NAUKA O PRUŽNOSTI A PEVNOSTI

Náplň předmětu – dimenzování součástí.

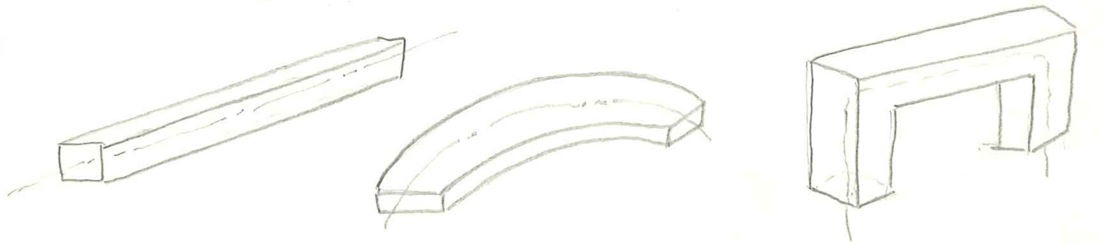
ZÁKLADNÍ POJMY:

a) Návrh
b) Kontrola
c) Únosnost

Prvky konstrukcí

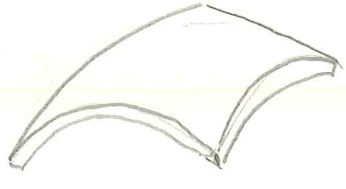
1) Prut
2) Deska
3) Skořepina

ad 1)



ad 2)

ad 3)



Působení sil na těleso:

Těleso není ideálně tuhé a působením sil nastává jeho deformace. < pružná / plastická – tváření

– Deformace závisí na geometrii tělesa a na jeho fyzikálních vlastnostech

Tři hlediska: statika
geometrie
fyzikální

Deformace: – (posunutí tělesa ze silikonové pozice)

a) prodloužení (zkrácení)
b) zkos

Prodloužení Δl (zkrácení)

Při stejné síle budou mít různě dlouhé pruty různé prodloužení. Jako srovnatelnou hodnotu zavádíme

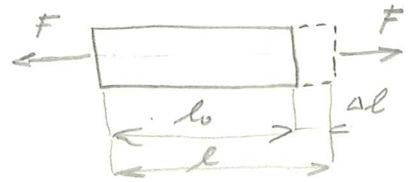
POMĚRNÉ PRODLOUŽENÍ

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad [-] \left[\frac{mm}{mm}\right] \qquad \Delta l = l - l_0$$

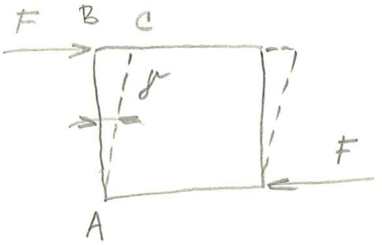
zatížená délka

výchozí délka

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \ [\%]$$



Zkos γ



$$tg\,\gamma = \frac{\overline{BC}}{\overline{AB}} \quad [-]$$ (změna pravého úhlu)

VNĚJŠÍ A VNITŘNÍ SÍLY

Vnější síly — a) zatížení, reakce atd. (vítr, sníh)

b) síly vázané na hmotu – gravitační setrvačné, odstředivé atd.

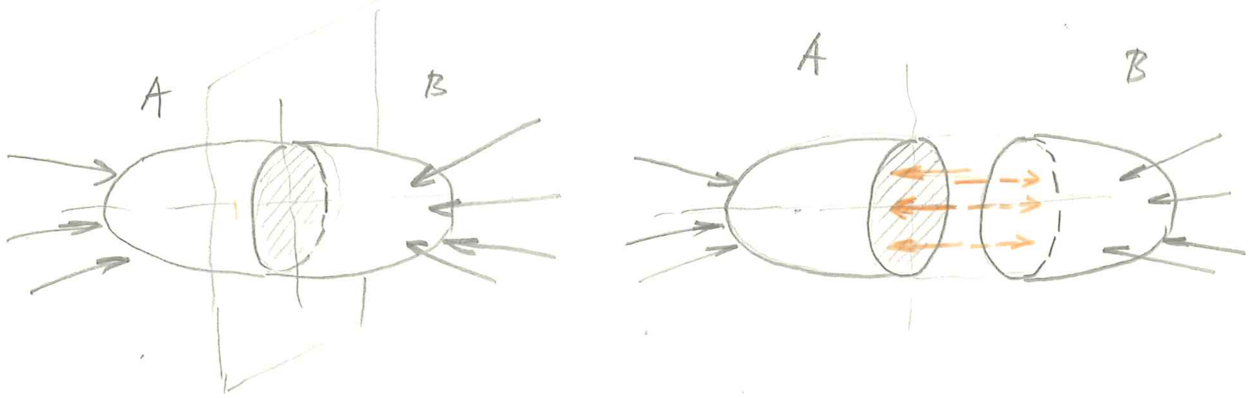
Vnitřní síly jsou vyvolány vnějšími silami – těleso se brání vnějším silám svou soudržností a pružností (izotropní a homogenní materiál – předpoklad)

Vnitřní síly zkoumáme pomocí Newtonova zákonu (třetího) principu akce a reakce a to pomocí vnějších sil.

Řešení pomocí METODY ŘEZU

tvůrcem je matematik Euler

viz. obrázek



- Vzájemné působení částí A, B na sebe.
(vnitřní síly – projev pevnosti a nebo soudržnosti materiálu)

- Pro část A (i B) platí, že vnější síly jsou v rovnováze s vnitřními silami.

Platí zde pravidla statiky:

$\Sigma F_x = 0 \qquad \Sigma M_x = 0$

$\Sigma F_y = 0 \qquad \Sigma M_y = 0$ Silový rozbor

$\Sigma F_z = 0 \qquad \Sigma M_z = 0$

2A
5.9.2000

- Když můžeme vyřešit vnitřní síly pomocí vnějších sil podle pravidel statiky, pak je úloha staticky určitá.

Neznáme však rozložení vnitřních sil po ploše myšleného řezu, k tomu musíme znát jak se těleso silami deformuje.

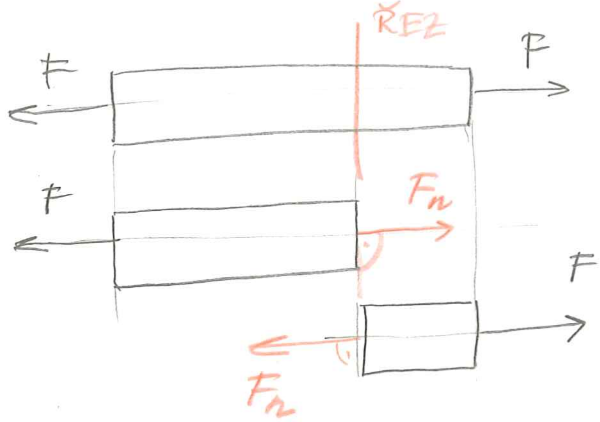
Obecně platí:

Účinek výslednice vnějších sil – odpovídá vnitřní síle

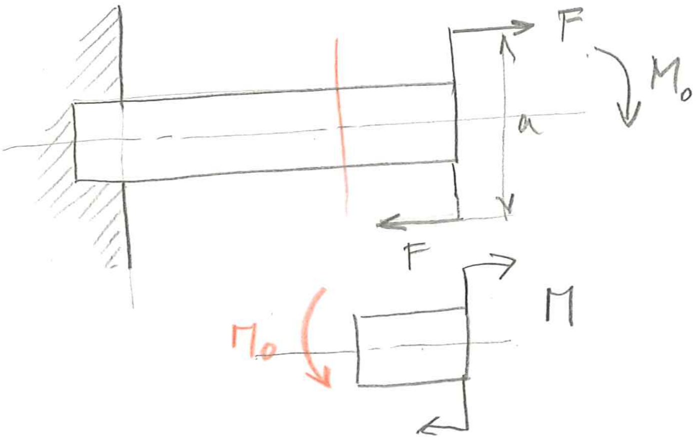
Vnějšímu momentu – odpovídá vnitřní moment

Dvojici vnějších sil – odpovídá moment vnitřních sil (dvojice)

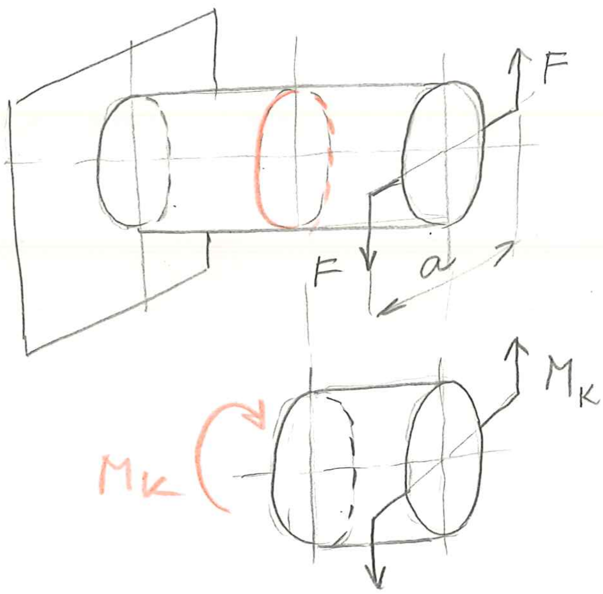
Několik příkladů použití metody řezu.



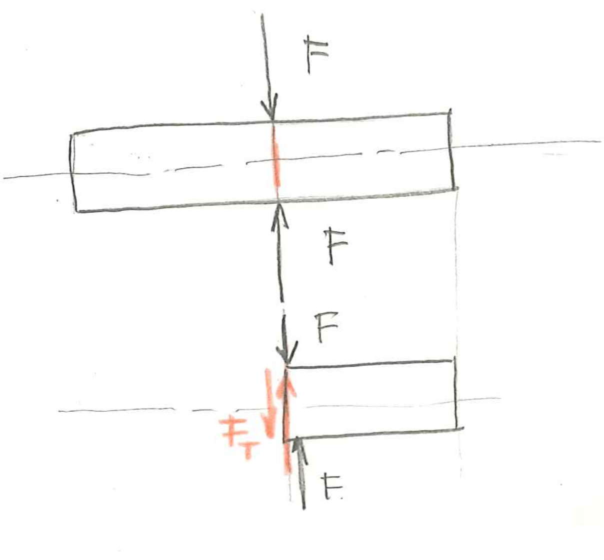
Prostý tah
(tlak)
nakreslit



Prostý ohyb



Prostý krut

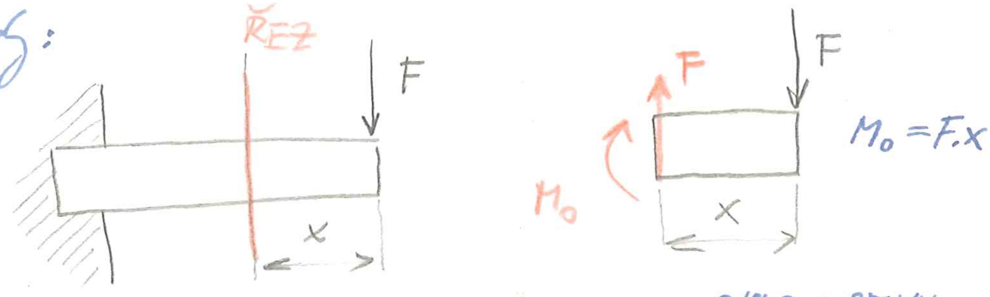


Prostý smyk
(střih)

Většina namáhání jsou namáhání kombinovaná. – SLOŽENÁ NAMÁHÁNÍ

Příklady:

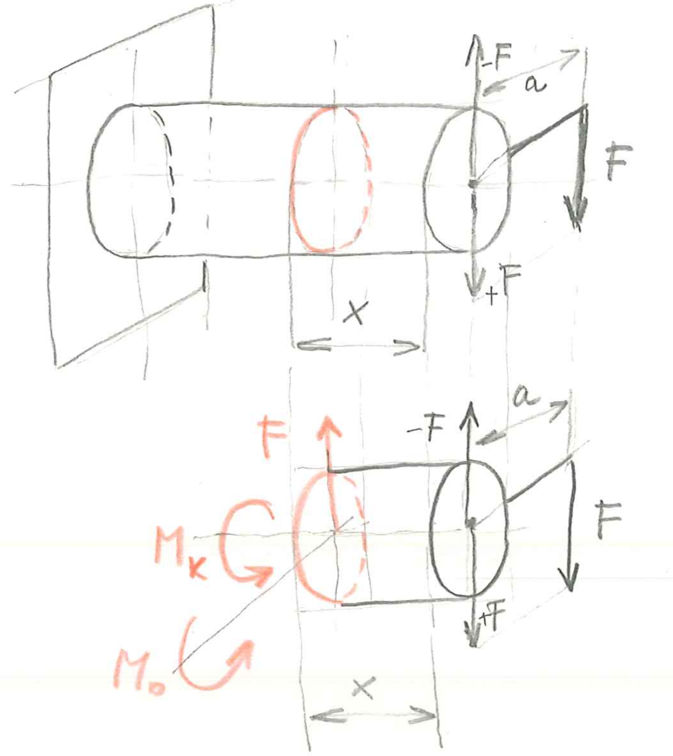
1)



$M_o = F.x$

OHYB + SMYK

2)



OHYB + KRUT + SMYK

$M_o = F.x$

$M_K = F.a$

ŘEŠENÍ ÚKOLŮ PRUŽNOSTI A PEVNOSTI

postup:

a) Uvolnit těleso, zavést vazbové síly a vyřešit je STATIKA

b) Vést řez v místě, které chceme řešit

c) Ponechat jednu část (tu nejjednodušší)

d) Nahradit působení odstraněné části na ponechanou část

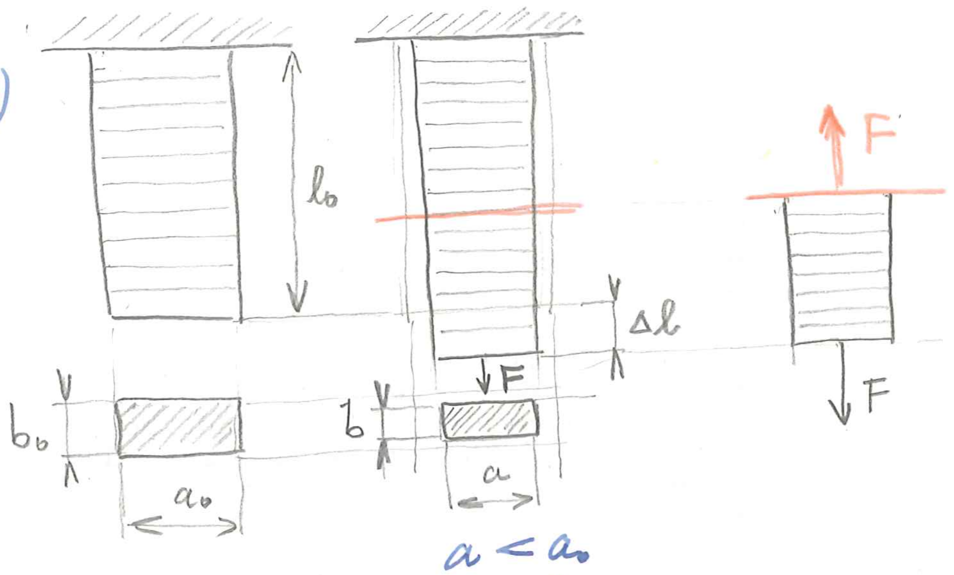
e) Vyřešit geometrickou změnu tvaru (deformace)

2.A
7.9.2000

2A (1-24)
2.9.99

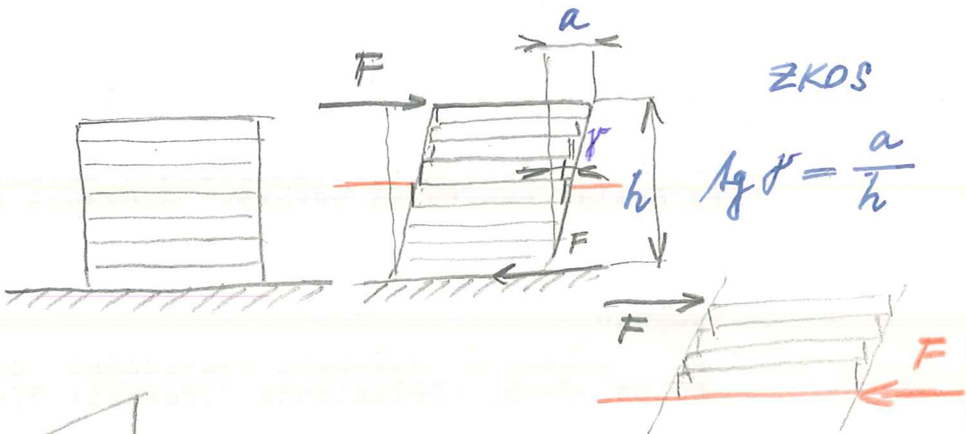
Zavádíme předpoklad – ROVINNOST DEFORMOVANÝCH PRŮŘEZŮ SE ZACHOVÁVÁ

TAH (TLAK)



$a < a_0$
$b < b_0$

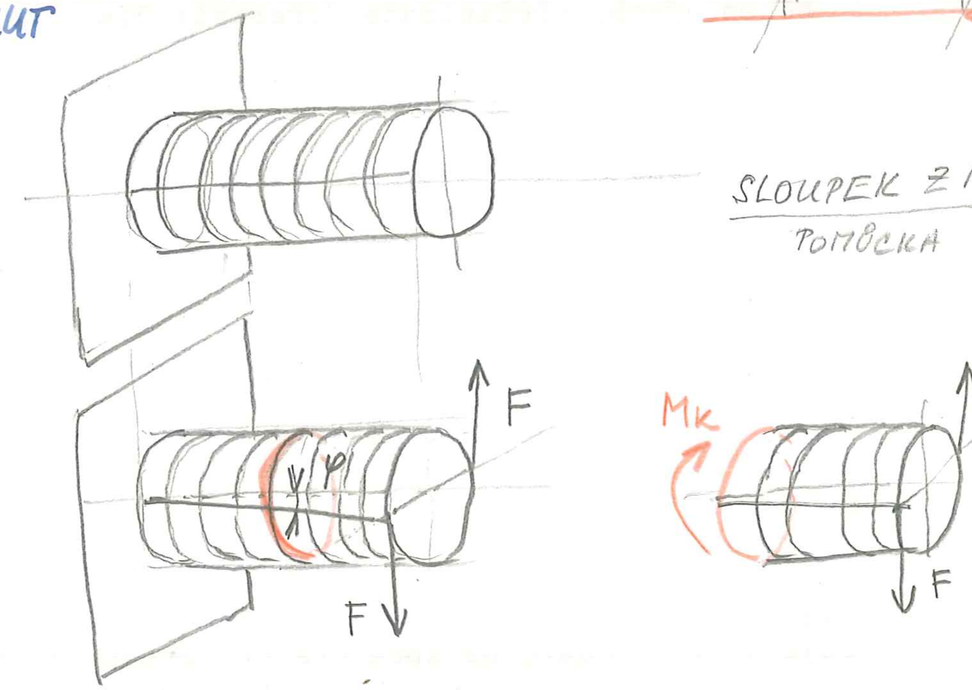
SMYK



ZKOS

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{a}{h}$$

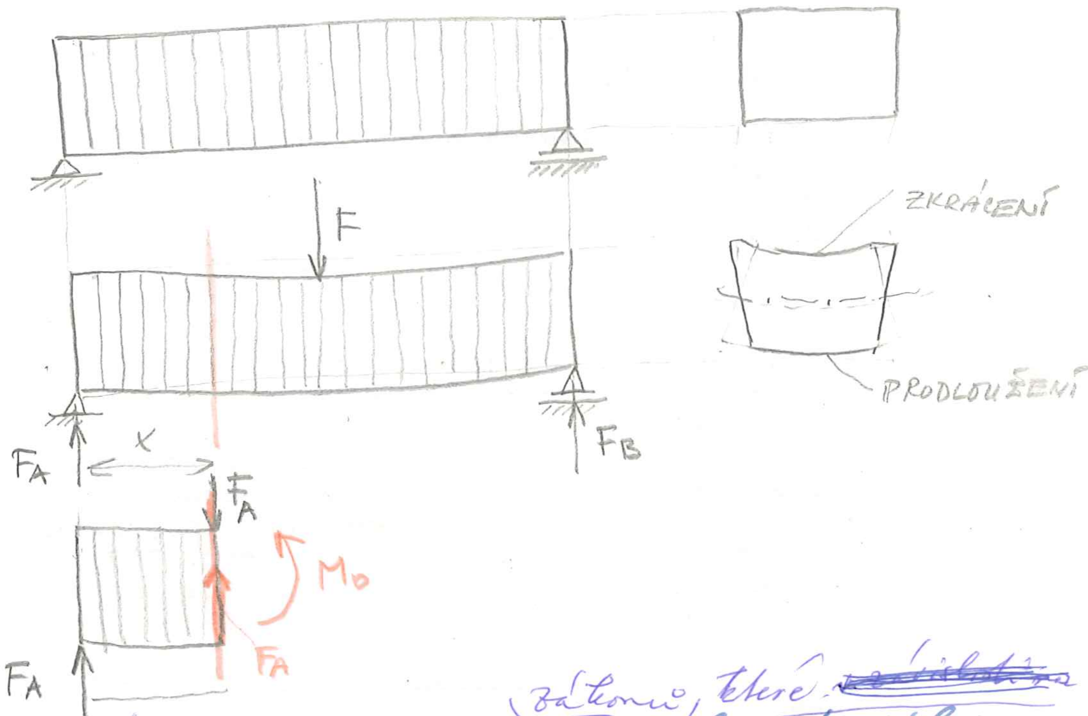
KRUT



SLOUPEK Z MINCÍ

POMŮCKA

OHYB

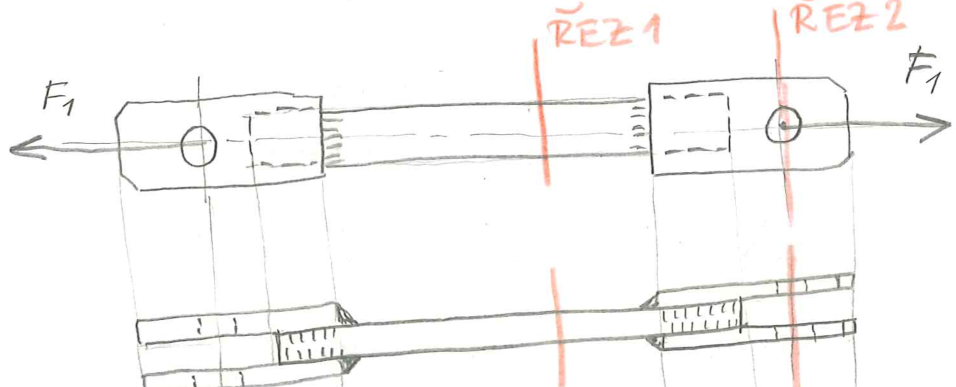


f) Použití fyzikálních ~~vlastností~~ zákonů, které ~~...~~ materiálu vyjadřují závislost mezi silami a deformací. (HOOKEŮV ZÁKON)

g) Určit účinky, které vyvolají na zatížené součásti síly a momenty vnějších a vnitřních sil.

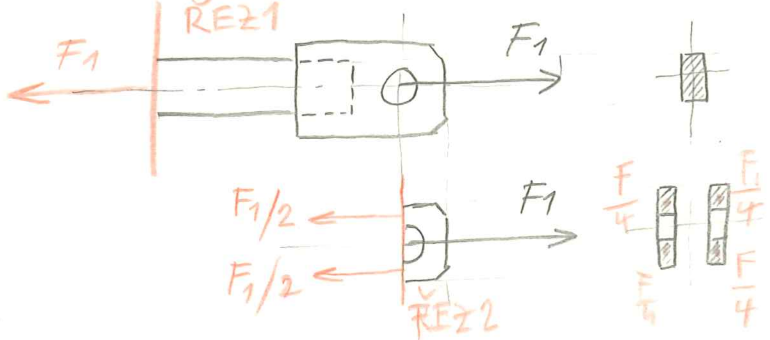
Příklad: Aplikace bodů a) až g) na konkrétním příkladu táhla č. 5 dříve probírané dvoučelisťové brzdy.
Konstrukční provedení – učebnice TEK 1 str. 136 d) Tab. 28

2A (3)
3. 9. 99



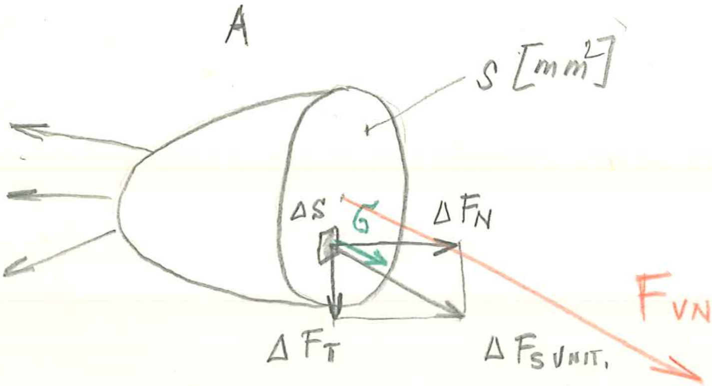
Příklad brzdy $F_1 = \underline{2272\ N}$

2A
8.9.2000



NAPĚTÍ – INTENZITA VNITŘNÍCH SIL

Obecné těleso – metoda řezu



Intenzita napětí

$$\frac{\Delta F_{S\,VN.}}{\Delta S} = \sigma_* \quad [N.mm^{-2}]$$

Napětí má směr výslednice vnitřních sil!

Jednotkou napětí: PASCAL – $Pa = N.m^{-2}$ je

to velmi malá jednotka proto zavádíme

$$1MPa = 10^6 Pa$$

$$1N.mm^{-2} = 1MPa$$

Napětí v bodě ...... $\Delta S \xrightarrow[\text{se blíží}]{} 0$

$$\sigma = \frac{\Delta F_S}{\Delta S}$$

Sílu ΔF_S rozložíme na plošku normálovou ΔF_N a tečnou ΔF_T.

Každá ploška způsobuje napětí:

– normálová $\Delta\sigma = \frac{\Delta F_N}{\Delta S}$ [$N.mm^{-2}$] [MPa] normálové napětí

– tečná $\Delta\tau = \frac{\Delta F_T}{\Delta S}$ [$N.mm^{-2}$] [MPa] tečné napětí

Normálové napětí – částice tělesa se brání oddálení v rov. řezu

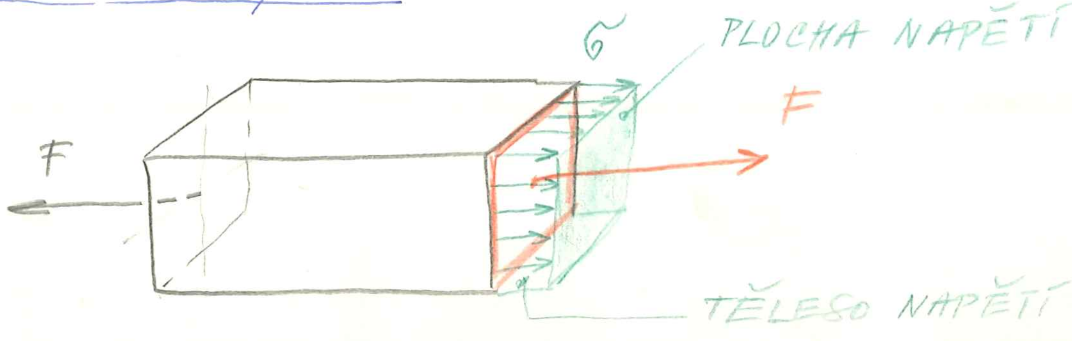
Tečné napětí – částice tělesa se brání posunutí proti sobě v rov. řezu

Předpokládáme-li, jsme materiál homogenní a izotropní, můžeme psát:

$$\sigma = \frac{\sum \Delta F_N}{\sum \Delta S} \cdots \boxed{\sigma = \frac{F_N}{S}} \quad [MPa] \; [N.mm^{-2}]$$

$$\tau = \frac{\sum \Delta F_T}{\sum \Delta S} \cdots \boxed{\tau = \frac{F_T}{S}} \quad [MPa] \; [N.mm^{-2}]$$

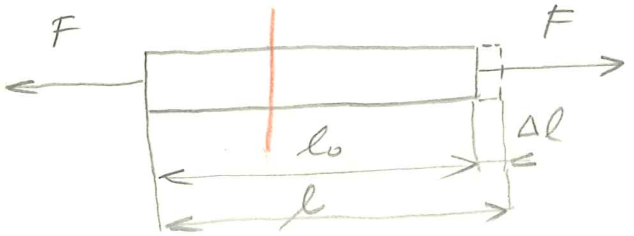
Zobrazení napětí:

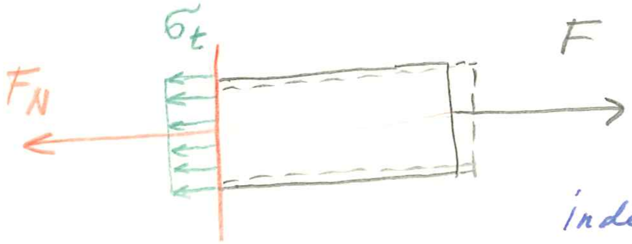


ZÁKLADNÍ DRUHY NAMÁHÁNÍ

Částečné opakování předchozího výkladu

1) NAMÁHÁNÍ TAHEM (TLAKEM)





$$\sigma_t = \frac{F_N}{S} = \frac{F}{S} \quad [MPa] \; [N \cdot mm^{-2}]$$

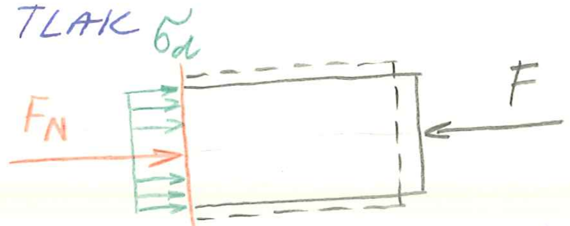
index pro tah

př. 4.5
4.7 !

2A (4)
6.9.99

DÚ

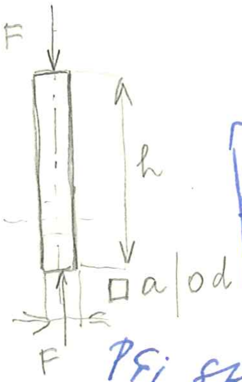
TLAK



$$\sigma_d = \frac{F_N}{S} = \frac{F}{S} \quad [MPa] \; [N \cdot mm^{-2}]$$

index pro tlak

U tlaku musíme provést kontrolu, zda nejde o vzpěr (délka prutu h)



	OCEL	LITINA
□ a	$\frac{h}{a} < 5{,}8$	$\frac{h}{a} < 2{,}9$
ϕ d	$\frac{h}{d} < 5$	$\frac{h}{d} < 2{,}5$

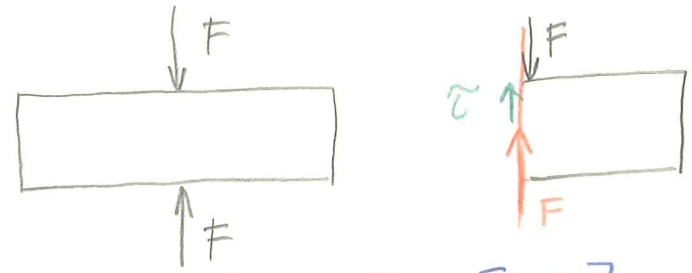
Při splnění uvedených podmínek je to namáhání TLAKEM jinak je to namáhání na VZPĚR

Tlakové napětí u strojních dílů se vyskytuje málo. Význam má u materiálů křehkých – litina. Ve stavebnictví převažující záležitost – beton – klenuté zdi přehrad

DÚ
2A
11.9.200

28 12/9.

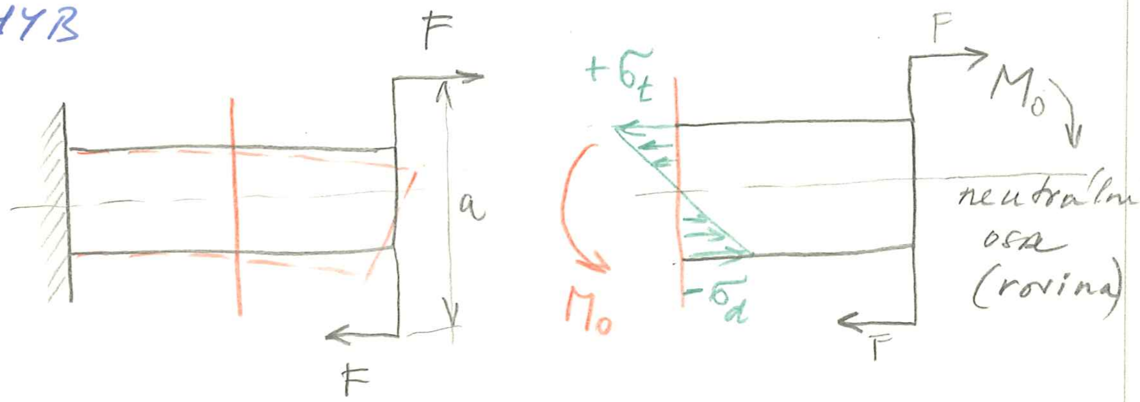
2) NAMÁHÁNÍ SMYKEM (STŘIHEM)



$$\tau_s = \frac{F_T}{S} = \frac{F}{S} \quad [MPa] \quad [N.mm^{-2}]$$

smyk

3) OHYB

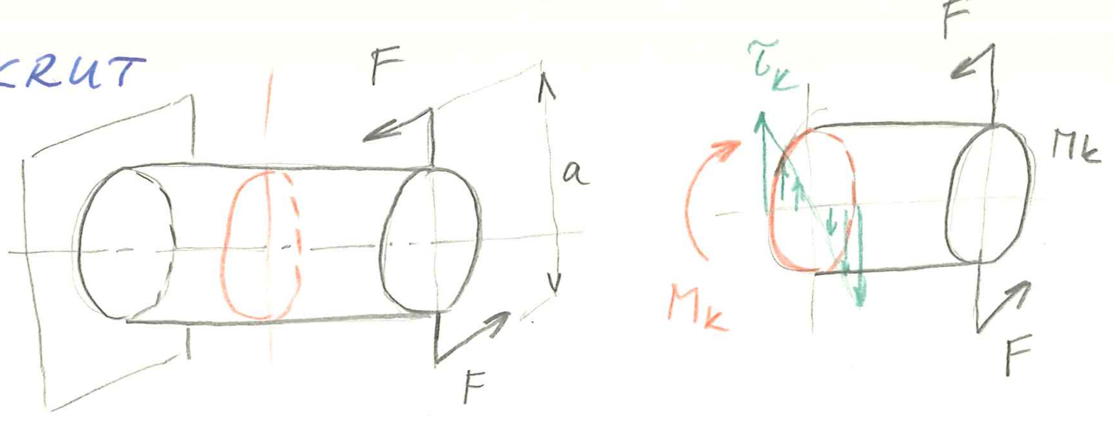


2F 10.9.98

$$\text{NAPĚTÍ} = \frac{\text{OHYBOVÝ MOMENT}}{\text{CHARAKTERISTIKA PRŮŘEZU}}$$

(probereme podrobněji)

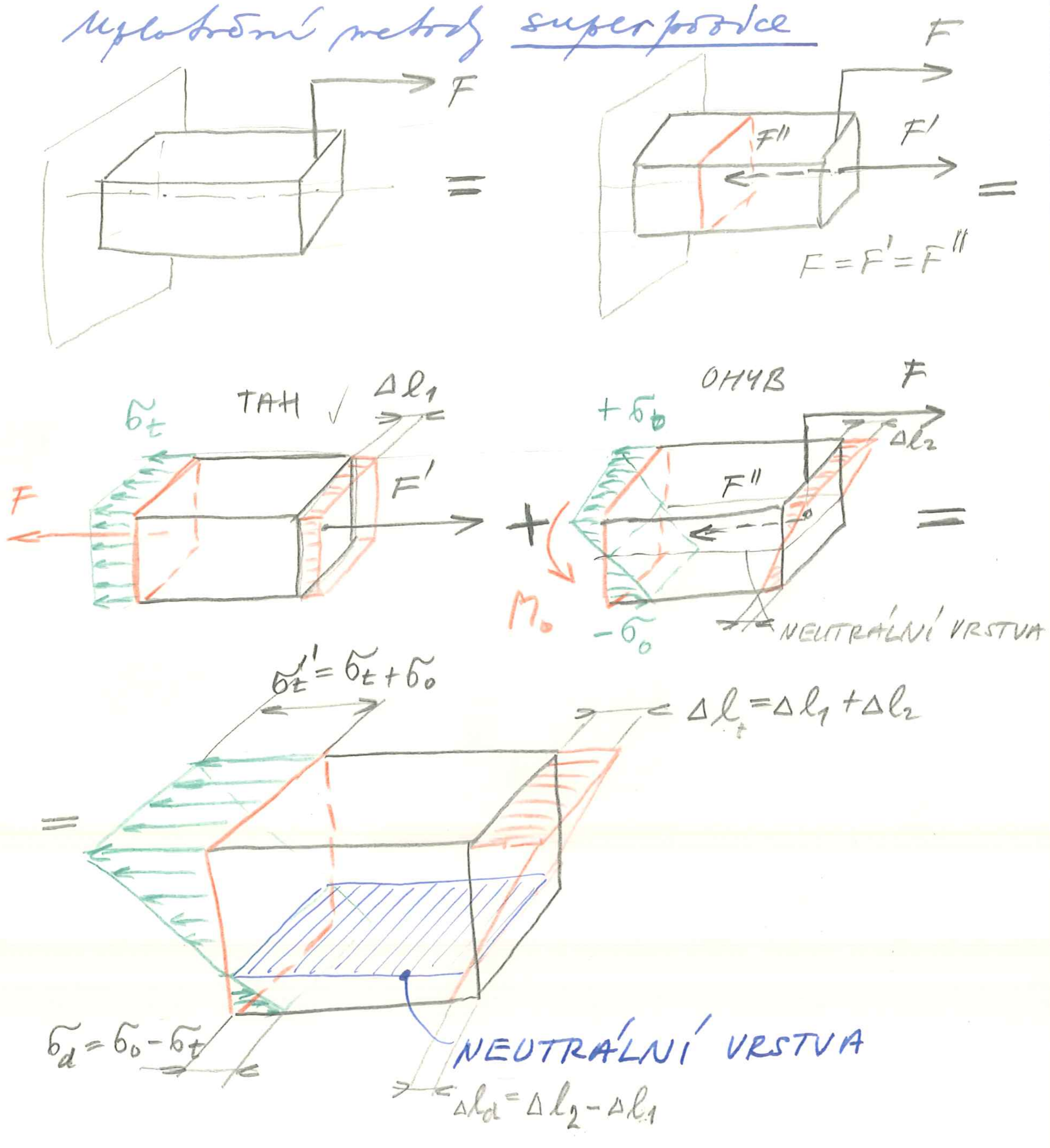
4) KRUT



$$\text{NAPĚTÍ} = \frac{\text{KROUTICÍ MOMENT}}{\text{CHARAKTERISTIKA PRŮŘEZU}}$$

NAPĚTÍ KOMBINOVANÁ

Vysvětlení metody superposice



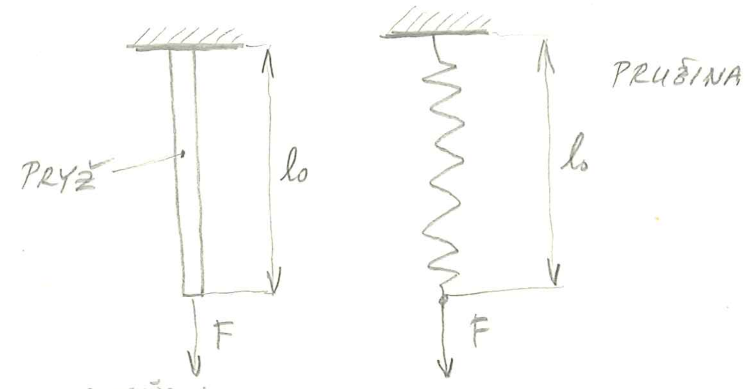
2A (5)
7.9.99
KONTR.
DÚ

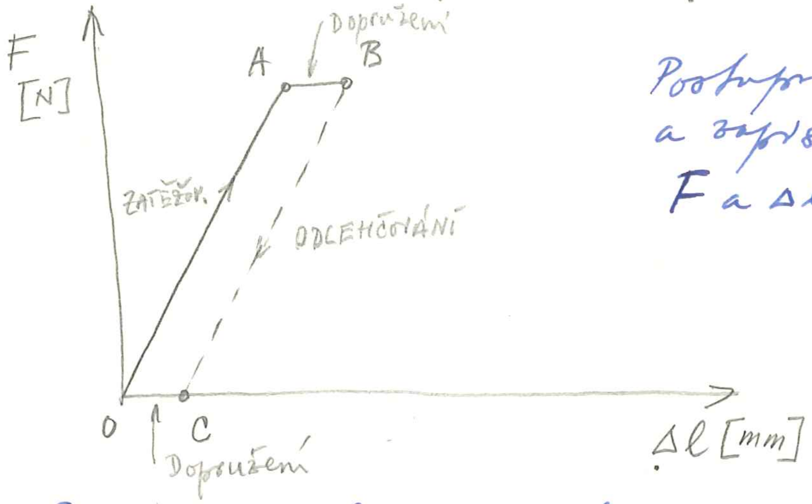
Kombinace ostatních typů namáhání jsou uvedeny v učebnicích.

Příklady – sbírka! č. DÚ?

ZÁVISLOST MEZI ZATÍŽENÍM, DEFORMACÍ A NAPĚTÍM

Pokus:





Postupné zatěžování a zapisování hodnot F a Δl

Prodloužení roste úměrně se zatížením. Ukončení v bodě A. Ponecháme zatížení několik hodin, prodloužení roste do bodu B. Odlehčíme-li pás, vrátí se do bodu C, nikoliv do bodu O. Tam se vrátí až za určitou dobu. Změna A – B a C – O se nazývá dopružení. (změna deformace během času – působením vnitřních sil). Dopružení je velké u lan a řemenů (organického původu).

U kovů je dopružení velmi malé – zanedbatelné.

Pokus popisuje základní zákon pružnosti a pevnosti, který r. 1660 studoval angl. fyzik Robert Hooke.

U většiny konstrukčních materiálů existuje určitá mez do které je přetvoření (deformace) úměrné zatížení.

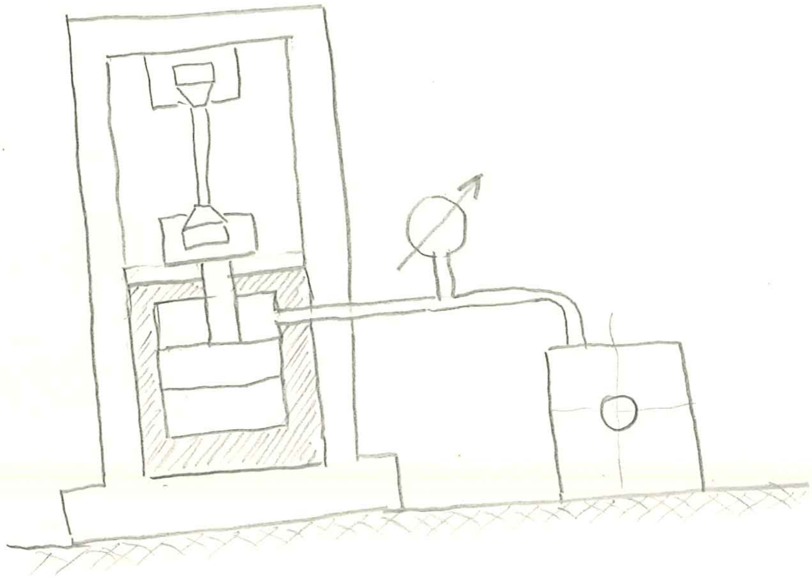
URČENÍ ZÁKLADNÍCH MECH. VLASTNOSTÍ

ZKOUŠKA TAHEM A TLAKEM

Pro návrh rozměrů strojních součástí musíme znát mechanické vlastnosti materiálu.

Musíme zjistit pevnost a tažnost materiálu.

Tyto vlastnosti zjistíme zkouškou na trhacím stroji str. 49 obr. 45



PROSPEKTY!
VZOREK TYČE

Naměřené hodnoty vynášíme do diagramu
— závislost deformace, síla

— Hodnoty F zvyšujeme velmi pomalu — statická zkouška

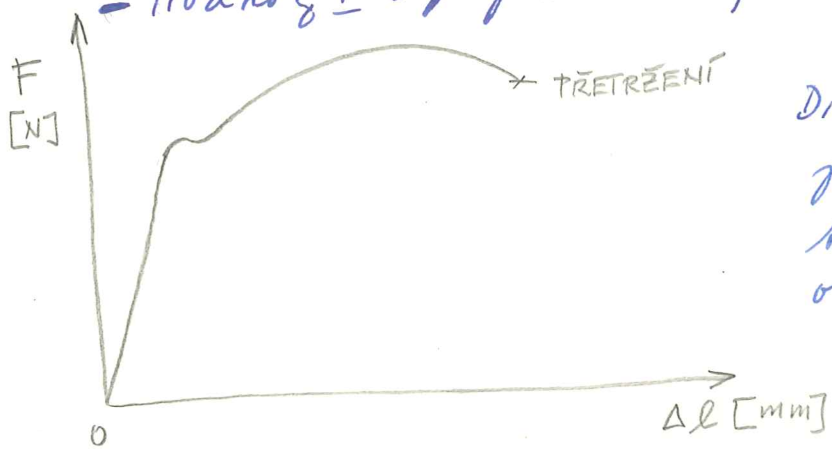


Diagram platí jen pro konkrétní tyčku, nelze ho obecně použít.
Zavádíme tzv. smluvní napětí

2A (6)
9.9.99

SMLUVNÍ DIAGRAM

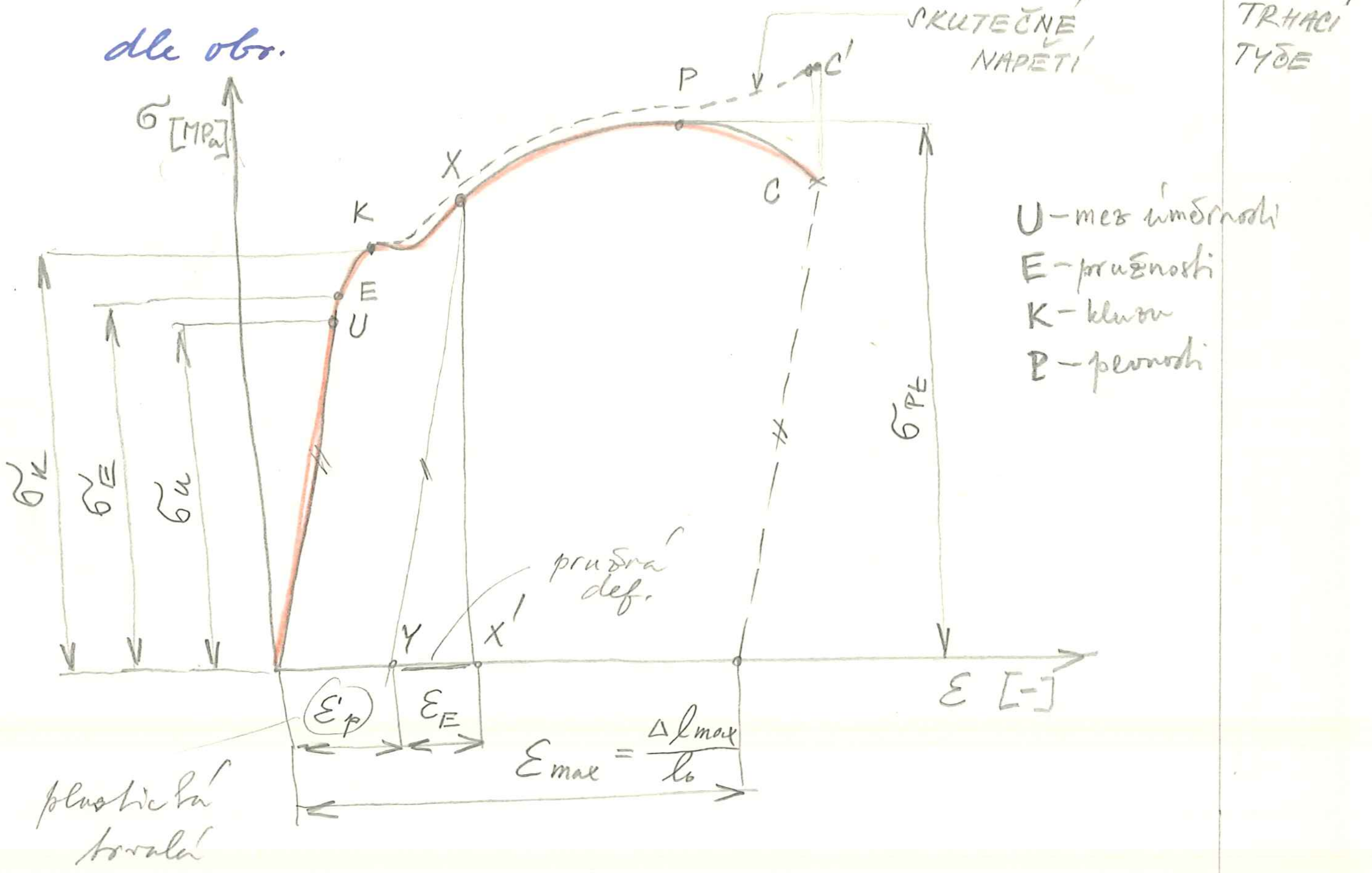
Na svislou osu nanášíme $\sigma_i = \frac{F_i}{S_0}$ — okamžité napětí; S_0 — výchozí průřez

na vodorovnou místo Δl nanášíme $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$

Zkušební tyče nejsou libovolné, ale normalizované. Tyč dlouhá $l_0 = 10d$

krátká $l_0 = 5d$

Pro měkkou (nízkouhlíkovou) ocel diagram dle obr.



1) Lineární závislost platí do meze $\underline{U}$ úměrnosti

σ_u – def. pružná, návrat k délce l_0

2) Mez pružnosti $\underline{E}$ a σ_E se zjišťuje při deformování $\Delta l_{TRVALÁ} = 0{,}005\%$ původní délky

(protože je mez úměrnosti obtížné zjišťovat)

• V praxi body E a U splývají, jsou totožné

3) Při dalším zatěžování roste σ na mez kluzu K – σ_K, kdy nastává „tečení" prodlužování materiálu při konstantní síle, někdy i při poklesu síl.

4) Dále roste napětí do maxima $P - \sigma_{Pt}$ a v bodě C nastane přetržení

– Skutečné napětí má čárkovaný průběh, protože již na tyči tlouš vzniká zaškrcení a zmenšení průřezu S. Což během zkoušky nelze zjišťovat a kreslit tedy skutečnou křivku napětí.

– Odlehčení bude na poz. v X – pak deformace má části def. pružné a plastické deformace

ε_{max} přetržení bude značíme δ $(\varepsilon_{max} = \delta)$

TAŽNOST:

$$\delta_{5,10} = \frac{l_{max} - l_0}{l_0} \cdot 100 \ [\%]$$

$$\delta = \frac{\Delta l_{max}}{l_0} \ [-]$$ 2.A 14.9.2000

zmenšení průřezu

KONTRAKCE: poměrné zúžení průřezu

(psí)

$$\psi = \frac{S_0 - S}{S_0} \ [-]$$

$$\psi = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 \ [\%]$$

PEVNOST: $\sigma_{Pt} = \frac{F_P}{S_0}$ [MPa]; MEZ KLUZU $\sigma_{Kt} = \frac{F_K}{S_0}$ [MPa]

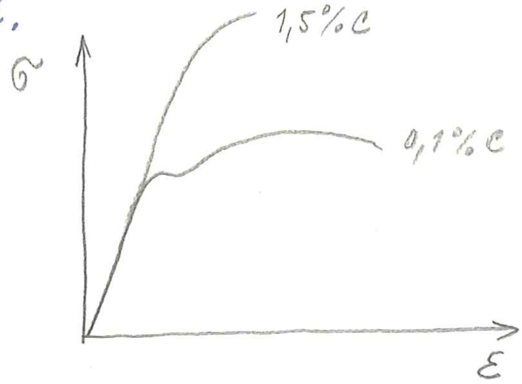
NORMA MATERIÁLU – UKÁZKA

$\sigma_{Pt} \cdots R_m$ $\quad \delta \cdots A$ $\quad (\delta_{5,10})$

$\sigma_K \cdots R_e$ $\quad \psi \cdots Z$

— Podle tažnosti a kontrakce posuzujeme houževnatost materiálu

S % uhlíku se zvyšuje σ_{Kt} i σ_{Pt} a mez kluzu mizí.

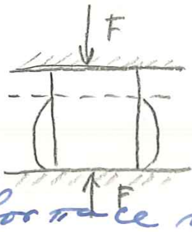


σ_{Kt} se pak určuje pro $\varepsilon = 0{,}002$ ... tj. 0,2 % původní délky (viz. norma jako vzor)

$\sigma_{Kt\,0,2}$ ...

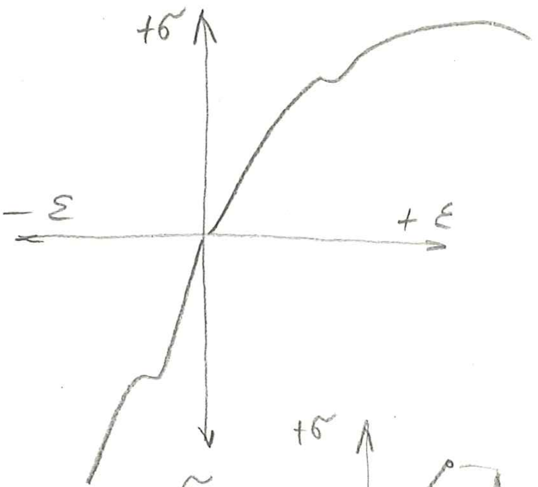
$\frac{\sigma_{Kt}}{\sigma_{Pt}} < 0{,}6$ pro měkké oceli

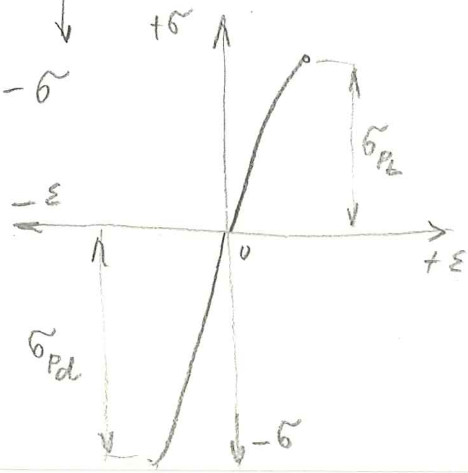
$\frac{\sigma_{Kt}}{\sigma_{Pt}} > 0{,}6$ až $0{,}85$ pro oceli nejkvalitnější (ušlechtilé-legované)



Zkouška tlakem

Deformace válečku tření na podložkách u houževnatých materiálů zkouška nic neřekne. Nelze zjistit mez pevnosti





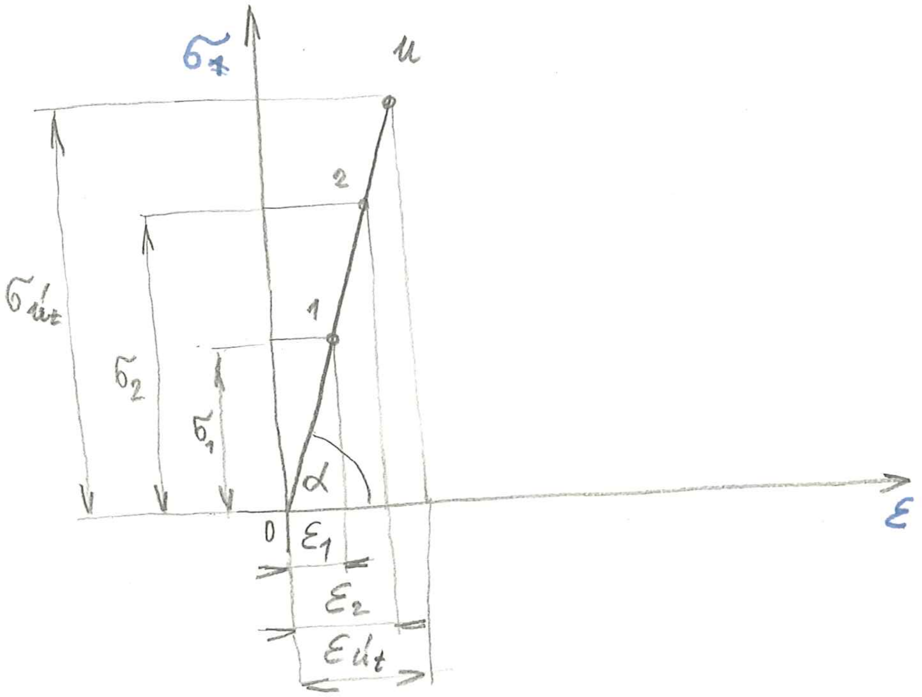
Křehké materiály nemají σ_u σ_E ani σ_K. Pouze σ_{Pt}

$\sigma_{Pd} \Rightarrow$ až $3\,\sigma_{Pt}$

1A (7)
10.9.99

HOOKEŮV ZÁKON PRO TAH A TLAK

Z diagramu již víme, že do meze ÚMĚRNOSTI je deformace přímo úměrná zatížení.



$$\frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2} = \frac{\sigma_u}{\varepsilon_u} = tg\,\alpha = konst. = E$$

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E \ [MPa]$$

!

$$\sigma = E . \varepsilon$$ mat. vyjádření Hookeova zákona

Příklad:
TENZOMETR
LASER
MECH. MĚŘ

E ..... modul pružnosti v tahu

$E = 2{,}1 . 10^5$ MPa ... pro ocel (do teploty 100°C, pak prudce klesá)

STROJNICKÉ TABULKY STR. 50 (NORMY MATERIÁLŮ)

$E = \sigma \ ..... \ \Delta l / l_0 = 1$ je to napětí při kterém by se tyč prodloužila na dvojnásobnou délku

ze zákl. rovnice

$E = (2 \div 10)$ MPa pro pryž

DEFORMAČNÍ PODMÍNKY – TAH, TLAK

$\sigma = \frac{F}{S}$ a $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\frac{F}{S} = E\,\frac{\Delta l}{l_0} \quad \text{----} \quad \Delta l = \frac{F\,l_0}{E\,S} \; [mm]$$

Tuhost

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \varepsilon = \frac{F}{E\,S}$$

E …. konstanta nezávislá na jakosti oceli

Tuhost součásti tedy podstatně (E.S) ovlivňuje deformaci

! <u>Deformaci nelze ovlivnit kvalitou daného materiálu</u>

(pouze změnou průřezu)

! UTAHOVÁNÍ ŠROUBŮ – MOMENT. KLÍČ Pozn. využití !

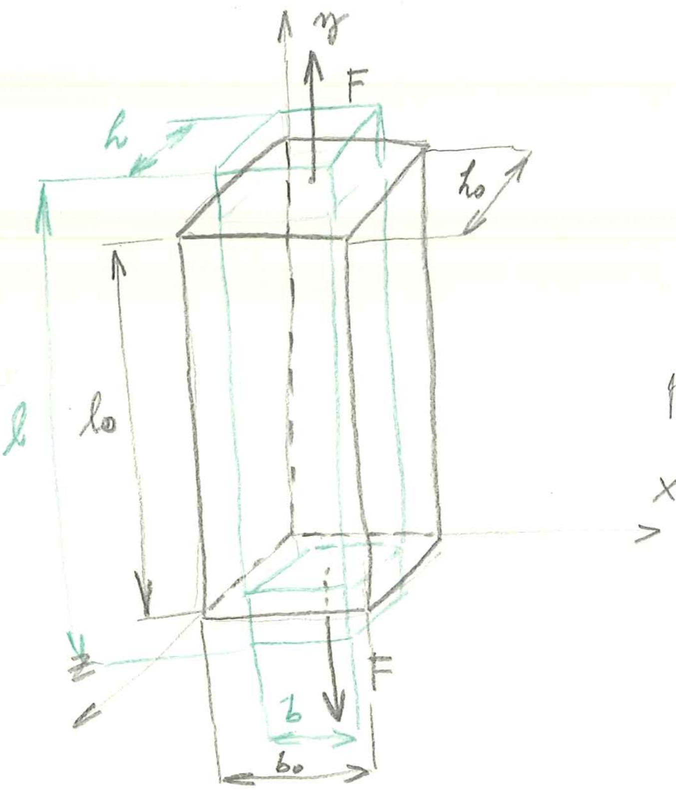
POMĚRNÁ ZMĚNA DÉLKY A PRŮŘEZOVÝCH ROZMĚRŮ

Prodloužení tyče je doprovázeno změnou rozměrů průřezu.

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta b}{b_0} \qquad \Delta b = b_0 - b$$

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta h}{h_0} \qquad \Delta h = h_0 - h$$

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta l}{l_0} \qquad \Delta l = l - l_0$$



Francouzský vědec Poissone

pro ⌀ $\quad \varepsilon_x = \varepsilon_z = \frac{\Delta b}{b_0} = \frac{\Delta h}{h_0}$

$$\left|\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}\right| = \left|\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_y}\right| = \mu$$

μ …. Poissonovo číslo

$\frac{1}{\mu} = m$ … Poissonova konstanta

$$\underline{\mu = 0 \div 0{,}5}$$

korek.. $\mu = 0{,}0$

ocel … $\mu = 0{,}3$ Pamatuj

$\mu = 0{,}25$ … litina

$\mu = 0{,}5$ … pryž

ST. 50