŠÍ ÚRODNOSTI ŘECKÉ FILOZOFIE.....	- 13 -
3.5	CHRÁM MÚZ V ALEXANDRII .....	- 14 -
<b>4</b>	<b>STŘEDOVĚK A RENESANCE .....</b>	<b>- 16 -</b>
4.1	ARABSKÝ PŘÍNOS VĚDY .....	- 16 -
4.1.1	<i>Aristotelés Středověku.....</i>	- 17 -
	LEONARDO DA VINCI.....	- 18 -
4.2	GALILEO GALILEI .....	- 19 -
4.3	ROBERT HOOK .....	- 22 -
4.3.1	<i>Co přesně nám říká Hookeův zákon?.....</i>	- 23 -
4.4	BLASIE PASCAL A EDME MARRIOTT .....	- 25 -
4.5	ISACC NEWTON.....	- 26 -
<b>5</b>	<b>OSOBNOSTI 18 A 19 STOLETÍ – FRANCOUZSKÁ REVOLUCE A GÉNIOVÉ TĚTO DOBY - 27 -</b>	<b>- 27 -</b>
5.1	BERNOULLIOVÉ.....	- 27 -
5.2	LEONHARD EULER .....	- 29 -
5.2.1	<i>Ohyb nosníku .....</i>	- 30 -
5.3	JOSEPH LOUIS LAGRANGE.....	- 31 -
5.4	PIERRE SIMON LAPLACE .....	- 32 -
5.5	J. - C. SAIT - VENANT.....	- 33 -
5.6	THOMAS YOUNG.....	- 34 -
5.7	DENIS S. POISSON .....	- 34 -
5.8	LOUIS NAVIER .....	- 35 -
5.9	C. O. COULOMB .....	- 36 -
5.10	POČÁTKY ŽELEZNIČNÍCH VLAKŮ A STAVBY DRAH .....	- 36 -
<b>6</b>	<b>VÝVOJ 20 STOLETÍ .....</b>	<b>- 38 -</b>
<b>7</b>	<b>ZÁSADNÍ MILNÍKY VÝVOJE OBORU: .....</b>	<b>- 39 -</b>
<b>8</b>	<b>DISKUZE.....</b>	<b>- 42 -</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>- 43 -</b>

<b>10</b>	<b>POUŽITÉ ZDROJE .....</b>	<b>I</b>
10.1	KNIHY A JINÁ TIŠTĚNA LITERATURA: .....	I
10.2	ELEKTRONICKÉ DOKUMENTY .....	I
10.3	WEBOVÉ ZDROJE.....	II
10.4	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	III
<b>11</b>	<b>PŘÍLOHY:.....</b>	<b>IV</b>



# 1 ÚVOD

Mechanika jakožto jedna z částí fyzikálních věd je nepostradatelná a velice užitečná věda, bez které by si jen těžko někdo dokázal představit dnešní život moderního člověka. Je to právě mechanika a její poznání, která zajišťuje bezproblémovou funkci dnešních vozidel, letadel, pokořující nadzvukové rychlosti i vesmírný prostor, stavbu budov a jiných staveb, které již překonávají stametrové výšky a můžeme je vyzorovat i ze vzdálenosti vesmíru, také další objekty obklopující dnes a denně náš životní cyklus. Neustálý a zrychlující rozvoj dnešní společnosti si klade vysoké nároky na vědecké poznání a je to právě Fyzika a její specifická odvětví, která zkoumá naše přirozené prostředí a celkově svět včetně jeho zákonitostí. Dnes už s určitostí můžeme tvrdit, že fyzika, její poznatky a zákonitosti, mají přímý vliv na fungování a procesy lidského těla stejně tak jako na další lidské výtvořiny. Působení sil na těleso, ať už živé či neživé je hlavní předpoklad konstruování budov, tvorby nástrojů a pomůcek které dělají náš život tak jak jej dnes známe.

Pružnost a pevnost je odvětví, které tuto problematiku zkoumá a je to taky odvětví, díky kterému dnes dokážeme předvídat reakce různých materiálů na různé podněty zvenčí i zevnitř. Tyto znalosti dále využijeme pro konstruování a celkový technický pokrok.

Lidé si stavěli přístřešky a vyráběli nástroje už od pravěku. Byla to schopnost tvořit a učit se, která člověka oddělovala od ostatních zvířat. V té době ale poznání okolního světa bylo značně omezené a dnes známá matematická vyjádření a dokázaná na pokusech fakta, bez kterých si novodobý konstruktér nedokáže představit svou činnost, neexistovala. Tehdejší lidé znali jen své smysly a intuici, obohacenou o poznávání věcí výsledkem prostého pozorování. Věděli, že kámen je tvrdý, že dřevo může být pružné a plavat po hladině, že suché listí a větve mohou hořet, nevěděli však proč se tak děje. A právě na otázky „Proč?“ a „Jak?“ lidstvo hledá odpověď už od pradávna. Na mnohé otázky se už podařilo zjistit odpovědi, na některé stále ještě ne a některé se možná už nikdy nedozvíme, určitě se však o to pokusíme.

Dějiny a vývoj fyziky a pod ni spadající vědní obor pružnost a pevnost je zajímavá a poučná cesta napříč historií, ve které můžeme pozorovat významné vědce a filozofy, kteří dokázali zformulovat dnešní mechaniku tak jak ji známe, mnohdy bez skutečně stanovených cílů tohoto poznání. Každý z nich navazoval na práci svých předchůdců a jejich životní osudy se několikrát postaraly o objevy, které mohly být utajeny ještě na další desetiletí a možná i století.

## 1.1 Užitek studia historie

Čím lépe se ve vědě chceme uplatnit, tím dokonalejším rozhledem po mezioborových a společenských vazbách bychom měli být vybaveni. Ke splnění takového cíle přispívá i znalost vývoje jednotlivých vědních oborů. Historická zkušenost může být pro naše rozhodování

poučná i inspirativní.[6] Jak se říká historie a pochopení dějin je základ pro pochopení současnosti a zároveň předpoklad pro rozvoj budoucnosti, vždyť právě díky historii máme možnost navázat na již známá fakta a také vyhnout se omylům a chybám, které se už v kolébce dějin odehráli.

## **1.2 Vymezení pojmů**

### **1.2.1 Mechanika**

Mechanika je odvětví fyzikálních věd zkoumající rovnováhu a pohyb těles (hmotných útvarů) v prostoru a čase. Podle druhu zkoumaných těles se dále dělí na další odvětví.

### **1.2.2 Pružnost a pevnost**

Teorie PP využívá poznatků vědních oborů, které studují pevnost materiálu, tj. obecně schopnost odolávat vnějším účinkům bez porušení. Vytváří teoretický základ pro navrhování a posuzování konstrukcí ocelových, betonových, dřevěných, kompozitních aj. (teorie konstrukcí)

Předmětem PP je souvislost mezi deformací a porušováním vzhledem k silovému působení, napěťová a deformační analýza těles.

Pojem PP vznikl v dobách, kdy vyjadřoval především určování pružných deformací a posuzování pevnosti – odolnosti proti porušování. K velké většině porušení však dochází především v oboru nepružných deformací, únavou materiálu, změnami v mikrostruktuře materiálu, které se projeví vznikem trhlin (betonové konstrukce), propagací trhliny až do konečného lomu. K postižení takového chování je třeba použít dnes již samostatné disciplíny – lomové mechaniky. Z toho pohledu je již dnes pojem PP poněkud zavádějící, musíme si uvědomit, že vyjadřuje především elementární znalost problematiky. Nutno poznamenat, že v anglosaské literatuře se obsah PP v našem pojetí kryje s obsahem disciplíny nazývané „Strength of materials“.[18]

### 1.2.3 Tradiční rozdělení PP:

a) Technická nauka o PP – využívá řadu zjednodušujících předpokladů, je zaměřena na elementární praktické problémy (Strength of materials),

b) Matematická teorie PP – založena na vyšší matematické analýze a zaměřena na náročnější problémy mechaniky kontinua jako jsou plošné konstrukce a obecná tělesa (Elasticity and plasticity). [18]

Zařazení oboru PP v rámci fyziky a mechaniky:

Fyzika:

Termodynamika

Optika

Akustika

Elektřina

Mechanika

- a) Tekutin
- b) Sympkých látek
- c) Těles
  - a. Statika
  - b. Pružnost pevnost**
  - c. Kinematika
  - d. dynamika

## 2 STARÝ VÝCHOD

### 2.1 První civilizace

Nejstarší lidské civilizace nacházíme v povodí velkých řek, Eufratu a Tigridu v Mezopotámii, Nilu v Egyptě, v údolí Indu a na březích čínské Žluté řeky, která se zařezává do mocných vrstev naváté úrodné spraše. Naplavená, uměle zavodňovaná, v případě Nilu dokonce pravidelně zaplavována, hnojená půda umožňovala snadné obdělávání a intenzivní zemědělskou výrobu. Přírodní podmínky někde dovolovaly sklízet úrodu dokonce i několikrát do roka. Evropa byla tenkrát ještě pokryta lesy a podmínky pro zemědělství tam byli méně příznivé.[1]

Závlahové zemědělství ovšem vyvolalo nutnost dokonalé organizace práce, dokonce vznik prvních městských států s právní a mocenskou strukturou, administrativou, a tím i potřebou písma. Doprovázelo ho i vytvoření jednoho z nejstarších nástrojů civilizace – systému vybírání daní. Zemědělství také podnítilo nový rozvoj techniky, nástrojů k obdělávání půdy a sklizení obilí, používání vozů a tažných zvířat, a tedy i vynález kola. Podobně i stavba zavodňovacích kanálů a přehrad přinesla nové technické a fyzikální znalosti.[1]

Počátky neolitického zemědělství v Mezopotámii a v Egyptě můžeme vytušit už někdy kolem 8000 let před naším letopočtem, o národech které tam tenkrát žili, nevíme však nic. O několik tisíc let později kamenné nástroje a zbraně ustoupily výrobkům měděným a bronzovým. Měď se těžila na ostrově Kypru a v poušti Negev v dnešním Izraeli, cín k výrobě bronzu se dopravoval zdaleka, dokonce až z Anglie, Španělska a střední Evropy. V té době se již zpracovávalo zlato a stříbro, které se těžilo i v hlubinách země v dolech etiopských a núbijských. Odedávna bylo známo též olovo, měkké a poddajné, vhodné ke zhotovování sošek, tabulek, do nichž bylo možno rýt, a dokonce i trubek. Snadno se získávalo z rud, které často doprovázeli rudy stříbrné. Z přírody byla známa i rtuť, nejčastěji jako součást nápadně červené rumělký. Ta jako sloučenina tak protichůdných látek, jakými jsou tekutá stříbřitá rtuť a žlutá nekovová síra, odedávna budila pozornost alchymistů.

Ve 2. Tisíciletí př. n. l. se pomalu a postupně rozšiřovala výroba železa. To se nacházelo vzácně jako součást železných meteoritů, jinak se muselo získávat z železných rud redukcí pomocí dřevěného uhlí. Protože se v primitivních pecích nedosahovalo teploty tání kovu, vznikalo železo v podobě houbovitě látky prostoupené struskou a muselo se dále zpracovávat kováním.

Starověk tak znal sedm kovů ryzích nebo získávaných z rud, které obohatily výběr materiálů k výrobě nástrojů, nářadí a zbraní, omezený do té doby jen na kámen, dřevo a kost. K výrobě kovů přistoupila i výroba keramiky, pálených i polévaných cihel, skla a barev. Bronzové a později železné nářadí, motyka, hrábě, pluh a další, usnadnily práci v zemědělství,

stejně tak jako kovové nástroje umožnily dokonalejší opracování kamene a dřeva, a tím i budování velkolepých staveb, které dodnes obdivujeme. Tisícileté zkušenosti s metalurgií a technologií materiálů musely obohatit znalosti o fyzikálních vlastnostech kovů a chemických procesech.

## 2.2 Civilizace Mayů

Zvláštní kapitolou v dějinách lidské kultury, matematiky a astronomie představují předkolumbovské civilizace ve Střední a Jižní Americe. Nejčastěji se připomíná civilizace Mayů, kteří obývali (a dosud obývají) jižní Mexiko, především poloostrov Yucatan, a části dnešní Guatemaly, Belize a El Salvadoru. Mayové navázali na předchozí kulturu Zapotéků a Olmeků a v klasickém období svého největšího rozkvětu v prvním tisíciletí našeho letopočtu založili desítky městských států.

Pozoruhodné je, že staří Mayové neznali takové civilizační prvky, jako pluh, hrnčířský kruh, kolová vozidla, využití tažných zvířat, nebo výroba kovů. Přesto dosáhli vynikajících výsledků v oblasti architektury, při stavbě pyramid, paláců, chrámů. Dochovalo se i několik mayských kodexů. Nejdůležitější je Drážďanský kodex věnovaný matematice a astronomii. Pozoruhodné je, že staří Mayové používali dvacítkovou poziční soustavu čísel, přičemž jednotky udávali od 0 do 19. Už několik desetiletí před naším letopočtem tak zavedli počítání s nulou, čímž předešli indické matematice téměř o tisíc let. Při svých numerických výpočtech pracovali Mayové s nesmírně velkými čísly, řádově stovek milionů, a byli posedlí vášní nacházet v přírodě cykly opakující se za velmi dlouhá období (uctívali kruh). Tato záliba se odráží v propracovaném a složitém systému kalendářů (obr. 1), kteří májové vytvořili a kterým se podřizovalo veškeré společenské dění i osobní život.

obr. 1 Mayský kalendář



Zdroj: <http://vt-2004.astro.cz/teorie/D9/>

## 2.3 Mezopotámie

Koncem 4 tisíciletí př. n. l. pro nás začíná doba historická, o tehdejších událostech a znalostech se dozvídáme už i z písemných zpráv. V Mezopotámii mají tyto záznamy podobu hliněných tabulek, do nichž byly rydlem, například zaostřeným rákosem, vyrývány slabičné znaky charakteristického tvaru klínů.

V Ninive vzdělaný král Aššurbanipal vybudoval jednu z největších starověkých knihoven, v níž systematicky shromažďoval a nechal opisovat dochované historické, právní, literární, náboženské a vědecké texty, ale pořizoval i slovníky, učebnice, kroniky a katalogy.[1] Tato knihovna byla však zničena a dochoval se jen zlomek vědomostí a informací které skutečně babylonané měli. Nalezené klínopisné tabulky bylo ovšem třeba rozluštit, pomohli tomu nálezy vícejazyčných nápisů ve staré perštině, babylónštině a dalších jazycích.

V babylonských textech byla však postupně nacházena slova, gramatické prvky a citáty, náležející jinému staršímu národu, který dostal jméno *Sumérové*.

Nevíme přesně, kdy a odkud Sumerové přišli – bylo to někdy kolem 3 500 př. n. l. Sumerové vytvořili organizaci městských států pod teokratickou vládou, stavěli vysoké terasovité chrámy z pálených cihel, zikkuraty, které mohly sloužit i astronomickým pozorováním, vybudovali soustavu

závlahového zemědělství a vynalezli základní zemědělská nářadí včetně pluhu. Naučili se také z obilí vařit pivo. Sumerové a Babyloňané vyvinuli vyspělou techniku. Při své stavební činnosti využívali vlastnosti jednoduchých strojů – pák, kladek a nakloněných rovin. Příkladem těchto znalostí je i monumentálnost sumerských chrámů (obr. 2). Sumerům náleží jedna z největších vymožeností lidstva – vynález kola (které je vlastně jednou z aplikací páky), po vynálezu ohně snad nejdůležitější.

Vývoj fyziky, ale i obchodu a techniky je závislý na metodách měření nejrůznějších veličin. Sumerové a Babyloňané měřili délky, obsahy, objemy a čas, a také vážili. Babylonští geometři uměli dobře počítat obsahy čtverců a obdélníků, méně přesněji trojúhelníků a lichoběžníků. Znali však Pythagorovu větu a s její pomocí určili odmocninu ze dvou na 5 správných platných číslic. Kromě tradičně známého pythagorejského trojúhelníka o stranách 3, 4, 5 znali pythagorejské trojice pro jiné poměry stran pravoúhlých trojúhelníků.

Na jedné z nejstarších babylonských tabulek je udán obsah kruhu s obvodem 3 jako rovný  $\frac{3}{4}$ , tomu odpovídá hodnota čísla  $\pi$  rovná 3. Babyloňané dokázali vypočítat i objemy krychle, kvádry, hranolu a válce.

Důležitým příspěvkem sumersko – babylonské kultury bylo to, že začala měřit i úhly a zavedla uhlové míry, které používáme dodnes. Kruh rozdělily na 360 stupňů v duchu šedesátkové soustavy. Rovnostranný trojúhelník měl potom tři úhly po 60 stupních

## 2.4 Egypt

Egyptská kultura se vyvíjela souběžně s kulturou sumersko – babylonskou a částečně pod jejím vlivem. Vývoj egyptské civilizace a jejích znalostí od 3. Tisíciletí př. n. l. můžeme sledovat podle dochovaných písemných památek, buď vytesaných do kamene, nebo zaznamenaných pomocí štětečku černým, nebo červeným inkoustem na papyrus, vyráběný z všestranně užitečné rostliny zvané šachor papyrový, která rostla v nilské deltě. K rozluštění egyptského písma a jazyka rozhodujícím způsobem přispěl nález známé Rosettské desky za

obr. 2 Sumérský chrám



Zdroj: <http://about-history.blog.cz/0803/pocatky-sumeru-a-mesta>

Napoleonovy vojenské výpravy do Egypta v roce 1799. Tato deska byla popsána třemi totožnými, poměrně dlouhými texty psanými hieroglyfy, démotickým písmem a řecky.

Také na papyrech nacházíme texty svědčící o vysoké úrovni egyptských matematických znalostí, zejména v geometrii. K zápisu čísel používali Egypťané od pradávna nepoziční desítkovou soustavu se zvláštními znaky pro jednotky, desítky a jejich mocniny. Kromě základních početních úkonů s přirozenými čísly, hodně pracovali se zlomky a čísla smíšenými, měli tabulky pro počítání s kmennými zlomky (o čitateli 1). Sčítali aritmetické a geometrické řady, řešili lineární a jednoduché kvadratické rovnice, počítali obsahy a objemy základních geometrických útvarů. Obsah kruhu určovali jako obsah čtverce p straně rovné  $\frac{8}{9}$  průměru, což odpovídá číslu  $\pi$  rovnému 3,16. Tyto znalosti využili dále ve stavbě monumentálních pyramid. Počítali objemy kvádru, hranolu, válce a komolého jehlanu, aby určili potřebu materiálu ke stavbě pyramid (obr. 3), nebo kapacity sýpek. Nepoužívali však matematické vzorce a není doloženo, že by znali vztah pro objem pyramidy.

obr. 3 egyptské pyramidy



Zdroj: <http://www.egypt-air.co.uk/news>

## 2.5 Indie

Stopy nejstarších civilizací v údolí řeky Indu v dnešním Pákistánu byly objeveny až v roce 1924, kdy se z džungle vynořily zbytky měst Harappo a Mohendžodaro, pocházející z 3. Tisíciletí př. n. l. Archeologické nálezy svědčili o vyspělé městské organizaci, dokonalé hygieně a technické kultuře. Je pravděpodobné, že existovali kontakty mezi hararskou a sumerskou civilizací. Bohužel se však nedochované grafické symboly na hararských pečetičkách. Jakési písmo, dosud nepodařilo rozluštit.

Stará indická kultura je známa až od příchodu indoevropských Arjů kolem 1500 př. n. l. kteří přinesli hinduismus.

Ve starověku a raném středověku Indové významně přispěli k matematice, fyzice a astronomii. Za nejdůležitější poznatky, které jsme od nich arabským prostřednictvím převzali, jsou považovány indické číslice, tedy desítkový poziční systém zápisu čísel, a zejména používání nulym která patří k největším matematickým objevům lidstva. První zápis nuly nacházíme v Indii roku 876 a je možné, že byl převzat od Číňanů. Jako první používali sice nulu už staří Mayové ve Střední Americe, ještě před začátkem našeho letopočtu, ale tato skutečnost nebyla v tehdejším Starém světě známa.

K dalším matematickým výsledkům indické vědy patří používání záporných čísel a zavedení trigonometrických funkcí. Indický matematik Áryabhata (5. - 6. Stol.) znal Pythagorovu

větu, vypočítal číslo  $\pi = 3,1416$  (v dnešním zápisu), podal návod k řešení lineárních rovnic a zavedl funkce sinus a kosinus.

V 6. – 7. století působil jiný indický učenec Brahmagupta, který rozšířil číselný obor o záporná čísla a poprvé vyslovil myšlenku o přitahování nebeských těles, gravitací. Bháskara (1114 - 1185) je autorem rozsáhlé vědecké encyklopedie, známé jako „Siddhánta širómani“, zahrnující aritmetiku, algebru a astronomii. Přes nadějně počátky indické přírodovědy tento vývoj nakonec ustrnul a nevyústil do moderní technické revoluce.

## 2.6 Čína

Svébytná čínská civilizace patří k nejstarším na světě. Ve 3 tisíciletí př. n. l. vstoupil do doby bronzové a hlavní zemědělskou plodinou v Číně bylo proso, ve 2 tisíciletí se rozvíjí pěstování rýže, ale i výroba hedvábí, kolová doprava, vzniká písmo, literatura a věda. Čínské písmo, které dokázalo originálním způsobem spojit princip obrázkového, symbolického a fonetického zápisu, je přizpůsobeno zvláštnímu charakteru čínského jazyka, který nepoužívá předpon ani přípon a má velké množství stejně nebo podobně znějících jednoslabičných slov. Je to nejstarší nepřetržitě používané písmo a zprostředkovává nám přes tisíce let starou literaturu, historického a vědecké záznamy

Někteří z čínských učenců, kteří navazovali na klasické knihy, rozlišovali v přírodě pět prvků, podobně jako evropská věda čtyři živly. Nejznámější z nich byl Cou Jen (3. Stol. Př. n. l.). Tyto prvky se řadily do kruhu v pořadí, v němž jeden přemáhá druhý. Fascinování číslem pět znali Číňané pět světových stran (včetně středu, kde se nacházela Čína), pět planet, pět barev, pět chutí, a dokonce zavedli pětidenní týden.

Dalším z čínských učenců byl Jang Siung (53 př. n. l – 18 n. l.). Jeho spis „Kniha o velkém neznámu“ se zabývá i přírodovědnými, astronomickými a matematickými otázkami a inspiroval řadu žáků. Tak jeden z nich, básník malíř, filozof, matematik, astronom a kartograf Čang Cheng (78 - 139), vypočetl číslo  $\pi$  jako odmocninu z 10 a napsal práci o složení vesmíru, kde uvedl mimo jiné, že Měsíc má tvar koule a je osvětlován Sluncem. Jeho nejznámějším výtvorem bylo vytvoření prvního seismoskopu.

Ve 2. století před n. l. vznikají spisy „Traktát o měřické holi“ a „Matematika v devíti knihách“ s několika stovkami úloh a návody k jejich řešení. Tyto základní matematické texty byly později komentovány a zpracovány do podoby příruček pro přípravu adeptů úřednických zkoušek. Úlohy se týkají počítání se zlomky, úměrami a lineárními rovnicemi, použití Pythagorovy věty, vyměřování obsahů rovinných obrazců a objemů těles, výpočtů druhé a třetí odmocniny a také ekonomických počtů a účetnictví. Právě pro vyjádření dlužných částek zavedli Číňané i záporná čísla „fu“.



Už ve 3. Století začínají Číňané používat desítkovou soustavu a způsob zápisu desetinných zlomků, čímž předešli Evropu o více než tisíc let. Matematik Liou Chuej v téže době upřesňuje hodnotu čísla  $\pi$  pomocí 96úhelníku a 3072úhelníku vepsaného do kruhu, tedy přesněji než tehdejší evropští matematikové. Ve středověku, roku 1303, vydává Ču-š'Tie matematický spis "Jaspisové zrcadlo čtyř prvků", v němž nás mile překvapí známý Pascalův trojúhelník s binomickými koeficienty, několik století před Pascalem. Kolem roku 600 matematik a astronom Liou Čou používá metodu interpolace hodnot při numerických, zejména kalendářních výpočtech a přichází s myšlenkou změřit délku poledníkové kružnice a tím i rozměry zeměkoule metodou, kterou v Alexandrii použil Eratosthenes.

Národy starověkého Východu, zejména Indové, Číňané a později ve středověku Arabové, dosáhli úrovně matematických, fyzikálních i astronomických znalostí srovnatelné s vědou evropskou. V mnohém ohledu ji dokonce předešli a měli lepší výchozí předpoklady pro její další rozvoj, zejména uvážíme-li, že se Evropa na počátku středověku a v období stěhování národů zmítala po několik století v politických a vojenských konfliktech a její hospodářství i kultura se dostaly do hlubokého úpadku. A přesto se vývoj vědy u východních národů nakonec zpomalil, upozdil a těžiště vzniku fyziky jako novodobé vědy se přeneslo do Evropy. A tak je dnes pro nás vzrušující odhalovat dávné znalosti, objevy a vynálezy východních národů, které byly třeba později pozapomenuty a ztraceny anebo ovlivnily i naši vlastní vědu a techniku, aniž si to dnes uvědomujeme.

### 3 STAROVĚKÉ ŘECKO A GÉNIOVÉ ANTICKÉHO SVĚTA

Vznik kultura evropské civilizace je připisován právě starověkým Řekům. Řekové původně sídlili na euroasijských stepích a to už v období 2 tisíce let před n. l. Historikové se však zamýšlí nad tím, co bylo příčinou, impulzem k tomu, že právě Řekové stanuli na prahu evropské vědy. Řecká společnost byla otrokářská a jen svobodní lidé, kteří se nemuseli živit těžkou prací, se mohli oddávat filozofování.[1]

Řekové jsou také tvůrci nové společenské organizace – Polis. Státy nebyly ovládnuty panovníkem, bylo to společenstvo volných občanů, kteří se zabývali politikou. Díky tomu mohli svobodně filozofovat, aniž by při tom přišli do konfliktu s náboženskou sférou. Čas od času se dostávali do konfliktu s vládou, ale vždy tu byla možnost vystěhovat se do jiného řeckého města

#### 3.1 Přírodní filozofie Ionska

V období přibližně 700 let př. n. l. je fyzika teprve na začátku, nicméně lidé už ovládají základní znalosti, mají stanovenou jednotku pro měření a pokládají si otázky filozofické. Tyto otázky se týkají původu bytí, vznikají teorie o tom, z čeho vše vzniklo a jak vše také zanikne, rozvíjí se taktéž sféra astronomie.

Jako první nejvýznamnější osoba je v tomto období *Thalet z Milétu* (asi 625 – 547 př. n. l.)

obr. 4 Tháles z Milétu



Zdroj:  
<http://spqr.cz/content/thal>

Byl to vědec, astronom, matematik a fyzik (obr. 4). Za pralátku považoval vodu, která obklopovala celý svět. Zabýval se zejména geometrií, vlastnostmi trojúhelníků a kružnic. Už dokonce v této době znal větu usu o shodnosti trojúhelníků, vztahy mezi úhly – rovnoramenném trojúhelníku a věděl, že vrcholové úhly dvou různoběžek jsou si rovny. Dále dokázal díky podobnosti trojúhelníků stanovit výšku pyramid, nebo vzdálenost lodí na moři. Jeho nejznámější objev je ale první matematická věta o tom, že obvodový úhel nad průměrem kružnice je vždy pravý.

Na jeho dílo navázal Thaletův žák a přítel *Anaximandros* (asi 610- 546 př. n. l.)

Anaximandros nesouhlasil příliš se svým učitelem a to hlavně v otázce pralátky. Za pralátku považoval cosi neurčitého a neomezeného. Kombinací protikladů se utvářejí 4 živly: země, voda, vzduch a oheň. Svá studia a pozorování věnoval spíše přírodě a astronomii sepsal první přírodovědecké pojednání, ve kterém se pokusil objasnit vítr, déšť, blesk a hrom.

Dalším řeckým filozofem byl *Anaximenes* (asi 585 – 527 př. n. l.)

Ten se taktéž odkláněl od Thaletovy teorie o pralátce, ale nesouhlasil ani se svým učitelem Anaximandrem. Za pralátku všeho bytí považoval vzduch, který obklopuje celý svět. Věnoval se přírodovědné filozofii a rozvíjel teorii, že vzduch, řecky pneuma může být nositelem tepla i chladu, díky zhušťování vznikají vítr, a také pevné a kapalné látky.

Na maloasijském pobřeží Efesu působil *Herakleitos* (asi 540 – 480 př. n. l.)

Vysoce oceňovaný v dějinách filozofie. Byl to myslitel temnějšího rázu a za pralátku považoval oheň, jako symbol pohybu a změny. Prosnul svými nároky, že „vše plyne“ a „nikdy nevstoupíš dvakrát do téže řeky“. Napsal prý dílo „O přírodě“, které se však bohužel nedochovalo.

K posledním představitelům Ionské filozofie je počítán *Anaxagoras* (500 až 428 př. n. l.)

Anaxagoras na rozdíl od svých předchůdců předpokládal, že základem světa není jedna látka nebo podstata, nýbrž nekonečné množství malých hmotných částíček, které nazývá „semena věcí“. Tato semena byla původně smíšená v chaos a postupně se oddělovala, slučovala a rozlučovala. Nejvíce se podobá dnešní teorii o molekulách. Napsal taktéž dílo „O přírodě“, z něhož se ale dochovali jen zlomky.[5],[1]

## 3.2 Pythagoras a jeho žáci

K žákům Thaleta a Anaximandra, můžeme řadit i *Pythagora* (asi 580 – 500 př. n. l.)

Pythagoras (obr. 5) se celý život angažoval na straně aristokratické, musel však kvůli tomu opustit své rodné město Samu. Navštívil Egypt, Babylonii a Krétu, nakonec zakotvil v Krotonu v jižní Itálii. Založil školu,

kteřá hraničila se sektou, měl 600 žáků, kteří se zde učili.

Pythagoras a jeho následovníci významně zasáhli do dějin matematiky a fyziky. Pythagorejci podali důkaz o matematické větě, týkající se součtu čtverců nad odvěsnami pravoúhlého trojúhelníku se souměřitelnými délkami stran. Vybudovali taktéž první základy teorie čísel a jejich dělitelnosti. Pythagorejci byli fascinováni malými přirozenými čísly, hlavně číslem 1. Zvláštní význam připisovali číslu deset, jakožto součtu  $1 + 2 + 3 + 4$ .

Dva významní astronomové a matematici *Eudoxos* (408 – 433 př. n. l.) a *Herakleides*, (388 až 315 př. n. l.) byly považováni taktéž za následovníky Pythagora.

Nesdíleli však stejnou teorii o vesmíru, Eudoxos položil základy geocentrickému modelu vesmíru, kdy země se považuje středem vesmíru. Herakleides vycházel z teorie, že Země se otočí jednou za den kolem své osy a Slunce ji oběhne jednou za rok.[1] Co nás ale zajímá více je skutečnost, že se Eudoxos věnoval matematice. Zabýval se poměry délek nesouměřitelných úseček a vypracoval tzv. Exhaustní metodu umožňující počítat obsahy obrazců a objemy těles jejich dělením na stále menší části a následným sčítáním. Tuto metodu později velmi produktivně využil Archimedes.[1]

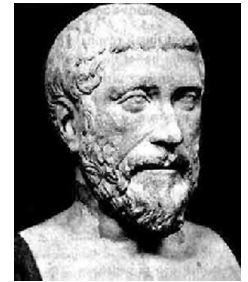
Za zakladatele řecké mechaniky je považován *Archytas* z Tarentu (428 až 365 př. n. l.)

Byl to pythagorejec, státník a úspěšný stratég. Zabýval se taktéž matematikou a řešil problémy se souměřitelností úseček. Matematický úkaz považoval za nadřazený geometrickému názoru a viděl v něm objektivní nevyvratitelný způsob, jak dokázat spor. Používal však matematickou teorii i v praxi, což znamenalo, že využíval výpočty k praktickým fyzikálním aplikacím a k řešení technických problémů. Zabýval se teorií kladky, kola na hřídeli a šroubu, konstruoval také mechanismy poháněné stlačeným vzduchem.

## 3.3 Eleaté a atomisté

Díky znalosti geometrie mohla řecká fyzika rozvinout dvě oblasti – statiku, část mechaniky zabývající se rovnováhou těles a katoptrikou. Měli však problém teorii pohybu a změn,

obr. 5 Pythágoras



Zdroj:

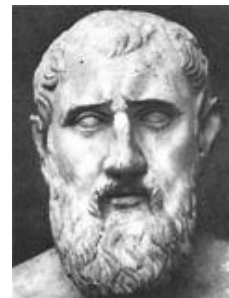
<http://www.stenudd.com/myth/greek/pyt>

vzniku a zániku věcí. Těmito otázkami se zabývali eleaté, filozofická škola, která působila v městě Elea v jižní Itálii.

Nejznámější z eleatů je *Zenon* (490 – 430 př. n. l.)

Podle Zenonovy aporie míry je nemožné dělit prostor na nekonečně mnoho částí. Popisuje to na známém případě Achilla a želvy – Rychlo-nohý Achilles nikdy nedohoní želvu, která startuje s náskokem. Musel by totiž napřed dospět do bodu, kde byla želva původně, ale ta ovšem popolezla o kus dál. Tento jev dokazoval i v dalších pokusech, Snažil se tak přesvědčit společnost o tom, že pohyb neexistuje.

obr. 6 Zenon



Zdroj:

<http://leccos.com/index.php/clanky/zenon-z->

S eleaty byli spjat do jisté míry také názor sofistů. Nejznámější z nich *Gorgias* (483 – 380 př. n. l.)

Na otázky jsoucna odpovídal dosti lapidárně: 1. Nic není 2. I kdyby něco bylo, nedalo by se to poznat. 3. I kdybychom to poznali, nemohli bychom to sdělit a nemělo by to tedy žádný smysl.

Teprve objev matematické analýzy v 17. Století ukáže jak popsat mechanický pohyb a jak zacházet s nekonečně malými a nekonečně velkými veličinami.

Za prvního z řeckých atomistů je považován *Leukippos* (asi 490 – 420 př. n. l.)

Parmenidovo jednotné jsoucno, o němž jistě za svého života slyšel, rozložil na nesčíslné a stále se pohybující hmotné prvky – atomy. Byl tak prvním člověkem, který stanovil atomy za počátky všeho.

Vyslovil také tezi o popření náhody: „Nic se neděje nazdařbůh, nýbrž vše podle řádu a nutně. Prohlasil také že nebytí existuje stejně tak jako bytí a díky tomu je možný pohyb.

*Demokritos* (asi 460 – 370 př. n. l.) dále rozvíjel Leukippův atomizmus.

Pocházel ze zámožné rodiny. Napsal na 70 spisů ze všech oblastí vědy a měl mnoho žáků.

Ve stopách Leukippa vytvořil Demokritos mechanický obraz přírody, která trvá věčně. Navíc Leukippovi Demokritos předpokládá u atomů i různou tíži. Důvod nedělitelnosti atomů je podle Demokrita jejich tvrdost. Nedají se dále dělit, protože jsou nekonečně tvrdé. K tomu aby atomy tvořili seskupení, musí mít háčky, díky kterým se drží pohromadě. Předpokládal také že může existovat nekonečně mnoho kombinací seskupení, a z toho tedy usoudil, že náš svět není vůbec nic jedinečného a může existovat totožný svět i jinde, stejně tak jako naši dvojníci.

V matematice se prosadil, jako objevitel způsobu výpočtu objemu kužele a jehlanu. Demokritos byl největším řeckým vzdělavcem před Aristotelem.

Demokritos našel důstojného pokračovatele ve filozofovi *Epikurovi* (341 – 270 př. n. l.)

V roce 306 založil v Athenách školu zvanou Kepos. Epikuros odmítal mytologické výklady, astrologii nazýval „nicotou“. Napsal na 300 spisů (svitků), které se však nedochovali. Zůstali nám jen ucelné texty jeho tří dopisů, Herodotovi, Pythokleiovi a Menikeovi. V těchto dopisech podává výklad svého učení. Zdůrazňuje, že atomy se liší svojí tíhou a jsou v neustálém přímočarém pohybu, na rozdíl od Demokrita ale připouští i náhodný pohyb, kdy atomy do sebe narážejí.

Teprve až v období nové Fyziky v 16. A 17. století, kdy se atomizmus začal důkladněji zkoumat, bylo učení řeckých atomistů oprášeno.

### **3.4 Léta největší úrodnosti řecké filozofie**

*Sokrates* (469 – 399 př. n. l.)

Byl to první řecký filozof původem z Athen. Projevoval pozoruhodné osobní vlastnosti: statečnost, skromnost, nezávislost myšlení. Ctnosti, které uznával, jsou moudrost, rozumnost, spravedlivost, statečnost, zbožnost. Proslul výroky jako např. „Poznej sám sebe“ nebo „Vím, že nic nevím“. Z toho všeho také vycházela jeho učení, byl názoru, že bez sebepoznání člověk nemá šanci dohledat pravdu, a že je lepší věřit v sebe, než v jiné autority. Nikdy však své názory nevnucoval, vykládal je jako doporučení. Díky jeho nadčasovým myšlenkám ale znepokojoval athenský tribunál, který ho nakonec donutil vypít smrtelnou číši bolehlavu, tím, že tuto smrt důstojně přijal, však jenom dokázal svoji oddanost idejím.

*Platón* (427 – 347 př. n. l.)

Byl žákem Sokrata a natolik ho uchvátilo jeho učení, že po dobu osmi let doprovázel Sokrata na jeho učeních a přednáškách. Po procesu se Sokratem opustil Atheny, vycestoval do Itálie, kde po nějakou dobu působil, nicméně ani tam se mu nepodařilo zavděčit a po několika letech kdy byl dokonce prodán do otroctví a posléze vykoupen vlastními přáteli se vrátil do Athen, kde už se politická situace ustálila a dala možnost Platonovi otevřít svou vlastní školu. Jednalo se o vzdělávací institut známý jako Akademia. Shromáždil zde velký počet žáků.

V Platonově Akademii působila i řada matematiků, astronomů a přírodovědců, mezi nimi už dříve zmíněný Eudoxos a Herakleides. Nejznámějším žákem byl však Aristoteles.

*Aristoteles* (384 – 322 př. n. l.)

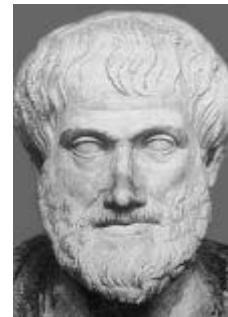
Aristoteles (obr. 7) se stal největším antickým filozofem. Vytvořil formální logiku jako způsob vědeckého uvažování. Soustředil se na Ontologii, neboli zkoumání světa, který nás

obklopuje. Prováděl experimenty a různá pozorování. Pokusil se vysvětlit zákonitosti pohybu těles. Můžeme ho považovat za prvního skutečného fyzika. Jeho spis „Fysika“ v latinském překladu byl používán při univerzitní výuce této vědy až do poloviny osmnáctého století.

Aristoteles je tvůrcem obrovské sbírky spisů na různé vědecké odvětví. Toto dílo je jednou z největších vědeckých prací, které jednotlivec kdy vytvořil. Jsou členěny podle obsahu do šesti skupin:

- 1) o logice
- 2) Přírodní filozofie a psychologie
- 3) Metafyzické
- 4) Etické
- 5) Politické
- 6) O literatuře a rétorice

obr. 7 Aristoteles



Zdroj:  
<http://leccos.com/index.php/clanky/aristoteles-ze-stageiry>

Z hlediska mechaniky a oboru pružnost pevnost jsou nejzajímavější spisy Metafyzické.

Jedná se o spisy obecných příčin věcí. Z řeckých slov meta (za) a fysikos (přírodní). Hmotné věci rozdělil na objekty živé, rostlinné, živočišné a výsledkem veškeré činnosti člověka pak na materiální, morální a teoretické. Fyzika je věnována nejobecnějším fyzikálním pojmům – prostoru, času, látce, příčině a pohybu.[1]

### 3.5 Chrám múz v Alexandrii

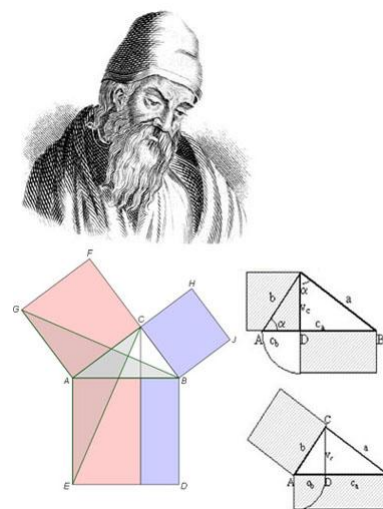
Výboji Alexandra Velikého začalo období starověkých

obr. 8 Eukleidus a některé jeho práce

dějín východního Středomoří a střední Asie nazvané v 19. Století německým historikem J. G. Drouysenem jako helénistické.

Helénizmem se obvykle rozumí historická epocha vymezená životem Alexandra Velikého a rokem 30 př. Kr, v němž svou samostatnost ztratil poslední helénistický stát, ptolemaiovský Egypt.

Z iniciativy Ptolemaia I. Tu vzniká velkoryse pojaté vědecké středisko určené pro výzkum, výuku, uchovávání a rozvíjení nových poznatků financované panovníkem, státem. Bylo nazvané Museion (chrám múz) a plnilo svou úlohu téměř 600 let.



Zdroj: [http://www.geo-info.ic.cz/mat\\_historie.php](http://www.geo-info.ic.cz/mat_historie.php)

V tomto místě působilo mnoho známých vědců a filozofů za zmínku stojí určitě jméno jednoho z nejslavnějších matematiků Eukleidus (asi 360 až 290 př. n. l.)

Je autorem jednoho z nejvýznamnějších matematických děl všech dob, které sloužilo jako učebnice geometrie až do nedávna. Dílo se jmenuje „Základy“ (řecky „Stocheia“)

Jednalo se o první knihu, která uceleně osvětlovala, co je to bod, přímka, plocha, úhel, kružnice v dalších knihách jste se mohli dozvědět o tom, jak se počítají obsahy, vědomosti o kruhu, Pythagorově větě (obr. 8). A také zde uvedl, že odmocnina ze dvou je iracionální číslo.

Tato sbírka 13 knih je ceněná právě pro její ucelenost, komplexnost, o všem co doposud lidstvo vědělo o matematice a výpočtech.

Za Hieronovy Vlády v Syrakusách působil také největší matematik, fyzik a technik starověku. Byl jím Archimedes (asi 287 – 212 př. n. l.)

Podle některých pramenů napsal Archimédés v egyptské metropoli své nejvýznamnější práce. Z nich se dochovala pojednání O rovnováze neboli těžištích rovinných obrazců, O kvadratuře paraboly, Poselství Eratosthenovi, O mechanické metodě řešení geometrických úloh, O kouli a válci, O spirálách, O konoidech a sféroidech, O plovoucích tělesech, Měření kruhu, Počítání písku, Kratochvíle, Poučky, Problém dobytka.[6],[1]

Archimedes (obr. 9) proslul jako geniální fyzik nebo mechanik, sám sebe ale považoval převážně za matematika. Nade vše cenil teorii, která vedla k přesnému výsledku.[5]



obr. 9 Archimédés při práci

Zdroj: <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/PictDisplay/Archimedes.html>

Stanovil číslo  $\pi$  pomocí Exhaustní metody. Jeho výsledek je, že číslo  $\pi$  je mezi 3,1409 – 3,1428

Svoje znalosti využil při obraně Syrakus, kdy vytvořil velký počet různých samostřelů a obranných systémů proti útoku lodí z moře. Ač dlouho odolávali, nakonec bylo město dobito a Archimedes zabit vojákem. Tomu při vyzvání, aby se vydal s ním za svým panovníkem, Archimedes podrážděně odpověděl: „Nenič mi mé kruhy“ zrovna totiž zkoumal další geometrickou rovnici.

Do toho období spadají i další vědci i filozofové jako příklad Stratón z Lamsaku, Ptolemaios z Alexandrie, ti se však věnovali více astronomii a jiným přírodním vědám které pro účel této práce nejsou podstatné.

Nicméně Z Helénistického období určitě ještě stojí za zmínku jména jako Filón Byzantský (3 – 2 stol. př. n. l) ten se věnoval fyzice a mechanice a jeho vědecké spisy jsou spolehlivým svědectvím o tehdejší úrovni znalostí hydromechaniky a hydrostatiky.

Další jméno je Herón Alexandrijský jeho narození stejně tak jako úmrtí je dosti nejasné. Co však víme s jistotou je skutečnost, že se jednalo o geniálního matematika, mechanika, fyzika, přírodovědce, technika a inženýra. Jeho dílo Encyklopedie užité geometrie a mechaniky je důkazem těchto znalostí. Héróna považuje jako prvního konstruktéra otáčejících se a tančících figurek, automatu na svícenou vodu, návrh a zhotovení složené kladky, pomůcek k měření vzdálenosti, určení druhých odmocnin racionálních čísel, vodotrysk, katapult a další.

## 4 STŘEDOVĚK A RENESANCE

Zánikem západorímské říše v roce 476 a následujícím neklidným obdobím, známým jako stěhování národů, začíná evropský středověk. Počátek středověku není pevně určen, jelikož každý považuje počátek tohoto období v souvislosti s jinou událostí. Průměrně se však jedná o rozmezí let mezi 500 a 600.

Období středověku až do roku 1400 se počítá jako nepříliš plodné co se vědy týče, nemůžeme určitě zapřít určitý vývoj technologií a znalostí, jednalo se však pouze o zdokonalení objevů Starověkých Řeků, jako byl zejména Aristoteles a také jiných starších civilizací. Zásadní bylo v tomto období objevení kompasu a také díky Arabským fyzikům a filozofům velké rozšíření znalostí ohledně optiky a astronomie. Velká novinka bylo také vynalezení střelného prachu.

V oblasti mechaniky bychom mohli jmenovat francouzského filozofa a rektora pařížské univerzity *Jean Buridan*. Byl to kritik Aristotelovy teorie pohybu a zavedl Impetus (podnět, poput, impuls, hybná síla, rozběh) jako veličinu úměrnou rychlosti a hmotnosti tělesa. Pohyb není přenášen pohybujícím se okolím, ale způsobuje jej impetus, tj. dodaná síla slábnoucí odporem prostředí. Nebude-li impetus udržován zrychlením, tj. trvale působící silou, těleso se po určité době zastaví. Při volném pádu je takovou silou tíže.

### 4.1 Arabský přínos vědy

V době kdy ve středověké Evropě bylo období temna, rozvoj vědy se přesunul do Arabských zemí. Prvopočátky jsou datovány na rok 622, kdy dvaapadesátý bohatý obchodník a vůdce karavan, hlasatel náboženství Muhammad, odešel spolu se svým nejbližším společníkem Abú Bakrem z Mekky kde byly pronásledovány. Usídlili se ve městě Jathribu, později známé jako Medína. Zde se později rozvinul silný muslimský stát, který díky své toleranci k náboženství dalo velký rozkvět vědy a techniky ve všech známých odvětvích.



Mezi nejznámějšího vědce této doby patřil Ibn Síná, známý také jako Avicenna (980 – 1037).

#### **4.1.1 Aristotelés Středověku**

Avicenna se narodil ve městě Ašfan na území dnešního Uzbekistánu. Jeho otec mu chtěl dát to nejlepší vzdělání, proto se později odstěhovali do Budcháry, kde žilo a tvořilo mnoho učenců, filozofů, básníků i lékařů a knihkupci tehdy nabízeli knihy o všech tehdy známých vědách. Avicennův mateřský jazyk byla perština, už ve svých 10 letech se však naučil arabsky a měl tak přístup k veškeré literatuře, která se v tomto období hojně překládala právě do arabštiny. Díky některým překladům máme dnes dochovaná díla, která by se jinak jen těžko historicky dohledávala. Avicenn se orientoval převážně na medicínu, sám sebe ale považoval zejména za filozofa. Jako lékař byl velmi žádaný zejména u panovníků, kterým tak dával nejlepší možnou péči a na oplátku za jeho služby pak měl posléze přístup do osobních knihoven těchto panovníků.

Z hlediska tvorby je mu připisováno až 160 arabsky nebo persky psaných knih, někdo však tvrdí, že tento počet je až trojnásobně větší. Avicenn považoval Aristotela za jeho největší vzor, to však neznamenovalo, že všechna jeho tvrzení byla správná. Neváhal proto s některými skutečnostmi nesouhlasit a prozkoumat je z jiného pohledu. Jeho přínos pro celou vědu a fyziku nevyjímaje je velice citelný a nebyť jeho poznatků, nebylo by ani dalšího vývoje vědy tím správným směrem. [6]

O prvopočátky vědního oboru Pružnost pevnost se však postaral až vědec, malíř, filozof, astronom, sochař, matematik, fyzik Leonardo da Vinci jeho všeobecný přehled a zájmy působení byli natolik široké, že vypsát všechny vědy a oblasti znalostí, o které se zajímal, by bylo nelehké.

## Leonardo Da Vinci (1452 – 1519)

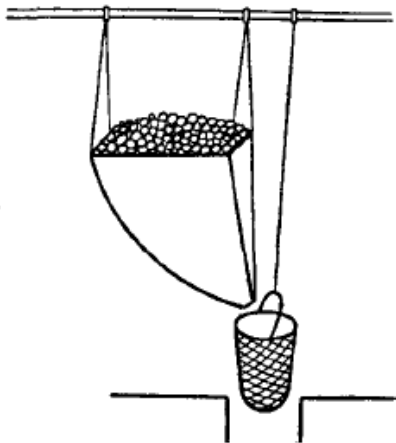
Leonardo (obr. 10) je záhadná osoba historie o kterém se příliš informací nedochovalo, stejně tak jako jeho díla a práce. Obrazy a sochy, které znají celý svět, jsou odrazem jeho precizností práce a neuvěřitelných znalostí fyziky, biologie, anatomie a dalších věd. Byl to člověk, který stejně jako například Aristoteles předčili svoji dobu. Vynalezl věci jako je padák, vrtulník, ponorku, rychlé opakovací dělo a další. Italská renesance jeho doby však nebyla schopna tyto vize zrealizovat. Toho si byl zcela vědom, a proto také mnohé projekty rozpracoval pouze do určité části, nastínil problém, nebyl však schopen ho dokončit. Věnoval se hlavně malířství a sochařině proto jeho podíl na technologiích byl spíše zálibou nežli jeho celoživotní cíl poznání. Byl první, kdo pochopil souvislost pohybu, síly a deformace a postavil se tím proti Aristotelovu pojetí síly. Byl také první, kdo prováděl zátěžové zkoušky, které jsou dnes základem pro rozvoj toho odvětví. Zkoušel pevnost konopných lan, jednoduchou tahovou zkouškou, zkoumal také dráty. Zabýval se také mechanismem tření a pevností nosníků v tahu a tlaku a ohybu. V jeho denících bylo nalezeno následující tvrzení „Mechanika je ráj matematiky, protože v ní získáváme plody matematiky. Stanovil také některé empirické vztahy

obr. 10 Leonardo Da Vinci



Zdroj:  
<http://www.leonardo.net/p17.jpg>

obr. 11 Zkouška drátu podle Leonarda



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957

Měření drátů probíhalo následovně: zkoušený drátek zavěsil na cokoliv, co uneslo tento drát i s předpokládanou zátěží, která na něj bude zavěšena na konec drátu, pak připevnil nádobku, do které postupně přisypával písek až do okamžiku protažení a přetržení zkoušeného drátku (obr. 11). Leonardo zkoušel různé délky drátků o stejné tloušťce a každé měření několikrát opakoval, aby tak potvrdil výsledné hodnoty. Po těchto zkouškách zjistil mimo jiné taky souvislost mezi délkou drátku a jeho výdrží.

Další jeho měření bylo měření tyčí na ohyb, měřil tyč vetknutou tak, že pokládal závaží na ni a postupně toto závaží oddaloval od místa vetknutí. Dospěl k závěru, že největší síla a také ohyb tyče vznikne při umístění zátěže až na konec tyče. Předpokládal také, že pokud tyč o délce  $x$  vydrží 100 jednotek zátěže, tak potom tyč o délce poloviční, čili  $x/2$  bude schopna udržet zátěž dvojnásobnou, čili 200 jednotek.

Tyto poznatky dále využíval v nosníkových konstrukcích a pro potřeby svých vynálezů.

Zavedl postulát, že statické tření roste s růstem času, po který jsou tělesa v kontaktu před jejich uvedení do pohybu. Postupem doby se vlivem empirických poznatku došlo k závěrům:

- při porušení ideálního stavu nastává odchylka, kdy menší tělesa mají poněkud menší tření. To znamená, že koeficient tření  $f$  závisí na reálné ploše kontaktů.
- S růstem normálové síly  $F_n$  dochází k poklesu  $f$ . [19]

Leonardo však nikdy své poznatky nepublikoval, své pokusy a teorie si zapisoval většinou do svých osobních poznámkových bloků. Proto také po jeho smrti na jeho odkaz nemohl nikdo přímo navázat.

## 4.2 Galileo Galilei

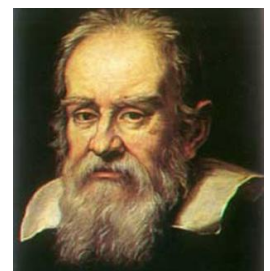
55 let po smrti Leonarda se narodil Galileo Galilei (1564 – 1642)

Ten se na rozdíl od Leonarda snažil vše pochopit a popsat a dějiny „Pružnosti a Pevnosti“ jako vědy ve většině publikací začínají právě tímto jménem.

Galileo (obr. 12) byl synem hudebníka a muzikanta, po otci zdědil hudební talent, který později využil velice zajímavým způsobem. Už od dětství se vzdělával, původně studoval medicínu. Školu však nemohl dokončit kvůli existenčním problémům. Nedostudoval však proto a musel se odstěhovat zpátky do svého rodného města. Velice ho zaujala učení Aristotela a Euklida. Dostal se také ke spisům Leonarda Da Vinciho a na jeho první pokusy a experimenty v oblasti fyziky a mechaniky později navázal vlastním výzkumem. Galileo Galilei měl veliký talent pro poznávání a pozorování, všiml si souvislostí, které dříve nikoho nenapadali a díky tomu se taky zasloužil o objevení mnoha významných faktů a skutečností nejenom na poli mechaniky ale i astronomie matematiky a dalších věd. Učenci renesanční doby se zpravidla věnovali vždy velkému rozsahu zkoumání, jen málokdo se úzkoprofilově věnoval pouze jedné vědě a ani Galileo proto nebyl výjimkou.

V říjnu roku 1604 provedl experiment s nakloněnou rovinou a kuličkou. Pozoroval tak rychlost pohybu kuličky po nakloněné rovině a měřil čas, za který se kulička skutálela až na zem. Pro potřebu tohoto pokus však potřeboval časoměr, který by dokázal zachytit časové rozdíly v rozmezí sekund, a to tehdejší vodní přelévací hodiny nemohli zprostředkovat. Vymyslel tak svůj vlastní způsob měření času. Na nakloněnou rovinu umístil ve stanovených intervalech napnutá střívka, která vytvořila struny. Pokaždé když se kulička kutálela a dotkla se struny, ta se rozezněla a přesně určovala polohu kuličky v daný okamžik. Každý pokus doprovázel hudebním doprovodem jedné stejné skladby. Jelikož byl výborným muzikantem, dokázal držet stále stejný rytmus hraní skladby a díky pozornému sluchu, který taktéž zachytil i tóny vydávané kuličkou pak dokázal přesně určit časovou prodlevu, za kterou se kulička dostala na zem. Tento způsob byl zvláštní leč velice zajímavý a přesný. Můžeme proto říci že Hudba byla tzv. „porodní babička“ dnešní fyziky.

obr. 12 Galileo Galilei



Zdroj:

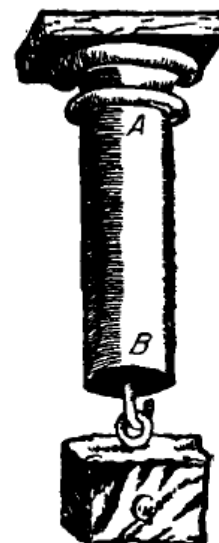
[http://www.iperspective.com/authors/galileo\\_galilei\\_quotes.html](http://www.iperspective.com/authors/galileo_galilei_quotes.html)

Galileo vyvrátil mnohé Aristotelovy teorie, stanovil na příklad, že tělesa mají stejnou rychlost volného pádu, nezávislou na váze (hmotnosti) tělesa. Bylo těžké přesvědčit o tom někoho, jelikož každý přece věděl, že list papíru padá rychleji, než olověná kulička. Tento jev odůvodnil pojmem tření a určil také, že fyzikální zákony se dají předpokládat pouze v dokonalém prostředí vakua, které v antických dobách vyvolávalo strach a obavy z prázdnoty.

Jeho obrovský přínos pro mechaniku a vědu potvrzuje hlavně knižní publikace vydaná roku 1638 o dvou nových vědách – v této knize seskupil a vyhodnotil všechny svoje předešlé práce a poznatky, experimenty, pokusy. Část knihy je věnována mechanickým vlastnostem stavebních materiálů a pevnost nosníků. Jednalo se o první publikaci, která popisuje mechanické odvětví pružnosti a pevnosti. Datem prvního výtisku této publika také začíná historie pružnosti a pevnosti ve své pravé podstatě.

Ve svých pracích o mechanice Galileo popisu skutečnost, která vychází z pozorování – Nelze stavět příliš velké lodě nebo budovy, protože čím větší je těleso tím větší má tíhu a tím křehčí je. Podotknul také závislost tloušťky a šířky, přesněji uvádí, že únosnost materiálu není závislá na délce, nýbrž na jeho příčném řezu, který je důležitý při zatížení ať už vlastní tíhou,

obr. 13 Tahová zkouška podle Galilea



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении

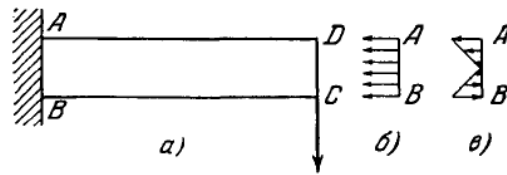
obr. 14 Ohybová zkouška dle Galilea



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957

nebo břemenem. Vysvětloval, že není možno, aby se člověk dorůstal obrovských výšek, jednoduše by se totiž zlomil, pokud by kosti vyrostli do výšky, museli by také v patřičném

obr. 15 působení síly a rozklad momentu dle Galilea



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957

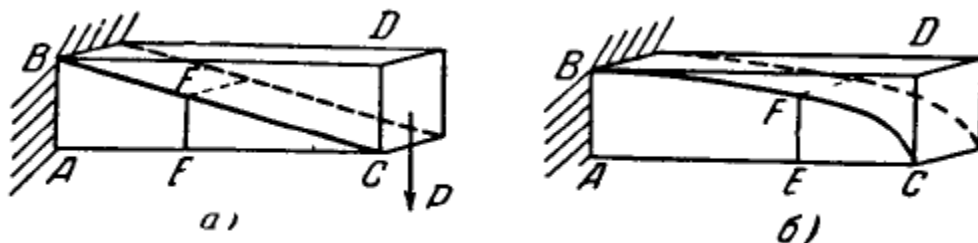
poměru růst i do šířky, což by zapříčinilo deformaci lidského těla, a takoví lidé by vypadali jako monstra. Ve své knize se věnoval zkoumání nosníků, které zkoušel na tah a tlak pomocí zavěšení břeměna na konec (obr. 13) a také zkoumal vliv ohybu na nosník, nejenom vetknutého ale i upevněného na dvou koncích. Na obrázku (obr. 14) vidíme zkoušku ohybu s popisky, Galileo správně určuje bod zlomu právě v bodě B a také stanovuje, že šířka BA je rameno, stanovující odpor.

Galilei zkoumal také zatížení nosníku upevněného na dvou bodech. Zjistil tak, že ohybový moment má největší hodnotu právě v místě působení síly. Rozklad těchto sil, čili reakce v opěrách A, B se dají poměrově rozpočítat podle délky ramen a, b (obr. 15).

Z toho se dá dále vyvodit, že nejmenší zátěž a opěry je, pokud síla působící na nosník, je přesně uprostřed délky nosníku. Tento poznatek ho také přivedl k myšlence, jak ušetřit na materiálu pomocí příčného řezu a zároveň zachovat pevnost konstrukce (obr. 16).

Z poměrových vztahů stran prizmatické konzole ABCD zjišťuje, že lze odstranit až polovinu materiálu to ovšem způsobí, že matematické výpočet nebude odpovídat požadavku na stejnou pevnost,

obr. 16 doporučený průřez Galilea



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957

Z dalších výpočtů se tak dostává ke tvaru paraboly, díky tomuto tvaru totiž platí následující rovnice:

$$\frac{(EF^2)}{(AB^2)} = \frac{EC}{AC}$$

Dále také přišel na to, že k tomu aby těleso mělo požadovanou pevnost, nemusí se jednat o jednolitý kus, nosník – může to být dutá součást a pomocí dalších výpočtů došel dokonce k závěru, že takové nosníky jako například trubky, mají dokonce větší pevnost, než tyč, stejného průměru. Jako důkaz považoval ptáky a jejich kosti, které jsou lehké a duté, přičemž ale velice pevné.

To vše jsou poznatky, které lidstvo do této doby neměla. Galileo tak položil základní kámen mechanického odvětví pružnost a pevnost. Nebýt tohoto velikého vědce tak by se technologický pokrok zpomalil na nepředstavitelně dlouhá léta. Tyto základy o výpočtech působení sil na materiál dali možnost zdokonalit konstrukci jak budov, tak i lodí, vozů, v podstatě úplně všeho.

### 4.3 Robert Hook

Začal svá studia už ve svých 13 letech. Byl seznámen jak s prací Euklida tak i Galilea a dalších předchůdců. Hook (1635 – 1703) se velice zajímal o fyziku, mechaniku, astronomii a samozřejmě také matematikou.

Byl také vášnivý Architekt. Po velkém požáru v Londýně, roku 1666 se aktivně podílel o znovu vybudování města a zasloužil se velkou částí na tom, jak dnes Londýn vypadá, dřevěné domky a úzké uličky byly nahrazeny širšími ulicemi a kamennými paláci. On sám projektoval několik budov.

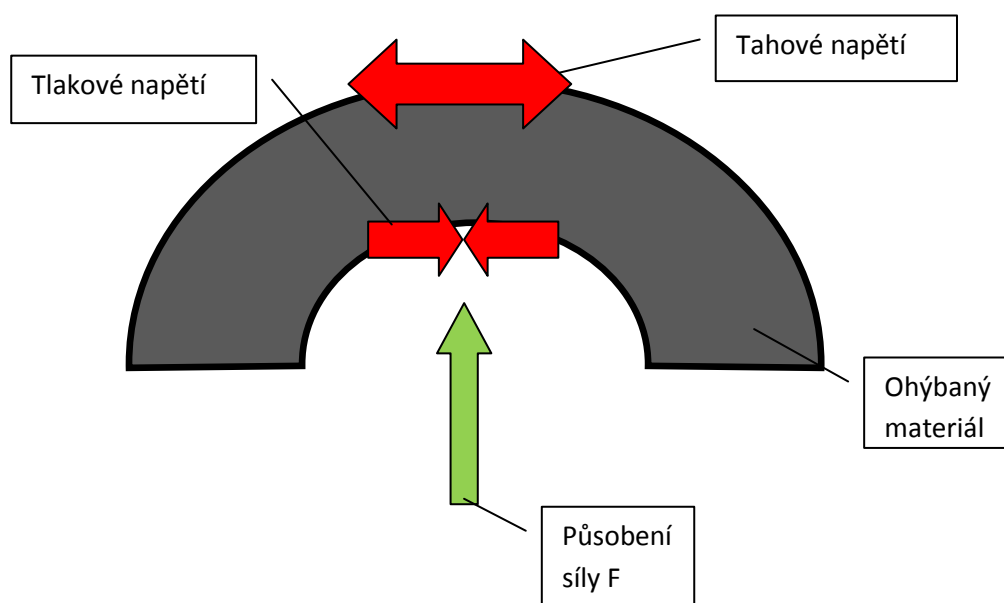
Zatímco Galilei zkoumal hlavně pevnost materiálů tak Hook (obr. 17) to vzal z jiného konce. Jako první prováděl experimenty s různými druhy pružin. Čili se věnoval hlavně pružností materiálů a doplnil tak tuto vědu o druhý element, který vyplývá už z názvu „Pružnost a pevnost“. Z jeho experimentů si zcela správně vyvodil, že pokud je materiál např. ohýbán, jako je tomu pružina, tak na spodní straně se materiál stlačuje a horní se rozpíná (obr. 18)

obr. 17 Robert Hook



Zdroj:  
<http://imechanica.org/node/113>

obr. 18 Schéma zatížení při ohybu



Zdroj: vytvořeno v MS Word z teoretických poznatků.

Stanovil také několik oblastí deformace materiálu: elastické deformace – vratné a plastické deformace – nevratné.

#### 4.3.1 Co přesně nám říká Hookeův zákon?

Deformaci tělesa lze vyvolat silovým působením. Deformaci nazveme pružnou, pokud se při odstranění působící síly vrátí deformované těleso do původní polohy. V dalších úvahách se omezíme právě na tyto deformace. Deformaci popisuje fyzikální veličina zvaná *napětí*. Značíme ji  $\sigma$ . Je číselně rovna podílu vnitřní síly  $dF$  a elementární plochy  $dS$   
$$\sigma = \frac{dF}{dS}$$

Míru deformace charakterizuje relativní deformace  $\frac{\Delta x}{x}$ . Je určena poměrem absolutní deformace  $\Delta x$  a původní veličiny  $x$ .

Experimentální závislost napětí na relativní deformaci vyjadřuje Hookeův zákon. Nepřesáhne-li napětí mez úměrnosti, je napětí  $\underline{s}$ , přímo úměrné relativní deformaci.

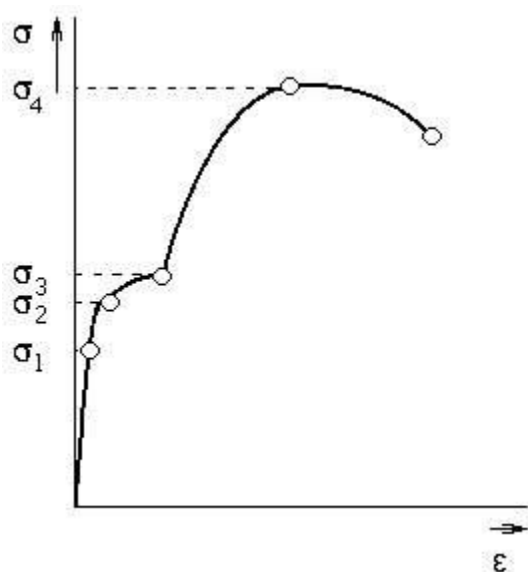
$$\sigma \sim \frac{\Delta x}{x}$$

Podélným prodloužením rozumíme prodloužení  $\Delta l$  délky  $l_0$  tělesa průřezu  $S$  působením napínací síly  $F$ . Podíl  $\frac{\Delta l}{l_0}$  označíme  $\varepsilon$ . Nazývá se relativní (poměrné) prodloužení  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$

Pro podélné prodloužení je Hookeův zákon vyjádřen vztahem  $\sigma = E \cdot \varepsilon$

Koeficient  $E$  se nazývá Youngův modul pružnosti v tahu. Je roven napětí, které by teoreticky vyvolalo lineární deformaci  $\Delta l$  stejně velkou, jako byla původní délka  $l_0$ .

obr. 18 Tahový diagram



Zdroj: <http://moon.felk.cvut.cz>

Podélné prodloužení určíme na základě předchozích rovnic jako  $\Delta l = l_0 \cdot \frac{\sigma}{E}$ .

Na obrázku vlevo je uvedena závislost  $\sigma$  na relativním prodloužení  $\varepsilon$  pro měkkou ocel.

$\sigma_1$ ...	mez	úměrnosti
$\sigma_2$ ...	mez	pružnosti
$\sigma_3$ ...	mez	kluzu
$\sigma_4$ ...	mez	pevnosti

Až do meze úměrnosti je napětí přímo úměrné relativnímu prodloužení. Mezi mezemi úměrnosti a pružnosti je deformace pružná, ale nelineární. Pro větší deformace než je mez pružnosti se těleso deformuje trvale. Při napětí větším, než je mez kluzu roste trvalá deformace a současně se zužuje průřez tyče, až napětí dosáhne nejvyšší hodnoty - meze pevnosti. Při dalším působení síly rychle roste deformace, průřez se dále zužuje, až dojde k přetržení tyče.

Podélné prodloužení je doprovázeno příčným zkrácením (zúžením)  $\Delta b$ . Podíl zkrácení  $\Delta b$  a příčného rozměru  $b_0$ , nazýváme příčné zkrácení (viz obr. 18).

Poměr relativního příčného zkrácení  $\frac{\Delta b}{b_0}$  a relativního podélného prodloužení  $\frac{\Delta l}{l_0}$  se nazývá Poissonovo číslo a značí se  $\mu$ :  $\mu = \frac{\Delta b}{b_0} \div \frac{\Delta l}{l_0}$ .

$$\text{Příčné zkrácení je tedy } \Delta b = \frac{b_0 \cdot \mu \cdot \sigma}{E}$$

O stávající definici Hookova zákona včetně všech jeho prvcích, se nezasloužil pouze Hook, ale jak můžeme z názvu „Youngův modul pružnosti v tahu“ vidět, tato finální formulace je prací vývoje více vědců. Hook však dal tomuto základní kámen a hrubý produkt, který se dále opracovával a zdokonaloval až k výše popsané formě. [20]



## 4.4 Blásie Pascal a Edme Marriott

obr. 19 Blásie Pascal



Zdroj:  
[http://www.mathe-  
 ma-  
 tik.ch/mathematike](http://www.mathe-<br/>
    ma-<br/>
    tik.ch/mathematike)

Na Práci Hooka navázali svoji činností dva učenci: Blásie Pascal (1623 – 1662) a Edme Marriott (1620 – 1684).

Blásie Pascal (obr. 19) byl francouzský matematik, fyzik a náboženský myslitel. Po celý svůj život trpěl úpornými bolestmi hlavy a nespavostí, dožil se jen 39 let. Ovšem svůj život věnoval vědě a leč za nepřilíš dlouhou

dobu života se zasloužil o mnohé objevy v oblasti fyziky i matiky.

Pascal se začal zabývat geometrií už ve 12 letech, od 14 let navštěvoval Mersennovy vědecké semináře, v 17 letech publikoval práci z projektivní geometrie kuželoseček a v 19 letech zkonstruoval mechanický počítací stroj – předchůdce dnešních kalkulaček. [14]

Blásie se nevěnoval přímo pružnosti a pevnosti, jeho objevy ale tuto vědu posunuli zase o kus dál.

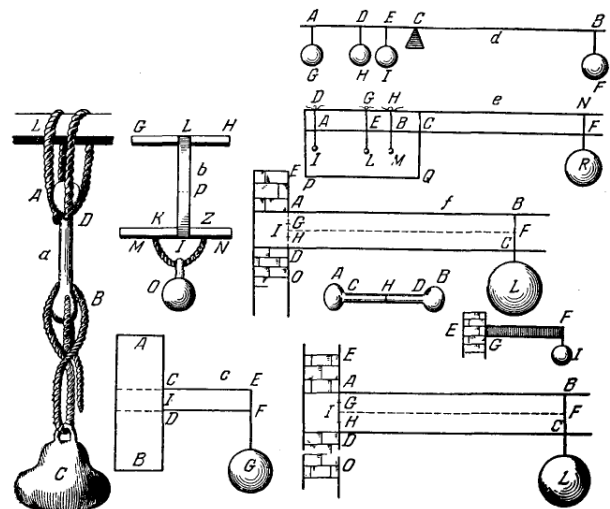
Ve fyzice spojujeme jeho jméno především se slavnými pokusy s atmosférickým tlakem a šířením tlaku v kapalinách. S použitím Torricelliho barometru Pascal dokázal, že atmosférický tlak klesá s nadmořskou výškou a že na hranici s atmosférou můžeme očekávat vakuum. [1]

V létech 1651 – 1654 sepsal Pascal své „Traktáty o rovnováze tekutin a tíze vzduchu“, které ovšem vyšly až po jeho smrti. Zdůvodňuje v nich dnes dobře známý zákon o tom, že tlak se šíří v kapalině všemi směry a že tento tlak závisí pouze na hloubce a hustotě kapaliny, nikoliv na jejím množství. Pascal také navrhl konstrukci Hydraulického lisu. [1]

Na počest Pascalovy práce byla po něm pojmenována jednotka tlaku, která se používá ve výpočtech pružnosti a pevnosti dodnes.

Zatímco se Pascal zajímal spíše o jiné odvětví fyziky, Marriott – francouzský fyzik a matematik prováděl

obr. 20 zkoušky Marriotta



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957

experimenty s nosníky stejně tak jako Galileo, ovšem popsal elastickou deformaci a plastickou deformaci u těchto nosníků a zpřesnil matematické výpočty Galilea téměř na konečný vztah používaný dnes.

K neznámějším pracím Marriotta je teorie o úderu, rázu, kterou demonstroval na 5ti zavěšených kuličkách.

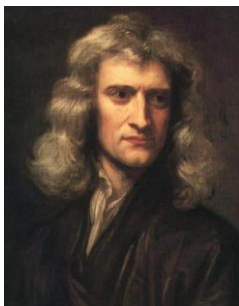
Jeho práce v oblasti pružnosti a pevnosti byla částí teorie pružnosti kapalin. Byl totiž pověřen o vybudování vodovodu pro palác ve Versailles. Experimentoval proto převážně s trubkami, které museli vydržet určitý tlak kapaliny. Pro tyto účely však musel rozpracovat teorie o tahu a ohybu stejně tak jako Galilei. Vše potom ověřit pokusy a matematickým vyjádřením aby si tak svoji hypotézu ověřil.

Marriott experimentoval také s nosníkem (obr. 20), který je vetknutý na obou stranách a dospěl k závěru, že takovýto nosník má větší únosnost než nosník na dvou opěrách. V oblasti hydrodynamiky potom jako první určil výpočet pro pevnost trubky, na níž působí zevnitř tlak kapaliny.

## 4.5 Isacc Newton

(1642 – 1727)

obr. 21 Isacc Newton



Zdroj:

<http://www.sciencekids.co.nz/pictures/scientists/isaacnewton>

Isacc Newton (obr. 21) byl matematická fyzik, který ačkoliv nezasahá přímo do odvětví pružnost a pevnost, tak díky svým výzkumům a pracím si zaslouží svoje místo v historii Fyziky jako člověk který tento obor silně ovlivnil, stejně tak jako i matematiku

Narodil se ve vesnici Woolsthorpe, přibližně 200 kilometrů od Londýna. Po porodu měl jen velmi malé šance na přežití, byl totiž velice malý a slabý. Po týdnu se však ukázalo, že se jeho stav zlepšuje a Isaac tak mohl začít svůj život.

Jeho život nebyl ideální, již od dětství byl šikanován a vystavován posměškům od ostatních jeho spolužáků. Byl hubený a malý, ve sportech nevynikal, ani v žádných jiných podobných disciplínách. Jeho talent byl však ve vědě. Věnoval se od malička studii fyziky hlavně mechaniky. Stavěl různé modely vodních mlýnků i hodin, zhotovoval také sluneční hodiny, které potom umisťoval na budovy spoluobčanů. Některé z těchto hodin se dochovaly až do dnes vzhledem k tomu, že byli velice přesné a majitele domů byli vděční za podobnou technickou vymoženost.

Na střední škole začíná stále jasněji chápat, že k opravdovému proniknutí mechanických problémů je nezbytná matika, ale ne ta matika, která se učí na škole. V roce 1666 objevil Newton derivace funkcí. Pochopil důležitost integrálů, jako „obrácených derivací“ a s pomocí těchto veličin dovedl analyticky zjišťovat tečny křivek a křivosti čar. Nejvíc se ale zapsal do paměti svými fyzikálními zákony, které popisují sílu, což podle Newtona dostává díky objevení gravitace úplně jiný rozměr než doposud.

Newtonovy zásluhy v mechanice a teoretické fyzice se pojí s jeho největším dílem a jedním z nejvýznamnějších děl vůbec. Tím je dílo „Matematické základy přírodní filozofie“. Tato kniha přinesla úplný a přehledný systém dynamiky hmotných bodů, tuhých těles a tekutin. Newtonův spis obsahuje v prvním svazku mechaniku bodů a tuhého tělesa, ve druhém hydromechaniku a ve třetím mechanický a astronomický obraz kosmu.

Objevy Galileovy a Descartovy byly významné a revoluční. Byl to však Newton, který z nich udělal provázaný systém. Klíčovým pojmem, který spojoval Galileův zákon zrychlení a Descartovu práci o srážkách těles, byla gravitace, jejíž objev je jeho nejvýznamnějším vědeckým úspěchem.

Newton definoval veličinu síly jako to, co způsobuje změnu hybnosti předmětu. Protože změna hybnosti je v podstatě změna rychlosti a to se rovná zrychlení ( $a$ ). Síla  $F$  je tak přímo uměrná velikosti zrychlení. Čím větší hmotnost předmět má, tím větší sílu je potřeba vynaložit pro změnu jeho hybnosti. Vzniká tak známý vztah:  $F = m \cdot a$

V pružnosti a pevnosti je síla definována právě takto, a pokud na těleso nepůsobí jiná hybná energie než zemská tíha tak vzorec vypadá takto:  $F = m \cdot g$

Malé písmeno  $g$  pak značí gravitační zrychlení.[21]

## 5 OSOBNOSTI 18 A 19 STOLETÍ – FRANCOUZSKÁ REVOLUCE A GÉ-NIOVÉ TÉTO DOBY

### 5.1 Bernoulliové

Newton a Leibniz vytvořili novou matematiku, která se stala základem teoretické fyziky. Do té doby byl hlavním nástrojem fyziky geometrie a vládl v ní duch Archimedův. Nová matematika začala pracovat s proměnnými veličinami a jejich funkcemi, limitami a nekonečnými řadami, diferenciály a integrály.[1]

obr. 22 Jacob Bernoulli



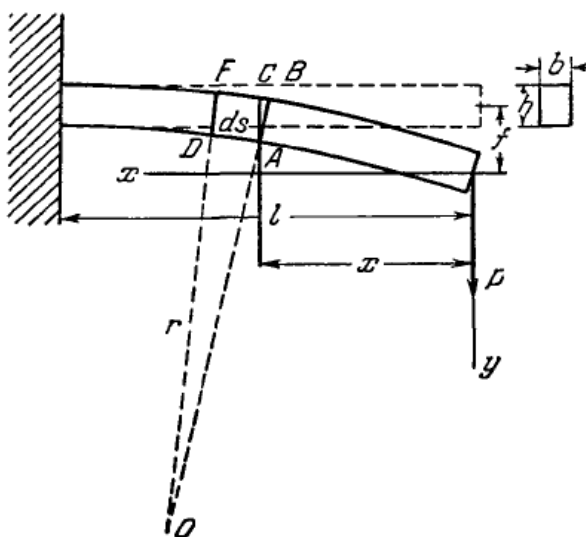
Zdroj: <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk>

Další pokrok fyziky a matematiky se přenesl do švýcarského provinčního města Basilje. V tomto městečku se usadila rodina Bernoulliů, která byl až neuvěřitelně plodná na matematiky a fyziky. V oblasti pružnost a pevnost stojí určitě za zmínku tato dvě jména: Jakob Bernoulli (1657- 1706) a později také jeho synovec Daniel Bernoulli (1700 – 1782).

Jakob Bernoulli (obr. 22) byl velmi aktivní učenec, který přednášel na univerzitách a pravidelně publikoval všechny své objevy, to se naopak nedá říci o Newtonovi, který si mnohé ze svých teorií nechal pro sebe.

Jakob rozvíjel také teorie ohledně pružnosti materiálu. Zaujal ho hlavně ohyb a průhyb. Definoval ohybové čáry pružného nosníku (obr. 23).

obr. 23 ohyb dle Jacoba Bernoulliho



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957

Definoval vzorec  $C = \frac{m \cdot b \cdot h^3}{3}$ . Ten je přiznán za pravdivý a dále ho rozvíjel Euler a další vědci ve svých pracích.

V nákresu jeho práce mu lze vytknout pouze poloměr kružnice, který zcela neodpovídá dnešním dokázaným znalostem.

Daniel Bernoulli, syn Johana Bernoulliho, geniálního matematika, který na vědeckém poli soupeřil se svým bratrem Jacobem, je znám především pro svoje publikované dílo „Hydrodynamika“. Také se nezanedbatelnou mírou podílel na vývoji oboru pružnosti a pevnosti. Jeho student Euler mu může vděčit za cenné rady, které mu Bernoulli dal. Ve svém

obr. 24 Daniel Bernoulli



Zdroj: <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk>

dopise Daniel napsal: „Jelikož nikdo nevládne takovými matematickými znalostmi v oblasti kombinatoriky a variací čísel jako vy, bude pro vás jednoduché vyřešit problém, ve kterém je potřeba výraz  $\int \frac{ds}{r^2}$  učinit bezvýznamným. Touto a také dalšími radami nasměroval činnost Eulera na správnou cestu.

Daniel (obr. 24) také vytvořil diferenciální rovnici příčného kmitání prizmatického nosníku. Krom činnosti matematika se totiž věnoval také praxi – byl velikým experimentátorem. Díky experimentům také vytvořil situace, které dále lámaly hlavu Eulerovi a tím pádem podněcovali jeho práci.

Díky těmto skutečnostem si proto Daniel Bernoulli zaslouží místo v Historii vývoje vědního oboru pružnost a pevnost.

## 5.2 Leonhard Euler

(1707 – 1783)

Leonhard byl ve své době považován za nejplodnějšího, nejpracovitějšího a nejtalentovanějšího matematikem a fyzikem. Jako důkaz těchto tvrzení nám poslouží prostý součet publikací, které po něm zůstaly. Zanechal po sobě 40 knih, více než 850 vědeckých prací, tisíce dopisů s odbornou tematikou, obeslal desítky soutěží a získal desítky ocenění. Bylo vypočítáno, že ve svém dospělém životě učinil Euler každý týden nový vědecký objev.

Euler (obr. 25) se narodil Basileji, ale vyrůstal v malé obci Riehen u nedaleko Basileje. Jeho otec se také zajímal stejně jako v budoucnu i Leonard o matematiku, navštěvoval pravidelně přednášky bratrů Bernoulliů. Euler se tak své první znalosti dozvěděl od svého otce. Ve 14 letech studoval na basilejské univerzitě teologii, řečtinu a hebrejštinu. Johan Bernoulli však brzy odhalil jeho veliký talent pro matematiku, na kterou se později se souhlasem jeho otce Euler přeorientoval.

Svou vědeckou činnost vedl Euler především na dvou místech. V Petrohradě v Rusku, jež se stalo jeho druhým domovem a v Berlíně kde působil jako ředitel matematického oddělení. V Berlíně působil 25 let, nakonec se ale v jeho 60 letech vrátil kvůli politické situaci zpět do Ruska, kde měl ideální podmínky pokračovat i nadále ve své vědecké činnosti.

Rozsah prací Leonharda Eulera je na tolik veliký, že si netroufám přiblížit všechny jeho práce a podíly na rozvoji jak mechaniky, tak i fyziky. Základní jeho dílo na poli Fyziky je dvoudílná „Mechanika“ („Mechanika neboli nauka o pohybu vyložená analyticky“) která vy-

obr. 25 Leonhard Euler



Zdroj:  
[http://www.sciencephoto.com/  
media/224916/view](http://www.sciencephoto.com/media/224916/view)

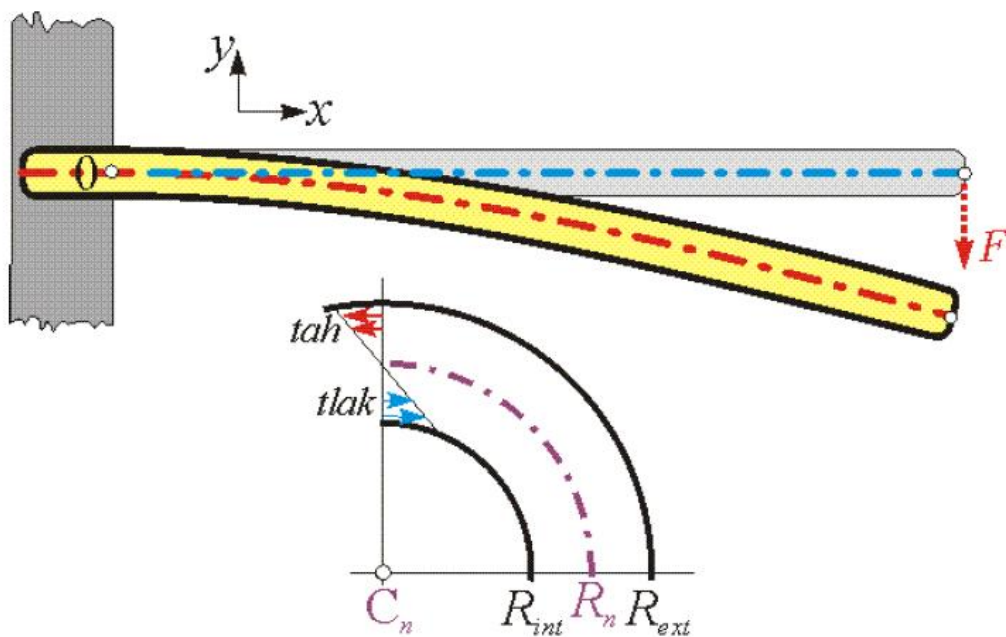
šla v Petrohradě r. 1736. Euler v tomto díle systematicky shrnuje poznatky o mechanice hmotného bodu pohybujícího se ve vakuu, nebo v odporujícím prostředí pod vlivem gravitačních sil, případně na nějakou křivku nebo plochu.

Z výzkumu v oboru pružnost pevnost určitě stojí za zmínku následující práce:

### 5.2.1 Ohyb nosníku

Tento problém řešili skoro všichni jeho předchůdci, Euler však veškeré poznatky dokládal matematicky.

obr. 26 Schéma zatížení nosníku



Zdroj: KOUTNÝ, F. Leonhard Euler. přednáška, 24. 1. 2011.

Zatížení vertikální silou  $F$  vyvolává moment  $M = (r \times F)$ , kde  $r$  je polohový vektor působíště síly  $F$  v referenční soustavě s počátkem v  $0$  a  $x$  značí vektorový součin), který je v rovnováze s momentem napětí na ploše průřezu  $A$ .

Dolní část obrázku znázorňuje, že deformace je daná polohou bodu vzhledem k neutrální ploše. Zvolíme-li bod na neutrálním vláknu jakožto rovinné křivce, přísluší mu poloměr křivosti  $R_n$  a střed křivosti  $C_n$ . Je-li  $R$  vzdálenost bodu nosníku v rovině neutrálního vlákna od středu křivosti  $C_n$  odpovídá mu poměrná deformace  $\varepsilon(R) = \frac{(R-R_n)}{R_n}$ . Položíme-li  $x = R - R_n$ , dostaneme poměrnou deformaci  $\varepsilon(x) = \frac{x}{R_n}$  a napětí  $\sigma(x) = E \cdot \frac{x}{R_n}$ , kde  $E$  je Youngův modul

pružnosti. Pro rovnováhu momentů síly a napětí musí platit  $M = |M| = \iint x\sigma(x)dA = \frac{E}{R_n} \iint x^2 dA$ .

Integrál na pravé straně,  $J = \iint x^2 dA$ , je moment setrvačnosti průřezu vzhledem k ose kolmé na podélnou osu nosníku a ležící na neutrální ploše v uvažovaném bodě. Tak jsme dospěli ke známému Bernoulliho - Eulerovu vztahu:  $M = \frac{EJ}{R_n}$ .

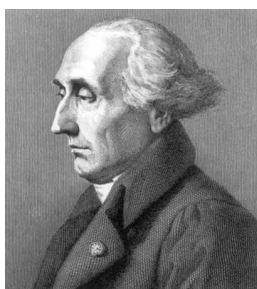
Je zajímavé, že Euler používal lineární aproximaci a konstantu E už v roce 1727, tedy 80 let pře T. Youngem.[13]

Dále ještě můžeme zmínit Eulerovu práci na Vzpěr a kritické zatížení viz[13]

### 5.3 Joseph Louis Lagrange

(1736 – 1813)

obr. 27 Joseph Louis Lagrange



Zdroj:  
<http://mathdl.maa.org/mathDL/46>

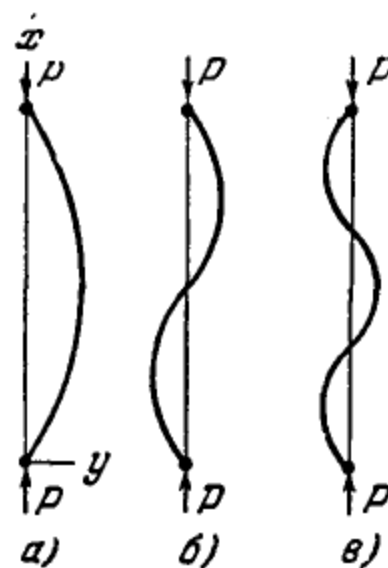
Byl to žák Eulerův a patřil k největším matematikům své doby.

V roce 1788 vydal v Paříži svůj slavný traktát „Traktát o analytické mechanice“, která dala mechanice Newtona úplně novou podobu, mnohem obecnější a elegantnější.

Lagrange (obr. 27) se narodil v italském Turínu v rodině zchudlého vojenského pokladníka jako nejstarší z 11 dětí. Po studiu na turinské

koleji se Lagrange rozhodl věnovat matematice a začal publikovat první vědecké práce.[1] Euler si Lagrange všimnul už v jeho útlém věku 19 let, kdy začal Joseph už přednášet a vydávat své vědecké práce, které zasílal Eulerovy. Euler prosazoval volbu mladého Lagrange za člena berlínské Akademie a inicioval jeho opakované pozvání do Berlína.[1] Ten se však necítil hodný nabídnutého postu. Místo toho vytvořil v Turínu vědecký kroužek, který se později rozvinul do turinské akademie. Později však do Berlína přece jen dorazil a zastoupil po odchodu Eulera jeho místo. V Berlíně měl výborné podmínky ke své vědecké práci. Po smrti Fridricha II se však podmínky zhoršili a byl proto nucen odjet do Francie. Ve Francii však vypukla Revoluce a vláda Napoleona nebyla pro vě-

obr. 28 tlakové namáhání na prut



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов...

decký rozvoj zrovna přínosná.

Jesech ačkoliv několikrát musel změnit místo působení v jeho práci nikterak ustupoval. Jeho největší zásluhou na poli pružnosti a pevnosti je výzkum prizmatického styčnicku, namáhané na vzpěr, kdy síla  $P$  působí na styčnick z obou stran (obr. 28). Tyto práce publikoval ve svých memoárech: Sur la figure des collones.

Zadaný problém ho přivádí na následující vztah:

$$C \frac{d^2y}{dx^2} = -Py$$

Ten už publikoval Euler při jeho výzkumech. Dále ukazuje, že řešení rovnice vypadá takto:

$$y = f \sin \sqrt{\frac{P}{C}} x$$

Výraz je však platný pouze při splnění následující podmínky:

$$\sqrt{\frac{P}{C}} l = m \cdot \pi$$

Kdy  $m$  je celé číslo. Z toho vyplývá, že zátěž, při které kolona, nebo styčnick bude mít nejmenší ohyb je dáno výrazem:

$$P = \frac{m^2 \pi^2 C}{l^2}.$$

## 5.4 Pierre Simon Laplace

(1749 – 1827)

Patřil k velkým francouzským matematikům a teoretickým astronomům. V 19 letech přišel z rodné Normandie do Paříže s doporučeným dopisem d'Alembertovi, který ostatně ihned rozpoznal jeho matematický talent. Patřilo mu místo učitele matematiky na vojenské škole, kde jeden z jeho žáků byl Napoleon Bonaparte. Naštěstí pro Laplace (obr. 29) se Napoleonovi podařilo, zvládnou zkoušku z matematiky a tím si vybudovat zvláštní vztah, ze kterého později dobře oba těžili.

Laplace byl zastáncem Newtonovské mechaniky, a proto stroze tvrdil, že celý svět je jeden velký mechanický pohyb a že tím pádem je

obr. 29 Pierre Simon Laplace



Zdroj:  
<http://carolbarra.wordpress.com/16-2/>



svět předurčen a není v něm místo na náhodu. Tento jeho postoj nazýváme taky často jako „laplaceovský determinizmus“.[1]

Jeho nejznámější a nejvýznamnější dílo je „Traktát o nebeské mechanice“. V oblasti fyziky matiky je však také znám pro objevení nových metod integrování a řešení diferenciálních rovnic. Přispěl k teorii magnetizmu, tepla, kapilarity, dvojlomu světla, šíření zvuku, rotace pružných a kapalných těles.

Laplace nebyl příliš oblíbený u svých kolegů. Byl znám pro svoji politickou nestálost, autoritativní a se samolibou povahou. Nebránil se ani přivlastňováním některých teorií za vlastní, příkladem toho jsou například práce Lagrange, které si Laplace rád přivlastňoval a dále rozvíjel.

## 5.5 J. - C. Sait - Venant

(1797 – 1886)

obr. 30 J.- C. Saint - Venant



Zdroj: <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk>

Tento Mechanik a inženýr se narodil ve Francii. Již na střední škole pocítil svůj talent k matematice, bylo mu tehdy 16 let. V roce 1813 nastoupil na Polytechnickou školu, ze které byl vyloučen v roce 1814. Důvod jeho vyloučení byl jeho negativní postoj k Napoleonovi, kterého považoval za šílence který, chce ovládnout celý svět. Při mobilizaci Polytechniky tak odmítnul svou účast. Na tuto školu už se mu nepodařilo vrátit, ale písemné žádosti nastoupil na akademii mostů a silnic, kde ačkoliv nepříliš oblíben dokončil jako první s titulem.

Po školních letech se věnoval také praktické činnosti, působil tak jako konstruktér a také zasedal v radě o stavbách mostů a cest.

V roce 1843 představil v Pařížské akademii věd memoáry věnované problematice ohybu a vzpěru styčnicku a také pružin, a v roce 1847 o krutu nekruhových těles. Přesněji byly popsány tyto práce v memoárech 1855 a 1856 roku[11].

V roce 1868 byl Saint-Venant zvolen aktivním členem Pařížské akademie věd. Ve stejnou dobu si také všimnul experimentální práce o stlačování kovu, kterou vykonal A. Treska, ty byli opublikovány v „Comptes Rendus“ (doklady Pařížské akademie věd). Výsledkem toho byla publikace dvou prací Saint-Venana, které se stali základem moderní teorie pružnosti materiálu.

Další dva vědci, kteří působili ve stejnou dobu mimo jiné také v oblasti pružnosti a pevnosti jsou Thomas Young a Denis S. Poisson.

## 5.6 Thomas Young

(1773 – 1829)

obr. 31 Thomas Young



Zdroj:

<http://www.unmuseum.org/rosetta2.htm>

Tento neobyčejně talentovaný vědec se narodil v roce v Milvertonu. Od dětství měl velmi silné nadání na jazyky, už ve svých 2 letech dokázal plynule číst. V 6 letech se učil latinsky a v 16 letech mluvil a rozuměl dalším 8mi jazykům. Díky tomu mohl studovat mnoho literatury ze všech koutků země. Thomas Young se věnoval především lékařství. Jeho záběr na poli vědy bylo však mnohem širší. Aktivně se věnoval Fyzice, egyptologii, astronomii a dalším vědám.

Pro mechaniku je nejvýznamnější zejména jeho modul pružnosti  $E$  tzv. Youngův modul pružnosti, který číselně určuje velikost plastické deformace uměrné přiloženému mechanickému napětí. Čím je toto číslo vyšší, tím je materiál méně poddajný. Tento modul už používal Euler při svých výpočtech, patentoval ho a také dotvořil do dnešní podoby právě Thomas Young.

Ve stejnou dobu jako Thomas byl na výsluní také Denis S. Poisson.

## 5.7 Denis S. Poisson

(1781-1840)

Denis S. Poisson, pocházel z nemajetkové venkovské rodiny, vystudoval s výtečnými výsledky Polytechnickou školu a stal se profesorem matematiky, později geometrem Ústavu pro váhy a míry. V mechanice se zabýval teorií pružnosti a také souvislostí mezi tlakem a objemem plynu při náhlých, adiabatických změnách stavu ideálního plynu.[1]

Při řešení rovnic mechaniky zavedl Poisson známé „Poissonovy závorky“, které pak našly významné uplatnění zejména v kvantové mechanice.

Rovněž pro mechaniku, tentokrát přímo pro pružnost a pevnost je známo jeho číslo tzv. Poissonovo číslo“. Toto číslo je převrácena hodnota Poissonovy konstanty a udává poměr mezi příčným zkrácením a podélným prodloužením tyče čtvercového průřezu při tahové deformaci. Každý materiál má tak podobně jako Youngův modul  $E$  jinou hodnotu tohoto čísla.

V praxi potom výpočet vypadá takto:

$$\mu = \frac{1}{m} = \left| \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} \right|$$

obr. 32 Denis S. Poisson



Zdroj:

<http://leccos.com/index.php/clanky/poisson-simeondenis>

Kde  $\mu$  je poissonovo číslo,  $m$  je poissonova konstanta,  $\epsilon_y$  je poměrná deformace v příčném směru,  $\epsilon_x$  je poměrná deformace v příčném směru.

## 5.8 Louis Navier

(1785 – 1836)

obr. 33 Louis Navier



Zdroj:

[http://www.lagrang  
e.it/](http://www.lagrang<br/>e.it/)

Tento francouzský vědec se narodil v Dijon, v rodině bohatého advokáta. Ve 14 letech ztratil svého otce a byl přijat do pěstounské péče svého strýce. Jeho strýc byl známý francouzský inženýr Emiland Gauthey. Ten vložil do výuky mladého Naviera mnoho úsilí.

V roce 1802 se Navier dostal na polytechniku ve Francii. Po ukončení školy byl přijat do školy mostů a drah, kde se dříve učil a později i přednášel matematiku jeho strýc. Gauthey využíval každou příležitost k tomu, aby Naviera seznámil s praktickými poznatky v problematice stavby mostů a kanálů. Právě díky tomuto úsilí mohl později Louis využívat své teoretické znalosti k řešení praktických úloh mechaniky.

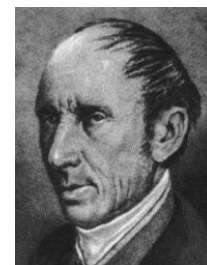
Po smrti jeho strýce se mu naskytla první příležitost využít svých schopností. Gauthey před smrtí rozpracoval třídílný traktát o mostech a kanálech, které už nestihl vydat. Završení díla a následná publikace tak zůstala na jeho synovci.

V letech 1809 až 1816 vydal postupně všechny tři traktáty, ty však doplnil vlastními poznatky a teoriemi, které vynesly publikaci na patřičnou vědeckou úroveň dané doby. Tyto doplňky představují velký přínos pro historii vědy, jelikož odrážejí vědecký vývoj daného období ve velice přesné formě.

V roce 1826 vydává Navier knihu o pružnosti materiálu. V této knize je vidět jasný pokrok a vývoj této oblasti dokonce s porovnáním druhé poloviny 18 století.

Matematici a fyzici 18 století řešili převážně kritickou výdrž neboli kritickou pevnost materiálu, čili hodnotu, při které se materiál rozruší, na rozdíl od toho Navier už od začátku knihy správně podotýká vážnost zkoumání materiálu z hlediska jejich ideální pevnosti. Pokládá za důležitější otázku „Do jakého maximálního zatížení má zkoumané těleso maximální pevnost?“ A ne „Při jakém zatížení dojde k destrukci“. V této publikaci Navier odvodil dnešní známé vzorce pro jednotlivá zatížení. Navázal tak na dílo Eulera, které ale upřesnil a doplnil o poznatky ze zkoušek a experimentů své doby.

obr. 34 Augustin Louis Cauchy



Zdroj:

[http://www.lagran  
ge.it/](http://www.lagran<br/>ge.it/)

Významnou roli v matematickém vyjádření výpočtů pružnosti a pevnosti sehrál také Augustin Louis Cauchy (1789 – 1857)

Ten žil po červencové revoluci v letech 1830 – 1836 v Praze u vévody z Bordeaux. Byl zapřísáhlý royalista, zachoval věrnost bourbonskému královskému rodu. Přesto se mohl později vrátit do Francie, kde se později stal profesorem teoretické astronomie. Byl jediný profesor, který nemusel přísahat věrnost republikánské vládě. Jemu lze připsat nejpodstatnější krok, analýze vztahu mezi napětím a přetvořením. Jeho životní dílo bylo vydáno ve 27 knižních svazcích.

## 5.9 C. O. Coulomb

(1736 – 1806)

Tento francouzský fyzik a mechanik se narodil v Angouleme na jihu Francie. V dětství studoval na prestižní škole Mazarini. Zde byl kladen velký důraz na matematiku a Coulomb si v této vědě našel velké zalíbení, nakonec si ale zvolil vojenské povolání. Stal se specialistou na vojenské stavby. Díky tomu se také začal zajímat o pružnost a pevnost a také statiku, kterou mohl a také musel používat při projektování svých staveb.

V roce 1773 představil v Pařížské akademii věd svou práci: Memoár o statice [12]. Tato práce obsahovala 4 části. První část byla věnována výzkumu křehkých materiálů a jejich reakcí na tah a tlak, druhá část se věnovala příčnému ohybu, třetí část se věnovala tlaku sypkého tělesa na opěrnou stěnu a čtvrtá na zátěž kamenných oblouků. Coulomb taky dal správné řešení problému s vetknutým nosníkem se silou působící na volném konci nosníku.

V roce 1785 našel Coulomb zákon pro silové působení nábojů - tzv. *Coulombův zákon*. Podobný zákon odvodil i pro silové působení magnetických pólů.[25]

Coulombův zákon: Síla, kterou na sebe vzájemně působí dva statické bodové náboje, je přímo úměrná součinu obou nábojů a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti:

$$F = k \cdot \frac{(Q \cdot q)}{r^2}$$

## 5.10 Počátky železničních vlaků a stavby drah

19 století je spojováno také s první železniční tratí. V této sféře je pružnost pevnost nesmírně důležitá. Pro výpočty maximální zátěže kolejí a lokomotiv je potřeba využít všech předešlých doložených znalostí. Na území Rakousko-Uherska a dnešních Čech se v této sféře zapsal do paměti zejména FR. J. Gerstner (1756 – 1832) Ten v letech 1772 – 1777 studoval na filozofické fakultě v Praze. Mezi jeho studia patřila elementární matematika, vyšší matematika a astronomie. V roce 1785 publikoval Gerstner astronomickou práci, ve které opravil zeměpisnou délku řady významných evropských měst. Po reorganizaci technického ústavu v Praze se Gerstner stal roku 1806 jeho ředitelem, zde také přednášel na téma pružnosti a

obr. 35 Fr. J. Gerstner



Zdroj: Osobnosti  
historie pružnosti a  
pevnosti

pevnosti a hydromechaniky. Roku 1830 vydal své známé dílo „Handbuch der Mechanik“, které si objednal i císař František I. Gerstner (obr. 35) se zajímal o stavbu železnice z Budějovic do Lincea, ale po neshodách se státní správou nakonec celý projekt předal svému studentu a synovi Antonínovi. Mezi jeho další studenty patřil i Jan Perner (1815 – 1845) ten byl řádný a pilný student Pražské polytechniky. Ukázal se jako nadaný projektant a praktik v oblasti stavby železnic. Perner se již na škole ve svých 21 letech přihlásil na stavbu železnice v rusku, kterou řídil František Antonin Gernstner. Ještě téhož roku se však vrátil a začal pracovat na severní dráze císaře Ferdinanda. Jan Perner je taky projektant prvního Pražského nádraží dnes známe jako Masarykovo nádraží. A byl také prvním, kdo přivezl vlak do Prahy v roce 1845. Svůj život musel předčasně ukončit kvůli nehodě v tunelu a to v pouhých 30 letech života.[14]

O železnici se také velice zajímal Dmitrij P. Žuravskij (1821 – 1891) tento ruský inženýr už od střední školy projevoval velké nadání na matiku a fyziku. Stal se tak v budoucnu stavitelům mostů, a železnic. Byl v roce 1840 pověřen přímo carem průzkumem stavby železnice z Petrohradu do Moskvy. Žuravskij se zabýval výpočty výdrží kolejí ve studeném stavu. Řešil taktéž ohyb příčného nosníku, kde stanovil kritická napětí. V roce 1869 odjel do Ameriky, aby se seznámil se stavitelstvím železnice v USA. Své zkušenosti z této cesty pak shrnul v díle“ O mostech podle příhradového systému“ tuto práci psal 10 let.

Se jménem Dmitrij P. Žuravskij se také často spojuje jméno Johann Wilhelm Schwedler (1823 – 1892) německý inženýr, který se podílel na stavbě Frankfurtského hlavního nádraží, místě, kterým denně prochází přes 350 000 lidí. Oba tyto vědci jsou společně podepsány pod Schwedler-Žuravského větou, která popisuje vztahy pro vyjádření vnitřních statických účinků u přímých nosníků se spojitě rozloženým zatížením.

Od druhé poloviny 19 století vývoj mechaniky obecně a hlavně potom odvětví pružnosti a pevnosti nabralo na obrovsky rychlý vývoj a této problematice se věnovalo mnoho dalších učenců. Bylo by nemožné uvést všechna jména a zásluhy. Můžeme však říci, že v 19 století byly položeny všechny historické kameny pružnosti a pevnosti.

## 6 VÝVOJ 20 STOLETÍ

obr. 36 Prokofjevič  
Timošenko



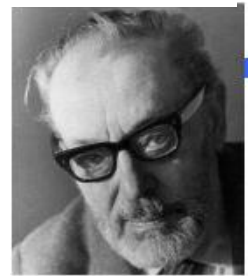
Zdroj:  
[http://smitu.cef.spb.stu.ru/timoshenko\\_en.htm](http://smitu.cef.spb.stu.ru/timoshenko_en.htm)

Jako zástupce 20 století určitě stojí za zmínku jméno Štěpán Prokofjevič Timošenko (1878 – 1972) byl to bělogvardějským důstojníkem a světově uznávaným znalcem aplikované mechaniky ještě za carského Ruska. Za bolševické revoluce se zachránil útekem do Kijeva, odjel posledním vlakem, který toto město před jeho pádem opustil. Nějaký čas pobýval i v Praze, ale pak našel útočiště v Záhřebu v tehdejší Jugoslávii, kde se stal učitelem na průmyslové škole. Bydlel v kabinetu školy. Tam si ho vyhledali Američané a pozvali k návštěvě Spojených států. Timošenko nabídku přijal. Za svého pobytu v USA dosáhl vrcholu své proslulosti. Tím se stalo, že zůstal členem ukrajinské Akademie věd, ačkoli byl emigrantem, a jeho monografie a učebnice byly překládány a vydávány také v SSSR. To však nebránilo tomu, aby jeho syn, který tam zůstal, byl pronásledován. Ameriku, která mu tento vzestup umožnila, neměl moc v lásce. Evropská kultura mu byla bližší. Konec svého života se rozhodl přizít u své dcery v Německu. V nekrologu, který vyšel v časopisu Applied Mechanics Reviews, čteme: „...dal Americe mnohem více, než ona mohla dát jemu“. Timoško vydal také publikaci o historickém vývoji Pružnosti pevnosti, ve kterém na takřka na 550 stránkách stanovuje podobně avšak mnohem detailněji, jako v této práci historii a hlavní milníky tohoto oboru

Zásluhy na pružnosti a pevnosti mají také nemalý podíl čeští učenci. Jména jako Jaroslav Šolín (1896 – 1986), ten položil základ k českému názvosloví z nauky o pružnosti a pevnosti, Josef Šrejtr (1901 – 1968), Emanuel Hájek (1918 – 1991) nebo Jaroslav němec jsou určitě známá všem kdo se o tento obor zajímá.

Na závěr bych rád uvedl několik dalších osob, kteří se zasloužili o rozvoj této vědy, a bylo by nepatřičné je opomenout. Velikým přínosem byly práce zejména Hertze (namáhání v místě silového styku součástí), Žuravského (smykové napětí při ohybu), Jasinského (vzpěr), Golovina (křivé pruty), Bubnova (desky), dále taky Maxwella, Lovea, Hubera, Misesa a jiných.[22]

obr. 37 Jaroslav Šolín



Zdroj: Osobnosti historie pružnosti a pevnosti

## 7 ZÁSADNÍ MILNÍKY VÝVOJE OBORU:

Vývoj pružnosti a pevnosti byl vždy úzce spjat s vývojem lidské společnosti a s událostmi které je doprovázeli

### **Období prvních civilizací starověkých kultur:**

V tomto období, se obor pružnost a pevnost nevyskytoval v dnešní podobě. Lidé využívali praktické znalosti a poznatky. Nebyla ani potřeba na úspore materiálu, čili ekonomické hledisko, které je jedním z hlavních důvodů pro budoucí rozvoj oboru. Obecně však můžeme říci, že věda vznikla z prvotních myšlenek, filozofie. Ta se rozvíjela hlavně v kruzích vysoko postavených občanů ať už v Řecku či jiných zemích, kteří měli dostatek času a prostředků na přemýšlení o životě a bytí. Velký neduh tohoto období je potom náboženství, to často netolerovalo poznatky, které byly v rozporu s jejich přesvědčení. Můžeme proto říci že tam kde se tolerovali myšlenky, které byly v rozporu s náboženství, nebo tam kde se dalo podobným problémům vyhnout, tam byl silný rozkvět vědy ve všech podobách. Největší zásluhy pak můžeme připsat následujícím historickým osobám této doby:

Thalet z Milétu (asi 625 – 547 př. n. l.)

Pythagoras (580 – 500 př. n. l.)

Archytas z Tarentu (428 až 365 př. n. l.)

Eukleidus (asi 350 až 290 př. n. l.)

Aristoteles (384 – 322 př. n. l.)

Archimedes (asi 287 – 212 př. n. l.)

V arabských zemích také Avicenna (980 – 1037) ten již spadá do středověku, nicméně podmínky rozvoje tehdejší doby můžeme aplikovat i na něj. Všichni tito vědci položili základy matematiky, fyziky, geometrie, mechaniky a dalších věd, které byly později stavebním kamenem pro rozvoj mimo jiné i pružnosti a pevnosti.

### **Období pozdního středověku a renesance:**

V této éře byly položeny základy pružnosti a pevnosti a to hlavně Galileo Galileim (1564 – 1642), který jako první začal zkoumat zatížení nosníku. Z dochovaných záznamů ještě před Galileem začal zkoumat problémy, pevnosti a únosnosti také Leonardo Da Vinci (1452 – 1519). Příčinou toho vývoje byl zejména tehdejší rozvoj obchodu, ten vyžadoval větší únosnost lodí, stavbu nových kanálů, katedrál budov. Můžeme zde pozorovat mimo snahu o dokonalejší a větší stavby, také už zmíněný ekonomický faktor.

Galileo ačkoliv položil základy vědního oboru, nestanovil však závislost mezi zatížením a deformací materiálů.

O tento objev se postaral o něco později Robert Hook (1635 – 1703). Tento poznatek už měl v roce 1660, díky patentovému řízení se ale zveřejnil až roku 1676. Hookův zákon je do dnešní doby nejdůležitějším prvkem pružnosti a pevnosti. Bez těchto poznatků by se rozvoj neposunul, a proto můžeme jeho práci označit za stěžejní milník vývoje oboru.

Přibližně ve stejném období se nezávisle na práci Hooka postaral o totožný objev také Edme Marriott (1620 – 1684), který pro své vlastní potřeby navázal na práce Galilea a díky experimentům, které prováděl, se taktéž dopracoval k výsledku.

### **Konec 18 století a 19 století Francouzská revoluce:**

Vývoj lidské společnosti se rychle rozvíjel. V tomto období bylo zapotřebí stavby nových cest a mostů pro překonání překážek při obchodních cestách, ale v neposlední řadě také vojenské tažení Napoleona. To vše jsou příčiny i nadále se rozvíjejícího oboru. Zbraně, Vojenské stavby, vše bylo třeba projektovat a vypočítat lidé už byli omezeni prostředky a velkou roli také hrál čas.

V této době se zejména Thomas Young zasloužil velkým přínosem v oboru. Definoval matematickou formulaci deformací v mezi úměrnosti v roce 1807.

Dále potom:

Leonhard Euler (1707 – 1783)

Daniell Bernoulli (1700 – 1782)

Oba tito vědci vydatně přispěli k vybudování základů teorie pružnosti a pevnosti. Euler (rozřešení stability tenkých prutů, namáhaných osovým tlakem, zavedl také pojem moment setrvačnosti) pracoval společně s Daniellem Bernoullim také na řešení problému příčného kmitání prutů. Oba se později staly členy Petrohradské akademie věd.

O další rozvoj teoretické nauky se následně postarali:

Louis Navier (1785 – 1836)

Denis S. Poisson (1781 – 1840)

Augustin Louis Cauchy (1789 – 1857)

Ti položili základy k matematické teorii pružnosti a pevnosti.

Další vývoj pružnosti a pevnosti postupoval s rozvojem vědy a potřebami technické praxe, při stavbě složitějších mostů, železnic a jiných parních strojů.



Do toho období můžeme zařadit například práce Saint-Vénanta, který se podílel na definici ohybu a krutu, nebo Swedlera, Gernstnera či Žuravského jehož zásluhy jsou na poli smykového napětí při ohybu.

## **20 století a dnešní nauka**

Ve dvacátém století už byly základy položeny a prohlubovali se tak znalosti již známe. Světová válka a s ní spjaté zbraně, obrovský rozvoj techniky ve všech odvětvích už se bez výpočtů pružnosti a pevnosti neobejde a klade tak stále větší a větší požadavky na přesnost výpočtů. V dnešní době je také velký důraz kladen na ekonomii materiálu. S počítačovou érou přišli počítačové programy, schopny spočítat takřka veškeré definované situace a problémy. Nebýt však poznatků a okolností historického vývoje, bylo by nemožné podobný vývoj zajistit.

## 8 DISKUZE

Bylo velice zajímavé pozorovat vývoj této oblasti, stejně tak jako vývoj celé fyziky. Člověk už od pradávna dokazoval překračovat hranice nemožného právě díky poznání a vědě. Dříve do vývoje zasahovaly náboženské složky, které se nejevili příliš přínosné.

Velkou dobu měli lidé strach poznávat nové věci, nové skutečnosti právě kvůli strachu z nepřízně bohů. Experiment, jenž je základem dnešní vědy se stal považovat přípustným až dlouho po vzniku matematiky i dalších znalostí fyziky. To je z hlediska vědy škoda. Možná že pokud by lidé začali experimentovat a zkoumat svět kolem sebe už v období starověku stejně intenzivně jako tomu bylo ve 14 století prováděno např. Leonardem Da Vincim tak bychom dnes žili v naprosto jiném světě technologicky vyspělejších. Ovšem na druhou stranu je tohle tvrzení dost nejednoznačné a kdo ví, možná že nebýt všech okolností tak by se tento vývoj ubral jiným směrem a možná že vůbec. O tom se dnes můžeme jenom dohadovat. Nicméně stále jsou velice pozoruhodné poznatky a dědictví starých civilizací. O těch dnes víme jenom zlomek skutečností, dochovalo se málo záznamu jejich prací a učení. Je dosti možné, že někde pod zemí jsou na kamenných destičkách vyryté výsledky tahových zkoušek či uvedené výpočty zátěže kamene či dřeva. Jak jinak si dokážeme vysvětlit neuvěřitelné stavby, jako jsou například Egyptské pyramidy? Byla to právě industrializace, která podnítila vývoj výpočtů na výdrž materiálu. Lidstvo chtělo stavět větší budovy, mosty, koleje, vlaky, to vše by se bez výpočtů a materiálových zkoušek dalo provádět jen těžko.

Dnes je tato věda prozkoumaná do malých detailů a dovoluje nám stavět a konstruovat věci, o kterých se pravděpodobně ani starověkým Egyptanům nezdálo. Za to vše vdčíme především výše popsaným osobám. Ti mnohdy obětovali na úkor vlastních potřeb veškerý svůj čas na výzkumy a výpočty. Tím přispěli významným způsobem k ulehčení práce mnoha lidí, ač si to možná v té době neuvědomovali. Můžeme jen doufat, že lidé jako Galilei nebo Euler budou i nadále existovat a posouvat naši existenci o kus dál.

## 9 ZÁVĚR

V této práci jsme si měli ukázat a popsat historický vývoj vědního oboru pružnost a pevnost. Tento obor je velice důležitým článkem dnešního konstruktérství a architektury. Vývoj pružnosti a pevnosti, je úzce spjat s vývojem lidské společnosti. Sám o sobě vzniklo toto odvětví mechaniky až v 15 století podle písemných dokladů se konstrukcí a jejich pevnosti zabýval první Leonardo Da Vinci. Do této doby byly poznatky fyziky a matiky nedostatečně specifické. To však neubírá na jejich důležitosti vždyť právě díky Archimedovy či Euiklidovy mohli později Galileo Galilei a další jeho pokračovatele navázat na znalosti předem poznané a rozvíjet další poznatky více specifické. Vývoj obchodu a s tím spjata větší únosnost lodí, stavba nových kanálů, to vše byly skutečnosti, které podněcovali vědu řešit nové problémy.

Od doby starověkých Řeků k době Leonarda Da Vinciho nás dělí neuvěřitelných takřka 2000 let. Je zajímavé, že ve středověku se vývoj pozastavil, určitě nemůžeme zapomenout na vynálezy jako je kompas, či pluh pro zpracování půdy a další vynálezy té doby. Sehráli ve vývoji techniky určitě důležitou roli, nicméně věda po dobu celého středověku čerpala převážně z poznatků starověku.

Od renesance a hlavně potom v období francouzské revoluce na přelomu 17 a 18 století se vývoj astronomickým způsobem zrychlil a nezastavili žádné politické převraty či vojenské akce. Naopak se dá dokonce říci, že určitou práci tyto podmínky podněcovali vývoj mostů, parní stroj, železnice ale také v neposlední řadě zbraně, to vše jsou další technologické novinky této doby, které si pokládali vysoké požadavky na znalost pružnosti a pevnosti. V této době a také v 19 století byly položeny základy této vědy a postupně utvořeny poznatky, dnes využívané všemi kdo studuje techniku. Vývoj těchto poznatků byl poměrně dlouhý a dnes známé banální vztahy, jenž přijdou většině za samozřejmé, byly v této době dlouho zkoumány a ověřovány .

Historie lidstva je v poměru s existencí Země bezvýznamně krátká nicméně velice produktivní a pro potřeby této práce až příliš dlouhá, je proto obtížné popsat detailně vývoj tohoto oboru. Existují ale určité milníky a převratné myšlenky a výzkumy, které tyto poznatky posouvají dál, a právě na tyto milníky je tato práce soustředěna.

## 10 POUŽITÉ ZDROJE

### 10.1 Knihy a jiná tištěná literatura:

- [1] ŠTOLL, Ivan. *Dějiny fyziky*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2009, 582 s. ISBN 978-807-1963-752.
- [2] MALININ, N. N. *Kto est' kto v soprotivlenii materialov*. 1. vyd. Moskva: Izdat. MG-TU, 2000, 582 s. ISBN 57-038-1326-3.
- [3] ТИМОШЕНКО, С. *История науки о сопротивлении материалов*, 1. vyd.; Gosudarstvennoe izdatel'stvo tekhniko-teoreticheskoj literatury: Moskva, 1957.
- [4] BÜHRKE, Thomas. *Převratné objevy fyziky*. 3. opr. vyd. Praha: Academia, 1999, 231 s. ISBN 80-200-0743-1.
- [5] KRAUS, Ivo. *Fyzika od Thaléta k Newtonovi: kapitoly z dějin fyziky*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2007, 329 s. ISBN 978-80-200-1540-2.
- [6] KRAUS, Ivo. *Fyzika v kulturních dějinách Evropy*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-010-3472-0.
- [7] ŘEZNÍČEK, Jan a Jitka ŘEZNÍČKOVÁ. *Pružnost a pevnost v technické praxi: příklady I*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 65 s. ISBN 80-010-3209-4.
- [8] ŘEZNÍČKOVÍ, Jan a Jitka a Jitka ŘEZNÍČKOVÁ. *Pružnost a pevnost v technické praxi: příklady III*. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008, 65 s. ISBN 978-80-01-03947-2.
- [9] ŘEZNÍČEK, Jan a Jitka ŘEZNÍČKOVÁ. *Pružnost a pevnost v technické praxi: příklady II*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006, 62 s. ISBN 80-010-3584-0.
- [10] HÖSCHL, Cyril. *Eseje o mechanice*. Vyd. 1. ISBN 978-80-7372-455-9.
- [11] SAINT-VENANT J. - C. et al. Memoár o krutu prizm, Memoár o ohybu prizm. 1st ed. 1961.
- [12] COULOMB, C. Essai sur une application des regles de maximis et minimis a quelques problemes de statique a l'architecture// Memoires de Matematique et de Physique. Paris: l'Academie des Science par divers savant, 1776.

### 10.2 Elektronické dokumenty

- [13] KOUTNÝ, F. Leonhard Euler. přednáška, 24. 1. 2011.

- [14] ŘEZNÍČEK, J. *Osobnosti historie pružnosti a pevnosti: doplňující skripta*. Praha: ČVUT, 2011.
- [15] MICKA, M. *Pružnost: učební pomůcka pro kombinované studium*. Praha: ČVUT, 2011.
- [16] NĚMEC, K. *Mezní stavy materiálu: prezentace ppt*.
- [17] DVOŘÁK, R.; KOMÁREK, P.; et al. *Bulletin*, 3rd ed.; Prometheus: Praha, 1983.
- [18] NOVÁK, D., BRDEČKO, L. *Pružnost a pevnost - Základní pojmy a předpoklady*. 1st ed. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2004.
- [19] MILITKÝ, J. Tření. Tření. [www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/zvt\\_p\\_6.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/zvt_p_6.pdf) (accessed March 20, 2012).

### 10.3 Webové zdroje

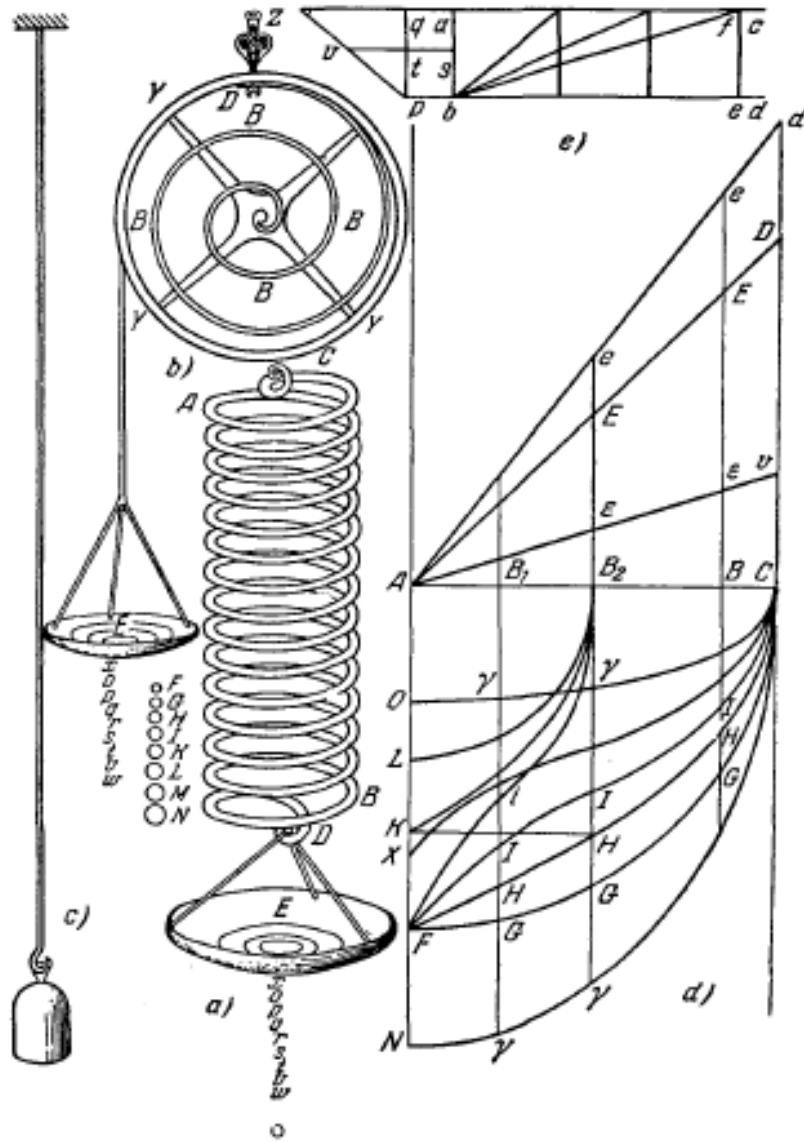
- [20] Pružnost,pevnost Hookův zákon. [Moon.felk.cvut.cz](http://moon.felk.cvut.cz/~pjev/Jak/_phys/f106/start.html).  
[http://moon.felk.cvut.cz/~pjev/Jak/\\_phys/f106/start.html](http://moon.felk.cvut.cz/~pjev/Jak/_phys/f106/start.html) (accessed March 25, 2012).
- [21] Zikmund, M. Isaac Newton, 2003. fyzikální web.  
<http://www.fyzika.webz.cz/index.php?clanek=35&title=Isaac%20Newton> (accessed March 16, 2012).
- [22] Pružnost a pevnost 1, 2001. Historie PP.  
[http://mechanika2.fs.cvut.cz/sources\\_old/pp1/historie.htm](http://mechanika2.fs.cvut.cz/sources_old/pp1/historie.htm) (accessed March 14, 2012).
- [23] Marvalová, B.; Kovalčík, J. Historie mechaniky, 2006. [mechanika.johnyho.net](http://mechanika.johnyho.net).  
<http://mechanika.johnyho.net/?page=7> (accessed March 22, 2012).
- [24] Octopus Smysl a použití dějin (nejen) v dnešní době, 2006. [www.cesky-jazyk.cz](http://www.cesky-jazyk.cz).  
<http://www.cesky-jazyk.cz/slohovky/uvahy/smysl-a-pouziti-dejin-nejen-v-dnesni-dobe.html> (accessed March 10, 2012).
- [25] Bureš, J. Charles Auguste Coulomb, 2002. [www.converter.cz](http://www.converter.cz).  
<http://www.converter.cz/fyzici/coulomb.htm> (accessed March 30, 2012).
- [26] Co dali světu Arabové, 2004. Jitřní země.  
<http://www.jitrnizeme.cz/view.php?cislocianku=2004060301> (accessed March 31, 2012).

## 10.4 Seznam obrázků

OBR. 1 MAYSKÝ KALENDÁŘ .....	- 5 -
OBR. 2 SUMÉRSKÝ CHRÁM .....	- 6 -
OBR. 3 EGYPTSKÉ PYRAMIDY .....	- 7 -
OBR. 4 THÁLES Z MILÉTU .....	- 10 -
OBR. 5 PYTHÁGORAS .....	- 11 -
OBR. 6 ZENON .....	- 12 -
OBR. 7 ARISTOTELES .....	- 14 -
OBR. 8 EUKLEIDUS A NĚKTERÉ JEHO PRÁCE .....	- 14 -
OBR. 9 ARCHIMÉDES PŘI PRÁCI .....	- 15 -
OBR. 11 ZKOUŠKA DRÁTU PODLE LEONARDA .....	- 18 -
OBR. 10 LEONARDO DA VINCI .....	- 18 -
OBR. 12 GALILEO GALILEI .....	- 19 -
OBR. 13 TAHOVÁ ZKOUŠKA PODLE GALILEA .....	- 20 -
OBR. 14 OHYBOVÁ ZKOUŠKA DLE GALILEA .....	- 20 -
OBR. 15 PŮSOBNÍ SÍLY A ROZKLAD MOMENTU DLE GALILEA .....	- 21 -
OBR. 16 DOPORUČENÝ PRŮŘEZ GALILEA .....	- 21 -
OBR. 17 ROBERT HOOK .....	- 22 -
OBR. 18 TAHOVÝ DIAGRAM .....	- 24 -
OBR. 19 BLASIE PASCAL .....	- 25 -
OBR. 20 ZKOUŠKY MARRIOTTA .....	- 25 -
OBR. 21 ISACC NEWTON .....	- 26 -
OBR. 22 JACOB BERNOULLI .....	- 27 -
OBR. 23 OHYB DLE JACOBA BERNOULLIHO .....	- 28 -
OBR. 24 DANIEL BERNOULLI .....	- 28 -
OBR. 25 LEONHARD EULER .....	- 29 -
OBR. 26 SCHÉMA ZATÍŽENÍ NOSNÍKU .....	- 30 -
OBR. 27 JOSEPH LOUIS LAGRANGE .....	- 31 -
OBR. 28 TLAKOVÉ NAMÁHÁNÍ NA PRUT .....	- 31 -
OBR. 29 PIERRE SIMON LAPLACE .....	- 32 -
OBR. 30 J.- C. SAINT - VENANT .....	- 33 -
OBR. 31 THOMAS YOUNG .....	- 34 -
OBR. 32 DENIS S. POISSON .....	- 34 -
OBR. 33 LOUIS NAVIER .....	- 35 -
OBR. 34 AUGUSTIN LOUIS CAUCHY .....	- 35 -
OBR. 35 FR. J. GERSTNER .....	- 37 -
OBR. 36 PROKOFJEVIČ TIMOŠENKO .....	- 38 -
OBR. 37 JAROSLAV ŠOLÍN .....	- 38 -
OBR. 38 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKA PRUŽIN PROVÁDĚNA HOOKEM .....	IV
OBR. 39 PŘÍSTROJ COULOMBA NA VÝZKUM KMITÁNÍ PŘI KRUTU .....	V
OBR. 40 EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE COULOMBA V OBLASTI PRUŽNOSTI A PEVNOSTI 18 STOLETÍ. ....	V
OBR. 42 STROJ NA ZKOUŠKU TLAKU Z 18 STOLETÍ .....	VI
OBR. 41 STROJE NA ZKOUŠKU STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ V 18 STOLETÍ .....	VI

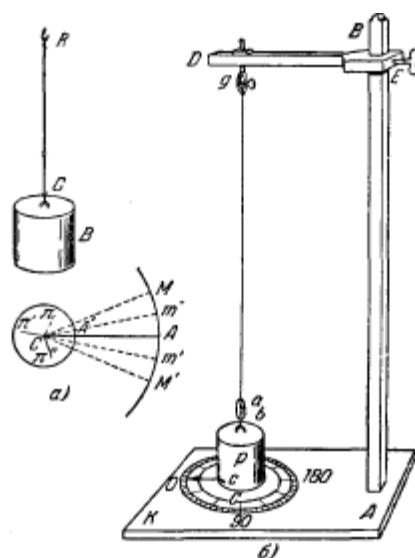
# 11 PŘÍLOHY:

orb. 38 experimentální zkouška pružin prováděna Hookem



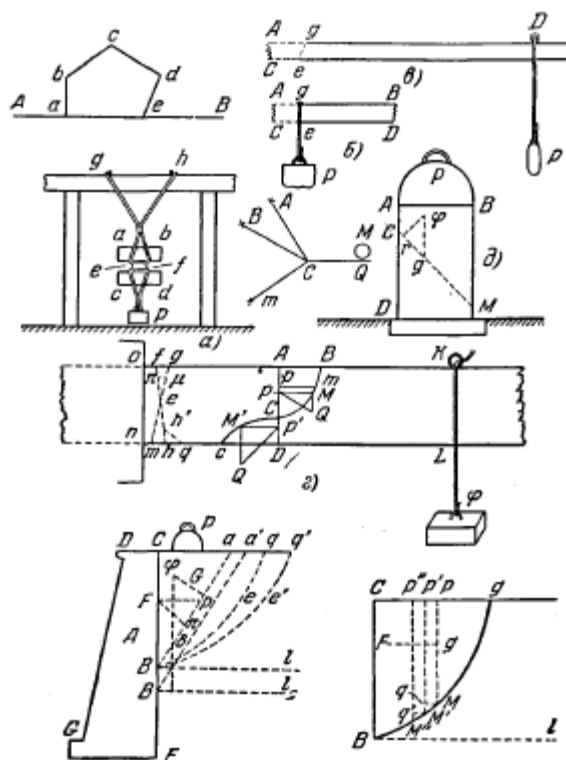
Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957

obr. 39 přístroj Coulomba na výzkum kmitání při krutu



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957

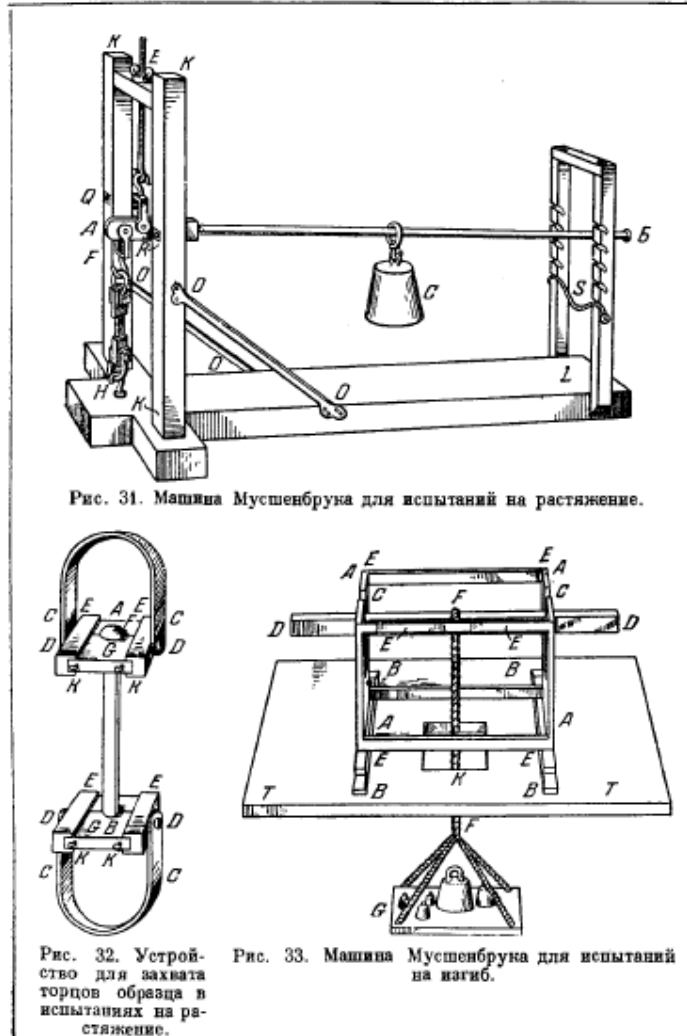
obr. 40 Experimentální práce Coulomba v oblasti pružnosti a pevnosti 18 století.



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957

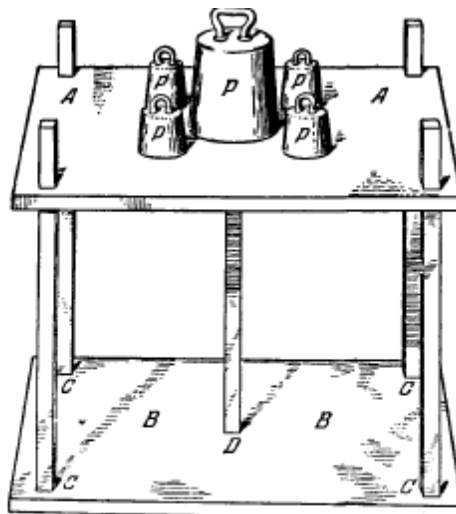


obr. 41 Stroje na zkoušku stavebních materiálů v 18 století



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957

obr. 42 Stroj na zkoušku tlaku z 18 století



Zdroj: Тимошенко С.П. - История науки о сопротивлении материалов... - 1957