



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



TECHNICKÁ MECHANIKA Z POHLEDU BEZPEČNOSTI

Návody k zpracování týmových projektů

Ing. Milada Hlaváčková, Ph.D.

Ostrava 2011



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Název: Technická mechanika z pohledu bezpečnosti
Autor: Ing. Milada Hlaváčková, Ph.D.
Vydání: první, 2011
Počet stran: 38
Náklad:
Studijní materiály pro konstrukční obory navazujícího studia Fakulty strojní
Jazyková korektura: nebyla provedena



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu
Číslo: CZ.1.07/2.3.00/09.0147
Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Ing. Milada Hlaváčková, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2759-9

POKYNY KE STUDIU

Týmová cvičení předmětu Technická mechanika

Pro předmět **Technická mechanika 337-0014/05/01** jste obdrželi:

- Výklad ke dvěma reálným problémům z technické praxe. Tyto problémy byly řešeny pracovníky Katedry mechaniky VŠB-TUO, FS. Cílem řešení těchto problémů byla kontrola bezpečnosti.
- Zadání programů do předmětu Technická mechanika.
- Vzorové zpracování jednoho zadání včetně prezentace, která po zpracování programu následuje.

Prerekvizity

Předmět **Technická mechanika** navazuje na předmět Fyzika, kteří mají všichni studenti Fakulty bezpečnostního inženýrství.

Cíl učební opory

Cílem učební opory je dát studentům podklady k programům z předmětu Technická mechanika. Cílem programů je studentům dokumentovat nutnost základních znalostí z mechaniky (statiky, kinematiky, dynamiky) s ohledem na jejich studijní obor. Opora obsahuje vzorové zpracování programu a vzorové zpracování prezentace. Prezentace programu je nedílnou součástí hodnocení. Studenti se mají naučit prezentovat a obhájit výsledky své práce. Po prezentaci bude diskuze.

Pro koho je předmět určen:

Předmět **Technická mechanika** je zařazen ve 3 semestru studia jako předmět povinně volitelný ve studijním programu **B3908 - Požární ochrana a průmyslová bezpečnost** pro studijní obory **3908R005 - Technická bezpečnost osob a majetku** a **3908R006 - Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu**.

V programech jsou řešeny modelové situace vyskytující se v běžné technické praxi a řešení je kontrola bezpečnosti z hlediska Statiky (únosnost, bezpečnost proti překlopení, určení polohy těžiště z důvodů bezpečnosti při přepravě), Kinematiky (kontrola bezpečné brzdné dráhy, doba dojezdu apod.) a Dynamiky (kontrola brzdných mechanismů, kontrola rozběhu strojů z hlediska bezpečnosti apod.)

V rámci studia předmětu **Technická mechanika** dojde k rozšíření poznatků v oblasti Statiky, Kinematiky a Dynamiky pevných látek. Na úvod jsou lekce opakovací. Po části úvodní – opakovací, následují přednášky a studium následujících kapitol:

1. Základní pojmy mechaniky tuhých těles, silová soustava o společném působišti
Silová soustava o společném působišti - řešení výslednice, rovnováhy, nahrazení
2. Moment síly, silová dvojice, obecná silová soustava
Obecná silová soustava - řešení výslednice, rovnováhy, nahrazení

3. Těžiště čar, ploch a těles
4. Vazby, přímé nosníky, vnitřní statické účinky
Uvolňování vazeb, výpočty reakcí u nosníků,
5. Přímé nosníky, vnitřní statické účinky
Řešení vazbových sil a vnitřních statických účinků u přímých nosníků
6. Příhradové konstrukce (prutové soustavy)
Řešení prutových soustav - metoda styčnicková
7. Pasívní odpory, soustavy těles s pasívními odpory
Řešení soustav těles s pasívními odpory
8. Kinematika pohybu hmotného bodu, přímočarý a křivočarý pohyb,
pohyb rovnoměrný, rovnoměrně zrychlený
9. Kinematika pohybu hmotného bodu – pohyb nerovnoměrný
Přímocharý a křivočarý pohyb bodu, šikmý vrh
10. Kinematika pohybu tělesa – pohyb posuvný a rotační
11. Dynamika pohybu hmotného bodu, integrální zákony dynamiky
Řešení pohybu hmotného bodu, pohybová rovnice
12. Dynamika posuvného a rotačního pohybu tělesa
Řešení posuvného a rotačního pohybu tělesa
13. Dynamika soustav těles, metoda uvolňování, opakování, příklady
14. Opakování látky, řešení příkladů
Řešení soustav těles, udělování zápočtů

Rozsah předmětu je 2+2 (2 hodiny přednášek týdně a 2 hodiny cvičení). Podmínky absolvování předmětu jsou následující:

Zápočet – maximální počet bodů 35:

- Účast ve cvičeních (maximální povolená neúčast 3 cvičení)
- Napsání 5 písemných testů
- Zpracování programu a jeho prezentace (max 8 bodů).

- Aktivita – max. 3 body

Předmět je ukončen klasifikovaným zápočtem.

Předmět Technická mechanika je zahrnut, jak již bylo dříve zmíněno, do studijního programu studijních oborů obory **3908R005** - Technická bezpečnost osob a majetku a **3908R006** - Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu. Cílem této studijní opory je studentům více přiblížit praktické užití znalostí, které by měli v rámci studia tohoto předmětu získat. Jednotlivé vysvětlované případy jsou vždy směřovány k vyučované látce. Studenti by měli nejen umět využít získané znalosti, ale také naučit se řešit problémy technické praxe v týmu a výsledky této týmové práce prezentovat.

Přínosem bude aplikace teoretických znalostí na řešení běžných problémů technické praxe s ohledem na bezpečnost, dále to bude zkušenost studentů s prací v týmu zkušenost s obhájením svého řešení před kolektivem. V případě, že program – projekt, bude zpracován v anglickém jazyce, bude mít i vyšší bodové hodnocení.

V úvodu tohoto studijního materiálu jsou prezentace řešení dvou problémů z technické praxe, které souvisí s otázkou bezpečnosti provozu zařízení. Prvním problémem bylo řešení nárazu lokomotivy do volně stojícího vagonu a druhým problémem bylo zhodnocení nebezpečí převrácení AKU boxu-baterií lokomotivy při tomto nárazu. Vysvětlení těchto reálných problémů a jejich řešení studentům přiblíží nutnost základních znalostí mechaniky při vyhodnocování bezpečnostních rizik v technické praxi.

Zadaný program-projekt, by měl být společným výsledkem práce kolektivu studentů.

Při řešení programu je doporučen následující postup:



Čas ke zpracování programu-projektu : 2 – 4 hodiny



Cíl: Po zpracování a obhájení programu-projektu budete umět

- ✚ Popsat problém
- ✚ Rozdělit jednotlivé úkoly na členy tvůrčího týmu
- ✚ Definovat jednotlivé kroky řešení
- ✚ Vyřešit zadání programu-projektu s vyjasněním bezpečnostních rizik
- ✚ Zpracovat prezentaci vyřešeného programu-projektu
- ✚ Obhájit svůj projekt před kolektivem

OBSAH**ÚVOD****1. PŘÍKLADY Z TECHNICKÉ PRAXE****1.1 NÁRAZ LOKOMOTIVY****1.2 ŘEŠENÍ MOŽNÉHO PŘEVŘÁCENÍ AKUBOXU PŘI NÁRAZU****2. ZVEDACÍ ZAŘÍZENÍ****2.1. ZADÁNÍ****2.2. URČENÍ RYCHLOSTI A ZRYCHLENÍ****2.3. UVOLNĚNÍ TĚLESA A KONTROLA BEZPEČNÉHO ULOŽENÍ BŘEMENE
NA ZVEDACÍ PLOŠINĚ****3. ZADÁNÍ PROGRAMU A****4. ZADÁNÍ PROGRAMU B****5. ZADÁNÍ PROGRAMU C****6. ZADÁNÍ PROGRAMU D****7. ZADÁNÍ PROGRAMU E****8. ZADÁNÍ PROGRAMU F****9. ZADÁNÍ PROGRAMU H****10. ZADÁNÍ PROGRAMU K****11. ZADÁNÍ PROGRAMU L**

1. PŘÍKLADY Z TECHNICKÉ PRAXE

1.1 NÁRAZ LOKOMOTIVY

Zpracováno formou prezentace.



Výpočet nárazu lokomotivy V-60 do stojícího odbrzdeného vagonu

Práce vznikla na základě projektu FR-T11/426

„Vývoj prototypu čtyřnápravové trakční jednotky s alternativním zdrojem elektrické energie“

Drážní předpis – při nárazu lokomotivy rychlostí 20 km/hod do volně stojícího vagonu nesmí dojít k jejímu poškození

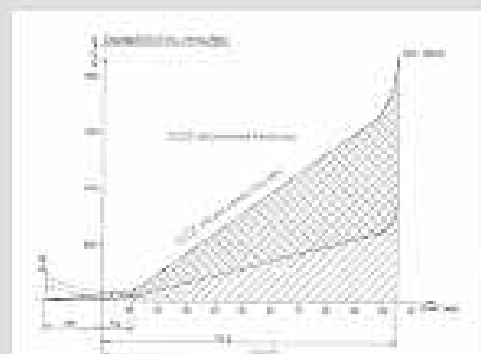
Autor: Ing. Ondřej František, Katedra mechaniky, FS VŠB-TUO

Vstupní hodnoty

Název	Výpočet	Hodnota
Hmotnost lokomotivy	ms	80 t
Hmotnost vagonu	ms	30 t
Počet náprav lokomotivy	ms	24 koly = 12 motorů

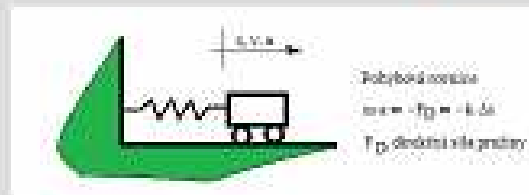


Prostorový model rámu lokomotivy



Deformační charakteristika nárazníku

Výpočetní model srážky lokomotivy s vagónem při uvažování lineární tuhosti nárazníku

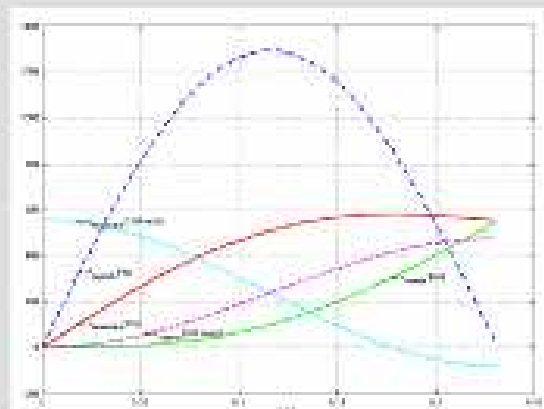


Soustavu lze popsat 2 lineárními homogenními diferenciálními rovnicemi

$$m_L \ddot{x}_L = \frac{k}{2} (x_V - x_L)$$

$$m_V \ddot{x}_V = \frac{k}{2} (x_L - x_V)$$

Výsledky lineárního modelu nárazu

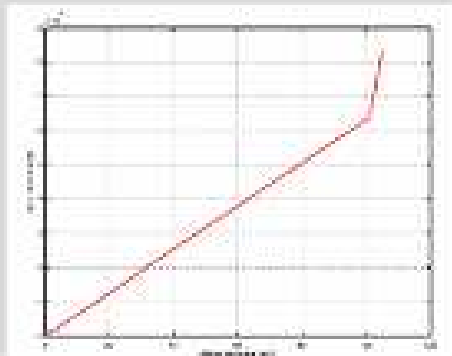


Doba kolize 0.23 s.

Maximální hodnota síly přenášené nárazníkem je $F_{\max} = 1291 \text{ kN}$

Tato síla je vyšší, než je oblast platnosti lineární charakteristiky nárazníku

Nemůžeme vzít do úvahy nelineární oblast.

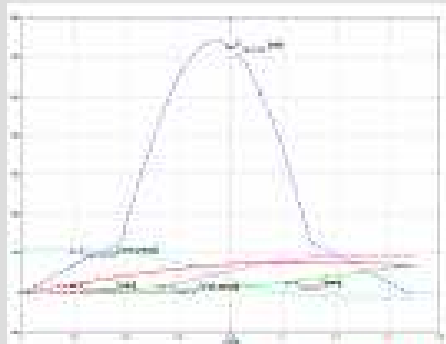


Nelineární charakteristika nárazníku

Modelová soustava je popsána dvěma nelineárními homogenními diferenciálními rovnicemi

$$m_1 \ddot{x}_1 + m_1 \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial U}{\partial \dot{x}_1} \right) = 0$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + m_2 \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial U}{\partial \dot{x}_2} \right) = 0$$



Výsledky modelu kolize

Maximální hodnota síly přenášená nárazníkem $F_{\max} = 3190 \text{ kN}$

$F_{\max}$ je vyšší, než je platnost nelineární charakteristiky nárazníku



Jakmile je nárazník plně stlačen, dále již ráz netlumí a dochází k deformaci rámu lokomotivy

Nelineární model nárazu s uvažováním deformace celníku



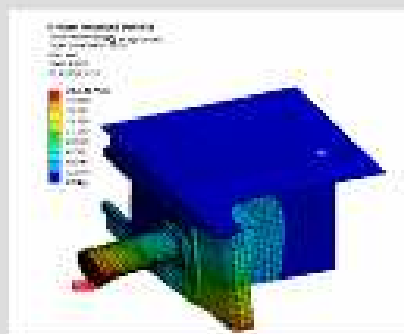
Pohyb soustavy je popsán dvěma nelineárními nehomogenními diferenciálními rovnicemi



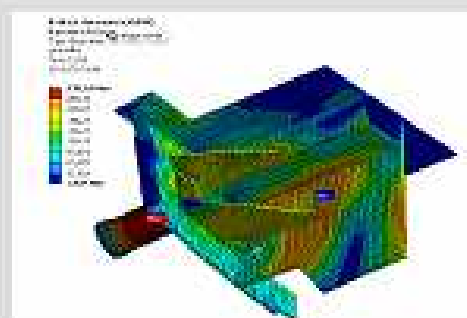
$$m_l \ddot{x}_l = \frac{k_{\text{celník}} (\Delta x)}{2} (x_v - x_l)$$

$$m_v \ddot{x}_v = \frac{k_{\text{celník}} (\Delta x)}{2} (x_l - x_v)$$

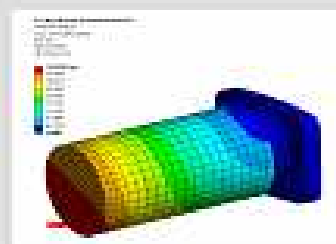
**Pole posunutí
Zatížení silou 1550 kN**



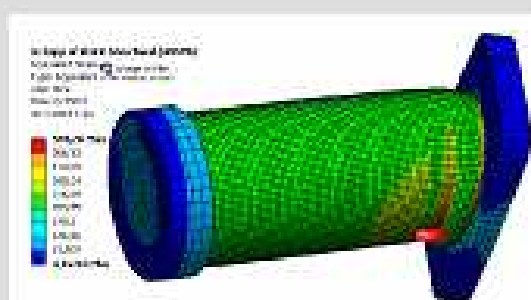
**Pole redukovaného napětí dle
HMH
Zatížení silou 1550 kN**



**Pole posunutí
Zatížení silou 2120 kN**



Pole redukovaného napětí dle HMH – Zatížení silou 2120 kN



Z áver

- Pri nárazu lokomotívy 60 tun s počáteční rychlostí 20 km/hod do odbrzdeného vagonu nebudou pružiny nárazníku schopny pohltit deformací energii a dojde k deformaci rámu lokomotívy.**
- Doba nárazu bude 0.19 s**
- Maximální přenášená síla je 1545 kN**

1.2 NÁRAZ LOKOMOTIVY A ZHODNOCENÍ RIZIK MOŽNÉHO PŘEKLOPENÍ AKUBOXŮ

Zpracováno formou prezentace.



Kontrola rizika převrácení AKU boxu při nárazu lokomotivy V-60 do stojícího odbrzdného vagonu

Práce vznikla na základě projektu FR-T 11/426

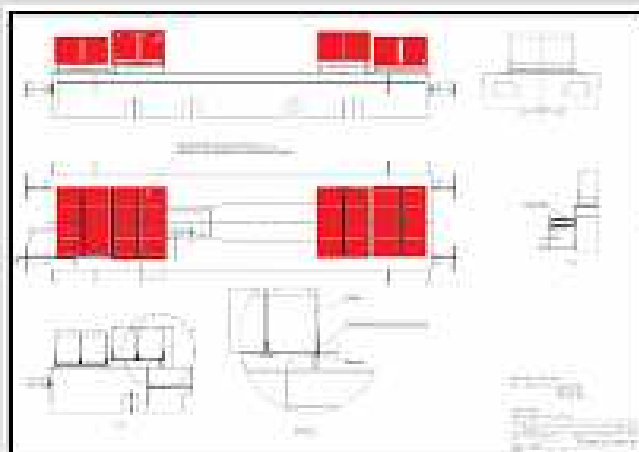
„Vývoj prototypu čtyřnápravové trakční jednotky s alternativním zdrojem elektrické energie“

Drážní předpis – při nárazu lokomotivy rychlostí 20 km/hod do volně stojícího vagonu nesmí dojít k jejímu poškození

Autor: Ing. Ondřej František, Katedra mechaniky, FS VŠB-TUO

Vstupní hodnoty a požadavky zadavatele

- Kontrola rizika překlopení AKU boxu při nárazu lokomotivy 60 tun počáteční rychlostí 20 km/hod do volně stojícího vagonu



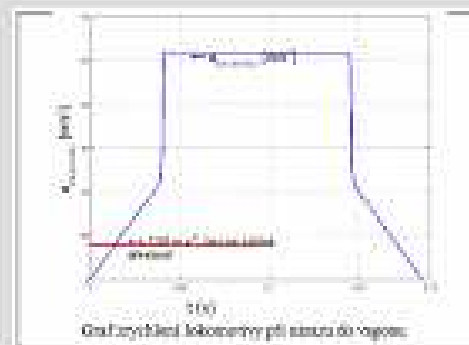
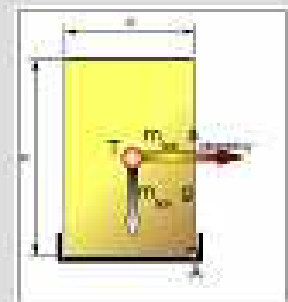
Rozměry AKU boxu schema možného překlopení při nárazu



Výpočtový model převrácení jednoho AKU boxu

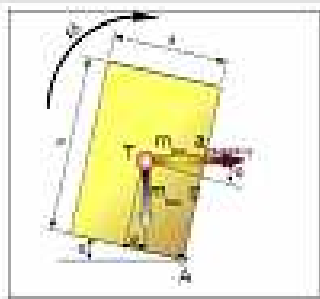
Podmínka překlopení

$$m_{\text{box}} \cdot a_{\text{lokomotivy}} \cdot \frac{h}{2} > m_{\text{box}} \cdot g \cdot \frac{a}{2} \Rightarrow \underline{a_{\text{lokomotivy}} > g \cdot \frac{a}{h} = 7,88 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}$$



Zrychlení je vyšší než vypočtená
limitní hodnota:
AKU box se začne překlápet

Preklápění AKU boxu – lze popsat pohybovou rovnicí pro rotační pohyb



Moment setrvačnosti

$$I_A = \frac{1}{2} m_{box} (a^2 + h^2)$$

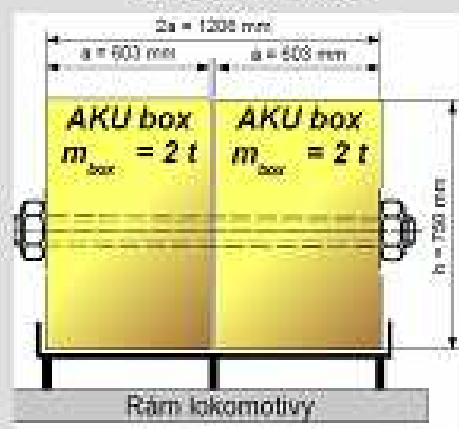
Pohybová rovnice

$$I_A \cdot \ddot{\varphi} = -m_{box} g \left(\frac{a}{2} \cos \varphi - \frac{h}{2} \sin \varphi \right) + m_{box} a_{lokomotivy} \left(\frac{h}{2} \cos \varphi + \frac{a}{2} \sin \varphi \right)$$

Výsledek numerického řešení pohybové rovnice:

D'Alembertova síla způsobená nárazem lokomotivy dodá AKU boxu takové množství kinetické energie, že by došlo k jeho **preklápění a nárazu do kabiny strojvedoucího !!!!**

Výpočtový model možného převrácení 2 AKU boxů spojených závitovou tyčí



Podmínka překlopení

$$m_{box} \cdot a_{lokomotivy} \cdot \frac{h}{2} > m_{box} \cdot g \cdot \frac{2 \cdot a}{2} \Rightarrow a_{lokomotivy} > g \cdot \frac{2 \cdot a}{h} = 15,8 m \cdot s^{-2}$$

Preklopení – pohyb rotací Pohybová rovnice pohybu rotačního

$$\frac{1}{3} \left((2a)^2 + h^2 \right) \cdot \ddot{\varphi} = -g \left(\frac{2a}{2} \cos \varphi - \frac{h}{2} \sin \varphi \right) + a_{\text{lokomotivy}} \left(\frac{h}{2} \cos \varphi + \frac{2a}{2} \sin \varphi \right)$$

I v tomto případě dosáhly hodnoty D'Alembertovy síly takové velikosti, že by se boxy začaly naklápět.

Maximální úhel naklopení 42°

Hodnota naklopení nepřijatelná

Výpočtový model možného převrácení 4 AKU boxů spojených závitovými tyčemi



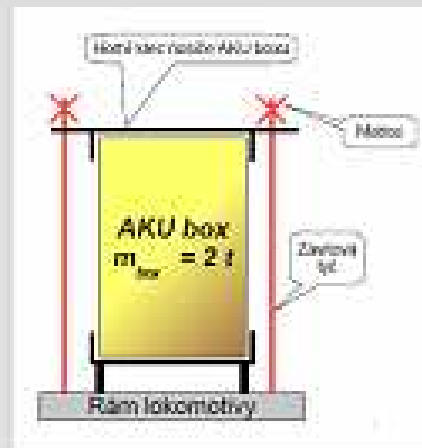
Podmínka překlopení

$$m_{\text{box}} \cdot a_{\text{lokomotivy}} \cdot \frac{h}{2} > m_{\text{box}} \cdot g \cdot \frac{4 \cdot a}{2} \Rightarrow a_{\text{lokomotivy}} > g \cdot \frac{4 \cdot a}{h} = 31,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

I v tomto případě se AKU box začne preklápat, ale
Výchylka dosáhne hodnoty 2,2° – **hodnota přípustná**

Záver

Spojením 4 AKU boxu bude zajištěna požadovaná bezpečnost
Bezpečnost při nárazu se zvýší zajištěním AKU boxu
pomocí horní klece přidržované závitovými tyčemi



2. PROGRAM – ZVEDACÍ PLOŠINA

Cílem zadání je posouzení nebezpečí pádu či posunu břemene na zvedací plošině v provedení "paralelogram".



2.1 Zadání

Zvedací plošina s břemenem o celkové hmotnosti m_t je součástí čtyřkloubového mechanismu v provedení "paralelogram" a koná posuvný kruhový pohyb. Ramena paralelogramu mají délku r , rozteč kloubů paralelogramu je s . Poloha těžiště plošiny (včetně nákladu) je dána jeho vzdáleností od kloubů b_T a h_T . Plošina je zvedána z počáteční klidové polohy (ramena paralelogramu jsou vodorovná, $y = 0$ m, počáteční rychlost je nulová) konstantní silou F , která je od vodorovného směru odkloněna o úhel β .

Určete:

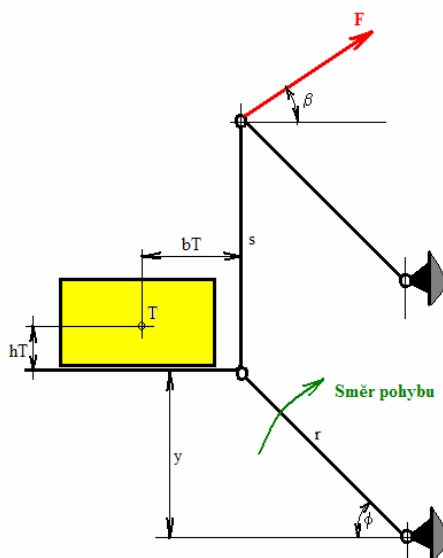
- 1) Určete, zda v poloze dané úhlem ϕ nedojde k posunu břemene po plošině.
- 2) Zpracujte prezentaci projektu

$$m_t := 800 \cdot \text{kg} \quad r := 1.8 \cdot \text{m} \quad s := 0.9 \cdot \text{m}$$

$$h_T := 0.5 \cdot \text{m} \quad b_T := 0.4 \cdot \text{m} \quad Q := m_t \cdot g$$

$$F := 12500 \cdot \text{N} \quad \beta := 25 \cdot \text{deg}$$

$$\phi = 70^\circ$$



Obrázek 2.1 – Schéma zvedací plošiny



Čas ke studiu: 8 hodin



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

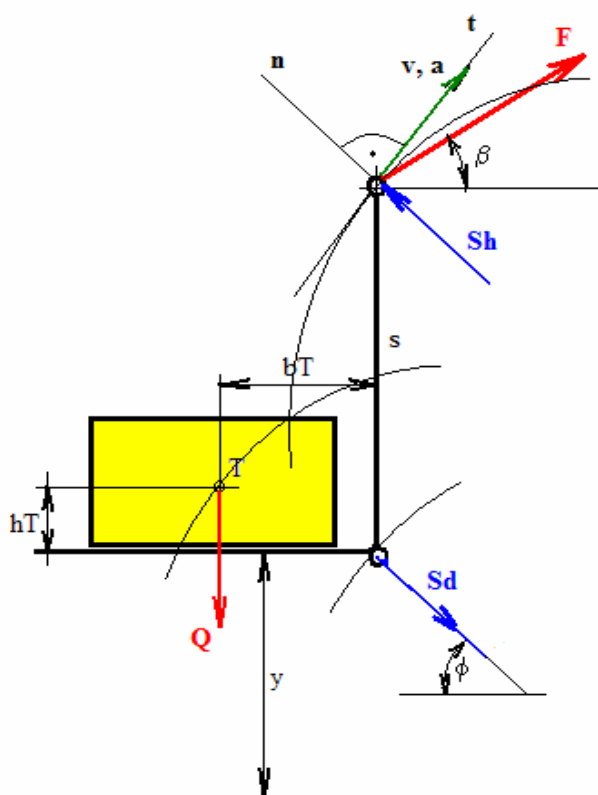
- + Uvolnit soustavu těles – zvedací plošina
- + Sestavit pohybové rovnice
- + Rozdělit jednotlivé úkoly na členy pracovního týmu
- + Vyřešit pohybové rovnice
- + Vyřešit dílčí úlohy
- + Zpracovat prezentaci
- + Obhájit řešení před kolektivem



Výklad – postup řešení

Mechanismus je konstruován v provedení paralelogram. Břemeno uložené na plošině koná pohyb posuvný po kružnici. (Pohyb posuvný je definován tak, že spojnice libovolných dvou bodů na tělesa zůstává ve stejné poloze, což je v tomto případě splněno).

Trajektorie jednotlivých bodů jsou kružnice o stejném poloměru r .



Obrázek 2.2 – Uvolnění zvedací plošiny



2.1. Rozbor úlohy a početní řešení

Pro vlastní pohyb tělesa je nutno sestavit 2 pohybové rovnice a to ve směru tečny a ve směru normály pohybu. Ve směru normály se nemění vzdálenost těžiště od osy rotace, nemůže tedy existovat ani rychlost tělesa ve směru osy y (v_n je nulová).

Pohybová rovnice pro směr tečny

$$m_t \cdot a_T = F \cdot \sin(\beta + \phi) - G \cdot \cos(\phi) \quad [1]$$

Pohybová rovnice ve směru normály:

$$m_t \cdot a_n = S_h - S_d - F \cdot \cos(\beta + \phi) - Q \cdot \sin(\phi) \quad [2]$$



2.2 Rychlost plošiny po zvednutí do tří poloh daných úhlem ϕ

Vlastní výpočet vychází z řešení pohybové rovnice ve směru tečny T

$$m_t \cdot a_T = F \cdot \sin(\beta + \phi) - G \cdot \cos(\phi)$$

$$a_T = v \cdot \frac{dv}{ds} = v \cdot \frac{dv}{r \cdot d\phi} = \frac{F \cdot \sin(\beta + \phi) - G \cdot \cos(\phi)}{m_t}, \quad \text{kde} \quad [3]$$

r je poloměr trajektorie kteréhokoliv bodu tělesa nebo plošiny

Sdráha kteréhokoliv bodu tělesa nebo plošiny

Gcelková tíha tělesa a plošiny

m_thmotnost tělesa a plošiny

Po separaci proměnných se řeší rovnice:

$$\int_{v_0}^v v \, dv = \int_{\phi_0}^{\phi} \frac{F \cdot \sin(\beta + \phi) - G \cdot \cos(\phi)}{m_t} \cdot r \, d\phi$$

$v_0 = 0 \cdot \frac{m}{s}$ počáteční rychlost plošiny

$\phi_0 = 0$ počáteční poloha plošiny

ϕobecný úhel sklonu vzpěr

$$\frac{v^2}{2} - \frac{v_0^2}{2} = \frac{r}{m_t} [G \cdot (\sin(\phi_0) - \sin(\phi)) + F \cdot (\cos(\beta + \phi_0) - \cos(\beta + \phi))]$$

Výsledný vztah pro výpočet rychlosti plošiny:

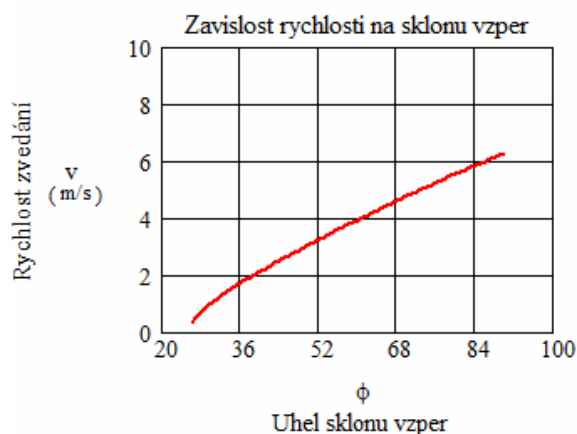
$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{r}{mt} \cdot [F \cdot (\cos(\beta) - \cos(\beta + \phi)) - G \cdot \sin(\phi)]} \quad [4]$$

Z této rovnice vyplývá, že rychlost zvedání plošiny není konstantní, ale mění se v závislosti na úhlu ϕ .

Po dosažení 3 různých hodnot úhlu ϕ byly získány následující výsledky:

Tab.2.1 – Rychlost zvedací plošiny v závislosti na úhlu ϕ

Rychlost zvedací plošiny	
Úhel ϕ	Rychlost zvedací plošiny [m/s]
30°	1.032 m/s
41°	2.301 m/s
70°	4.765 m/s



Obrázek 2.3 – Závislost hodnoty rychlosti zvedání plošiny na úhlu ϕ



2.3 Výpočet úhlového zrychlení pro úhel $\phi = 70^\circ$

Nejen rychlost, ale i zrychlení zvedací plošiny se mění v závislosti na úhlu ϕ , viz. rovnice [3] a [4].

Úhlové zrychlení plošiny se pak vypočte:

$$\alpha = \frac{aT}{r} \quad [5]$$

$$\alpha = \frac{F \cdot \sin(\beta + \phi) - G \cdot \cos(\phi)}{m \cdot r} \quad [6]$$

Pro úhel $\phi = 70^\circ$

$$\alpha := \frac{F \cdot \sin(\beta + \phi) - G \cdot \cos(\phi)}{m \cdot r} \quad \alpha = 6.784 \text{ sec}^{-2}$$



2.4 Kontrola polohy tělesa na plošině při zvedání

Pro výpočet možného posunutí břemene na plošině je nutno opět uvolnit těleso se zavedením D'Alembertových sil a to jak ve směru normály pohybu **D_n**, tak ve směru tečny **D_t**. Jak síla **D_n** (síla odstředivá), tak síla **D_t** budou se budou v průběhu pohybu měnit a jejich velikost bude funkcí úhlu ϕ .

$$\text{D'Alembertova síla tečná} \quad D_t = m \cdot a_T \quad [7]$$

$$\text{D'Alembertova síla normálová} \quad D_n = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad [8]$$

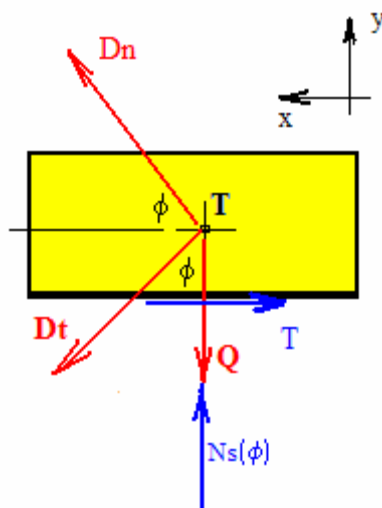
Těleso je zvedáno pohybem posuvným. Jde však o pohyb nerovnoměrný a na těleso působí jak síla odstředivá, tak síla setrvačná. V důsledku těchto sil by mohl dojít k posunu tělesa po plošině ve směru osy x. Tím by mohlo dojít k pádu tělesa z plošiny a následnému zranění osob či poškození dopravovaného tělesa.



2.4.1 Rozbor úlohy a početní řešení

Na zvedané těleso působí síla odstředivá (D_n – působí ve směru normály), D'Alembertova síla D_t – působí ve směru tečny, a vlastní tíha tělesa.

Uvolnění tělesa je uvedeno na obr. 2.4.



Obrázek 2.4 – Uvolnění tělesa

Po uvolnění tělesa je možno sestavit dvě pohybové rovnice .

$$m_t \cdot a_y = D_n(\phi) \cdot \sin(\phi) + N_s(\phi) - D_t(\phi) \cdot \cos(\phi) - Q \quad [11]$$

Vzhledem k tomu, že pro souřadný systém zavedený dle obr. 1.8 nemůže těleso při zvedání měnit svou souřadnici ve směru osy y (leží na plošině), musí být rychlost i zrychlení ve směru osy y rovno nule. Pak lze z rovnice [11] přímo určit sílu normálovou $N_s(\phi)$.

$$N_s(\phi) := -D_n(\phi) \cdot \sin(\phi) + D_t(\phi) \cdot \cos(\phi) + Q \quad [12]$$

Pohybová rovnice ve směru osy x.

$$m_t \cdot a_x = D_n(\phi) \cdot \cos(\phi) + D_t(\phi) \cdot \sin(\phi) - N_s(\phi) \cdot f \quad [13]$$

Z této rovnice lze vypočítat zrychlení ve směru osy x:

$$a_x := \frac{-(-D_n(\phi) \cdot \cos(\phi) - D_t(\phi) \cdot \sin(\phi) + N_s(\phi) \cdot f)}{m_t} \quad [14]$$

Pokud vyjde hodnota zrychlení a_x kladná, znamená to, že dojde k posunu tělesa po plošině.

$$D_n(\phi) = 1.009 \times 10^4 \text{ N}$$

$$D_t(\phi) = 9.769 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_s(\phi) = 8.131 \times 10^3 \text{ N}$$

$$a_x = 14.773 \text{ msec}^{-2}$$



2.5. Závěr

Pro polohu plošiny dané úhlem $\varphi = 70^\circ$ je hodnota zrychlení $a_x = 14.773 \text{ m/s}^2$. Hodnota je vysoká, což svědčí o špatném konstrukčním řešení. Aby se zabránilo pohybu tělesa po plošině a tím se eliminovalo riziko pádu břemene a ohrožení osob v blízkosti pracující plošiny, bude nutno zajistit:

- Zmenšit hodnotu hnací síly, při kterém dojde ke snížení rychlosti zvedání a snížení hodnot zrychlení a opakovat celý výpočet pro menší hodnotu síly **F**
- Uchycení tělesa na plošině
- Konstrukční úprava plošiny



2.6. Prezentace

Zpracovaný projekt bude prezentován autory před skupinou studentů. K prezentaci by měla proběhnout diskuse. Dotazy k předvedené prezentaci klade vyučující i studenti.

Prezentace musí obsahovat:

- Stručné zadání programu
- Schéma zadání
- Seznam úkolů, které budou řešeny
- Nástin řešení problému. Pozn.: minimální množství textu, heslovitý popis řešeného problému, základní rovnice, schéma.
- Vlastní řešení – obsahuje základní rovnice, výsledky v přehledných tabulkách, grafy řešení.
- Závěr – shrnutí výsledků, komentář. Opět zde nemá být velké množství textu, jen heslovitě vlastní myšlenky, závěry, doporučení.
- Poděkování s jmenným seznamem autorů a event. kontakty na autory.



VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ

Kontrola uložení břemene na zvedacím zařízení



[http:// www.fs.vsb.cz](http://www.fs.vsb.cz)

ZADÁNÍ

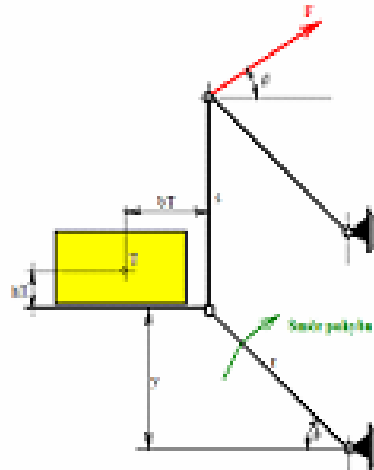
Zvedací plošina s bremenem o celkové hmotnosti m je součástí čtyřkloubového mechanismu v provedení "paralelogram" a koná posuvný kruhový pohyb. Ramena paralelogramu mají délku r , roztec kloubu paralelogramu je s . Poloha těžiště plošiny (včetně nákladu) je dána jeho vzdáleností od kloubu bT a hT . Plošina je zvedána z počáteční klidové polohy (ramena paralelogramu jsou vodorovná, $y = 0$ m, počáteční rychlost je nulová) konstantní silou F , která je od vodorovného směru odkloněna o úhel β .

Urcete:

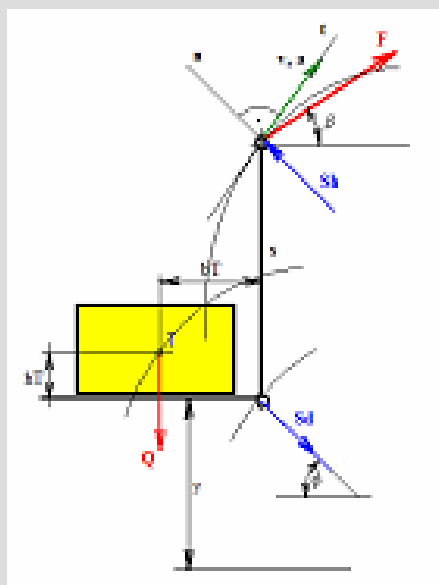
- 1) Urcete, zda v poloze dané úhlem β nedojde k posunu břemene po plošině.
- 2) Zpracujte prezentaci projektu

ČÍSLNÉ HODNOTY ZADÁNÍ

$m := 800\text{-kg}$ $r := 1.8\text{-m}$
 $h_T := 0.5\text{-m}$ $b_T := 0.4\text{-m}$
 $F := 12500\text{-N}$ $\beta := 25\text{-deg}$
 $\phi := 70^\circ$
 $s := 0.9\text{-m}$
 $Q := m \cdot g$

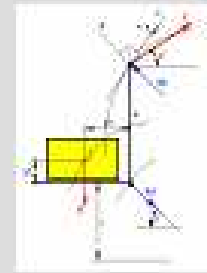


Mechanismus je v provedení paralelogram
Bremeno uložené na plošine koná pohyb posuvný
po kruhové trajektorii o polomeru r .



Pohybová rovnice ve směru tečny

$$mt \cdot a_T = F \cdot \sin(\beta + \phi) - G \cdot \cos(\phi)$$

**Pohybová rovnice ve směru normály**

$$mt \cdot a_n = Sh - Sd - F \cdot \cos(\beta + \phi) - Q \cdot \sin(\beta + \phi)$$

Výpočet zrychlení ve směru tečny - a_T

$$a_T = v \cdot \frac{dv}{ds} = v \cdot \frac{dv}{r \cdot d\phi} = \frac{F \cdot \sin(\beta + \phi) - G \cdot \cos(\phi)}{mt}$$

Po separaci promenných a dosazení mezí se řeší
diferenciální rovnice:

$$\int_{v_0}^v v dv = \int_{\phi_0}^{\phi} \frac{F \cdot \sin(\beta + \phi) - G \cdot \cos(\phi)}{mt} \cdot r d\phi$$

Vztah pro výpočet rychlosti zvedání břemene

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{r}{mt} [F (\cos(\beta) - \cos(\beta + \phi)) - G \cdot \sin(\phi)]}$$

**Jak hodnoty zrychlení, tak hodnoty rychlosti se mění
v závislosti na úhlu ϕ .**

Pohybová rovnice ve směru osy x

$$m \cdot a_x = D_n(\phi) \cdot \cos(\phi) + D_t(\phi) \cdot \sin(\phi) - N_s(\phi) \cdot f$$

Velikost zrychlení a_x ve směru osy x

$$a_x := \frac{D_n(\phi) \cdot \cos(\phi) + D_t(\phi) \cdot \sin(\phi) - N_s(\phi) \cdot f}{m}$$

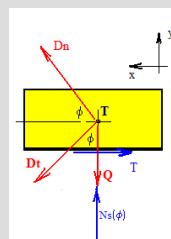
Vypočítané hodnoty:

$$D_n(\phi) = 1.009 \times 10^4 \text{ N}$$

$$D_t(\phi) = 9.769 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_s(\phi) = 8.131 \times 10^3 \text{ N}$$

$$a_x = 14.773 \text{ m sec}^{-2}$$



Bremeno se pohybuje pohybem nerovnoměrným

Působí na něj následující síly:

D'Alembertova síla normálová - D_n

D'Alembertova síla tečná - D_t

Vlastní tíha břemene - Q

Uvolnění břemene

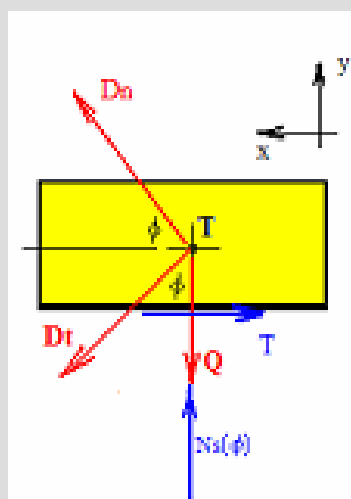


N_s – síla normálová

T – síla třecí

Síla normálová N_s i síla

Třecí T se mění v závislosti
na úhlu ϕ .



Výpočet síly D'Alembertovy ve směru tečny

$$D_t = m \cdot a_T$$

Výpočet síly D'Alembertovy ve směru normály

$$D_n = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

Pohybová rovnice ve směru osy y

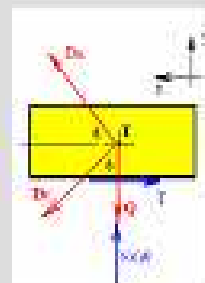
$$m \cdot a_y = D_n(\phi) \cdot \sin(\phi) + N_s(\phi) - D_t(\phi) \cdot \cos(\phi) - Q$$

Ve směru osy y se poloha břemene na plošine nemění ➡ břemeno bude mít ve směru této osy nulovou rychlost a nulové zrychlení

$$0 = D_n(\phi) \cdot \sin(\phi) + N_s(\phi) - D_t(\phi) \cdot \cos(\phi) - Q$$

Velikost síly normálové $N_s(\phi)$

$$N_s(\phi) = -D_n(\phi) \cdot \sin(\phi) + D_t(\phi) \cdot \cos(\phi) + Q$$

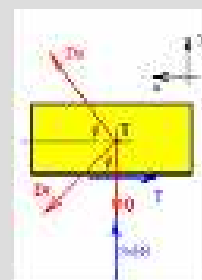


Pohybová rovnice ve směru osy x

$$m \cdot a_x = D_n(\phi) \cdot \cos(\phi) + D_t(\phi) \cdot \sin(\phi) - N_s(\phi) \cdot f$$

Velikost zrychlení a_x ve směru osy x

$$a_x = \frac{D_n(\phi) \cdot \cos(\phi) + D_t(\phi) \cdot \sin(\phi) - N_s(\phi) \cdot f}{m}$$



Vypočítané hodnoty:

$$D_n(\phi) = 1.009 \times 10^4 \text{ N}$$

$$D_t(\phi) = 9.769 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_s(\phi) = 4.131 \times 10^3 \text{ N}$$

$$a_x = 14.773 \text{ m/sec}^2$$

Záver

Hodnota zrychlení **ax** bremene na plošine je znáca.
Znamená to, že pri zadaných hodnotách síl by sa bremeno začalo po plošine pohybovať.

Pohyb bremene po plošine je neprípustný z dôvodu požiadavku na bezpečnú manipuláciu s materiálom.

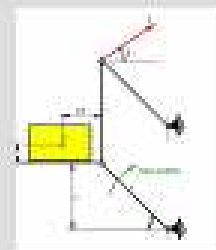
Navrhované úpravy:

- Uchycenie bremene na plošine
- Sníženie hnacích síl a tým dojde ke zníženiu rýchlosti a zrychlenia
- Konštrukčná úprava plošiny



Dekujeme za pozornosť !

Kolektív autoru



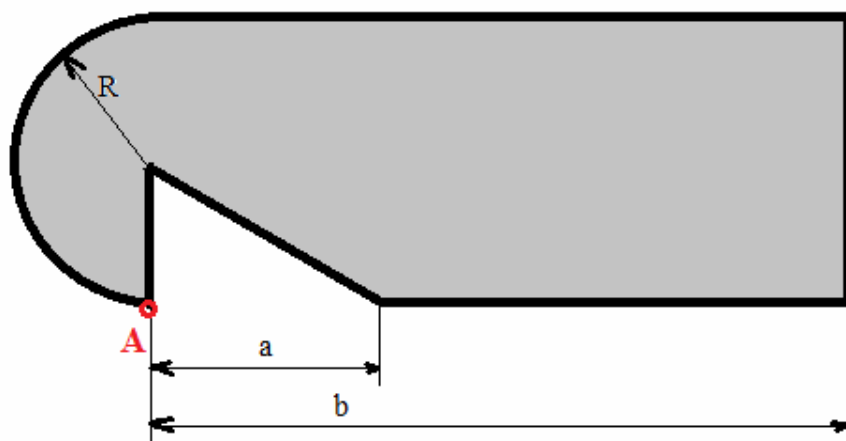
3. ZADÁNÍ PROGRAMU A

Homogenní těleso dle obrázku je nutno při transportu uložit na dvě podpory. Jedna podpora musí být v bodě A. Určete, ve kterém bodě je nutno umístit druhou podporu, aby podpory byly rovnoměrně zatíženy.

$$R = 150 \text{ mm}$$

$$a = 200 \text{ mm}$$

$$b = 600 \text{ mm}$$



Pozn:

Při řešení problému je nutno mít znalosti o výpočtu polohy těžiště a řešení výslednice soustavy rovnoběžných sil.

4. ZADÁNÍ PROGRAMU B

Kontejner o hmotnosti m_B je volně uložen na korbě nákladního automobilu. Při maximálním využití účinků brzd je hodnota největšího možného dosažitelné zpomalení $a_{\max}$. Mezi kontejnerem a kabinou řidiče automobilu je vzdálenost b .

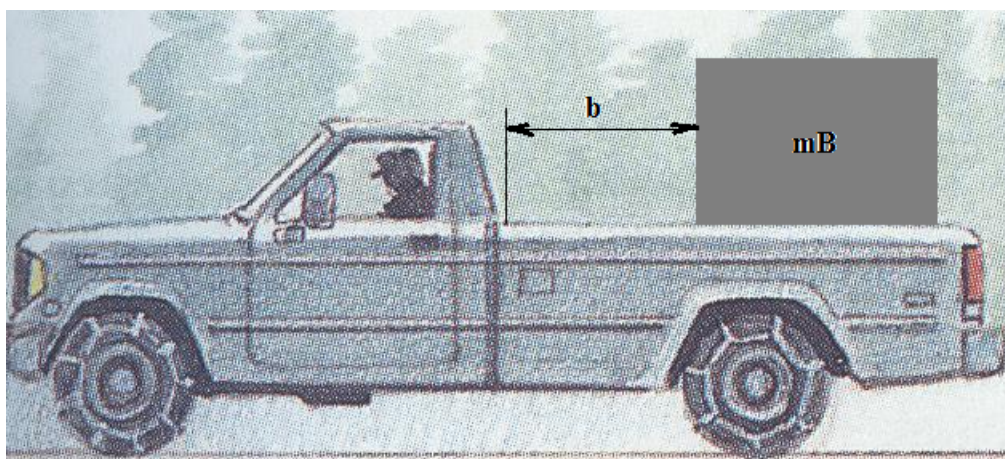
Určete maximální možnou dobu $t_{\max}$, kterou může nákladní automobil brzdit s maximálním zpomalením $a_{\max}$, aby nedošlo nárazem kontejneru do kabiny k ohrožení posádky kabiny (tzn. nesmí dojít k nárazu kontejneru do kabiny). Součinitel smykového tření mezi břemenem a kabinou je f . Dále určete bezpečnou hodnotu ab , při které nedojde k posunu nezajištěného břemene po nákladní ploše.

$$a_{\max} = 7 \text{ m/s}^2$$

$$b = 1.5 \text{ m}$$

$$m_B = 2 \text{ t}$$

$$f = 0.1$$



Pozn:

Při řešení problému je nutno mít znalosti z oblasti dynamiky pohybu hmotného bodu.

5. ZADÁNÍ PROGRAMU C

Určete, do jaké maximální bezpečné výšky **H_{max}** může pracovník vystoupit na žebřík, aby nedošlo k proklouznutí žebříku po podlaze a možnému zranění pracovníka. Žebřík je délky **L** a jeho hmotnost je **m_z**. Hmotnost řemeslníka je **m_t**. Těžiště žebříku je ve středu jeho délky. Úhel opření žebříku je 60° . Součinitel adheze mezi žebříkem a podlahou je **f_{o1}**. Součinitel adheze mezi žebříkem a stěnou je **f_{o2}**.

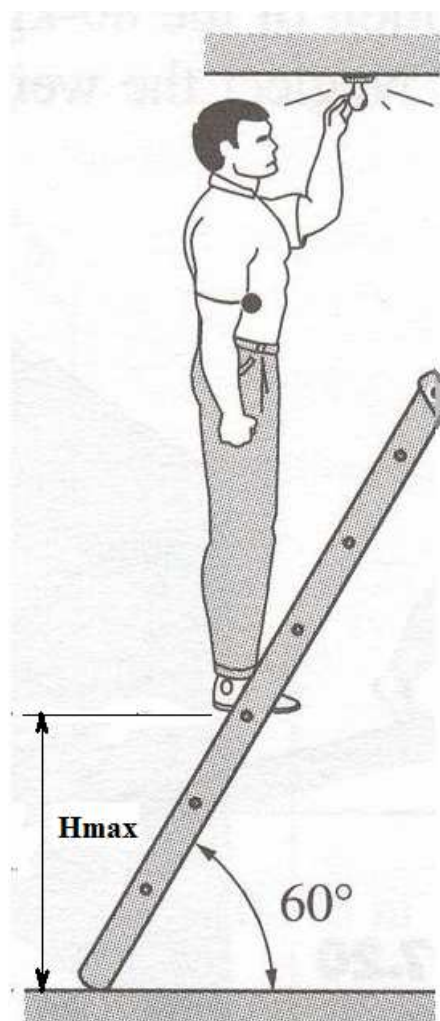
$$m_t = 80 \text{ kg}$$

$$m_z = 7 \text{ kg}$$

$$L = 2.4 \text{ m}$$

$$f_{o1} = 0.25$$

$$f_{o2} = 0.2$$

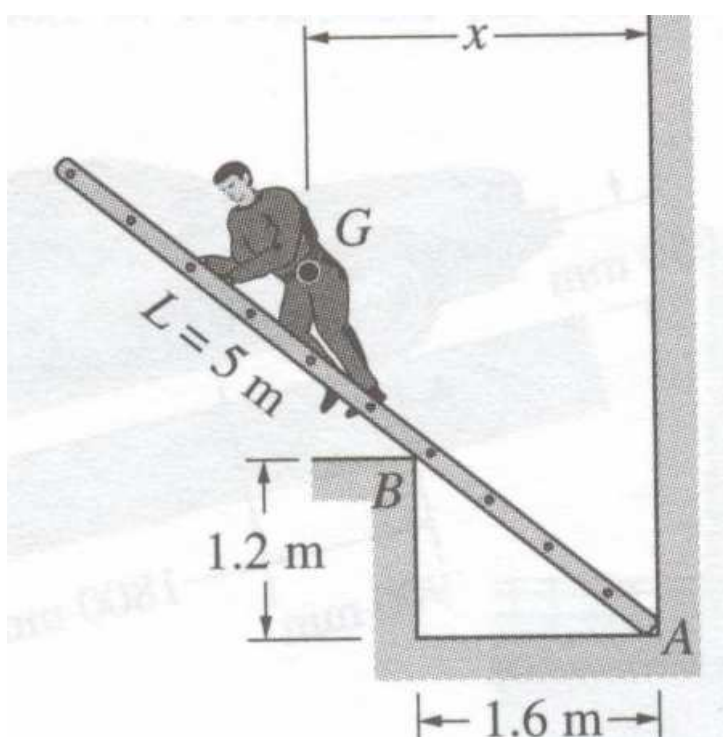


Pozn. Při řešení problému je nutno mít znalosti z oblasti rovnovážné polohy tělesa a základní znalosti z oblasti pasivních odporů.

6. ZADÁNÍ PROGRAMU D

Určete maximální vzdálenost **x_{max}**, kam může pracovník o hmotnosti **m_t** vylézt, aby nedošlo k proklouznutí žebříku a pádu pracovníka. Žebřík je délky **L** jeho hmotnost je **m_z**. Těžiště žebříku je v jeho středu.

Zanedbáním pasivních odporů bude vypočtená hodnota **x_{max}** na straně bezpečnosti.



$$m_t = 80\text{ kg}$$

$$L = 7.8\text{ m}$$

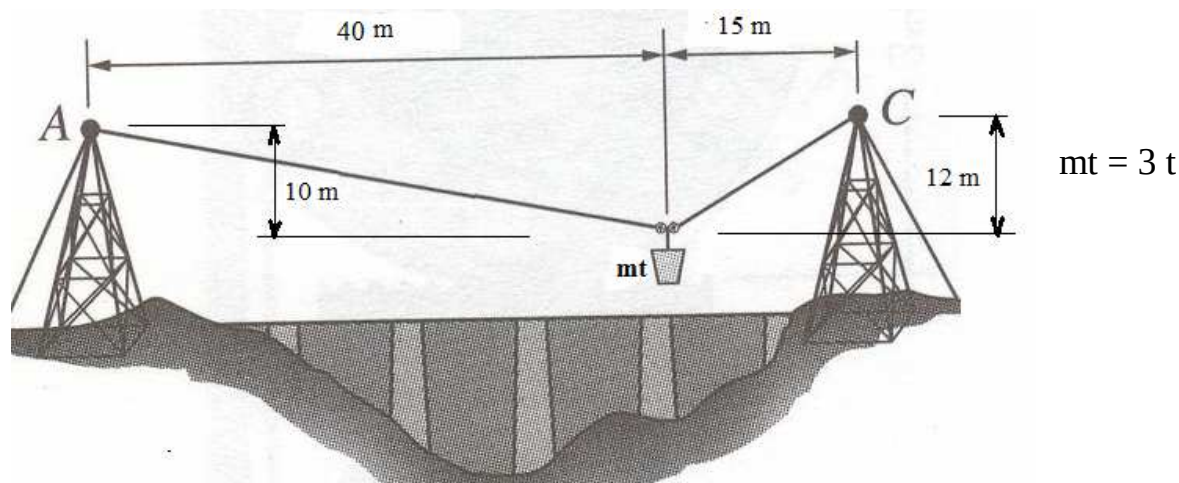
$$m_z = 7\text{ kg}$$

Pozn:

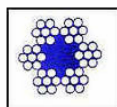
Pro vyřešení problému jsou nutné znalosti rovnovážné polohy tělesa, tzn. sestavení rovnovážných rovnic pro těleso v rovině a jejich výpočet.

7. ZADÁNÍ PROGRAMU E

Při stavbě bude nutno zajistit zavěšení břemene o hmotnosti **mt** v poloze dle obrázku. Zvolte lano (viz. příložená specifikace), které splňuje podmínky zadání s 15% rezervou zohledňující vliv námrazy a vlastní tíhy lana.



Šestipramenné ocelové lano - 42 drátů - duše z vláken



42 drátů - duše z vláken
ČSN EN 12385-2
DIN 3055
Konstrukce 6x7-FC 1770 B sZ

Použití:

posunovadla, montážní, lyžařské vleky, signální, vrátková, na kotvení apod.

Jmenovitý průměr lana mm 0 - 8%	Jmenovitá hmotnost lana kg/m	Minimální síla při přetržení lana F _{min} v kN při jmenovité pevnosti drátů MPa	
		1570	1770
2	0,0138	-	2,35
2,5	0,0224	-	3,82
3	0,0311	-	5,29
4	0,0552	-	9,40
5	0,0863	-	14,70
6	0,1240	-	21,20
7	0,1690	-	28,80
8	0,2210	33,40	37,60
9	0,2790	42,20	47,60
10	0,3450	52,20	58,80

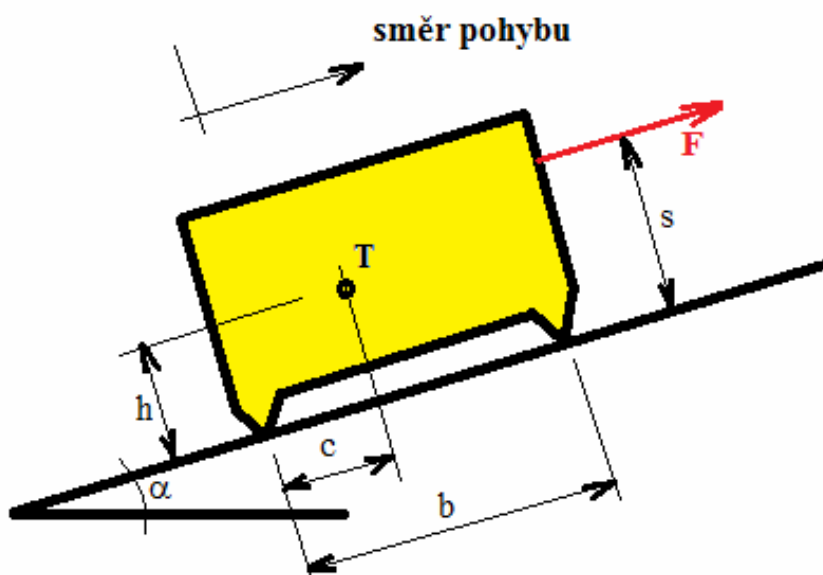
Pozn. Pro řešení daného úkolu je nutné mít znalosti rovnováhy rovinné silové soustavy o společném působišti.

8. ZADÁNÍ PROGRAMU F

Plně naložený kontejner o hmotnosti **mt** je tažen silou **F** po nakloněné rovině (viz. zadání). Určete maximální sílu **F_{max}**, kterou je možno na kontejner působit aby nedošlo k překlopení kontejneru a ohrožení pracovníků pohybujících se v jeho blízkosti. Určete zároveň s jakým zrychlením **amax** se bude při působení síly **F_{max}** kontejner pohybovat. Mezi lyžinami a nakloněnou rovinou uvažujte se součinitelem smykového tření **f**.

Navrhněte konstrukční úpravy kontejneru, které povedou ke zvýšení bezpečnosti při jeho pohybu a sníží riziko překlopení

$$\alpha = 20^\circ, \quad m_t = 140 \text{ kg}, \quad f = 0.1, \quad b = 1 \text{ m}, \quad c = 0.45 \text{ m}, \quad s = 1.1 \text{ m}, \quad h = 0.7 \text{ m}$$



Pozn. Pro řešení daného úkolu je nutné mít znalosti z dynamiky pohybu tělesa a základní znalosti pasivních odporů.

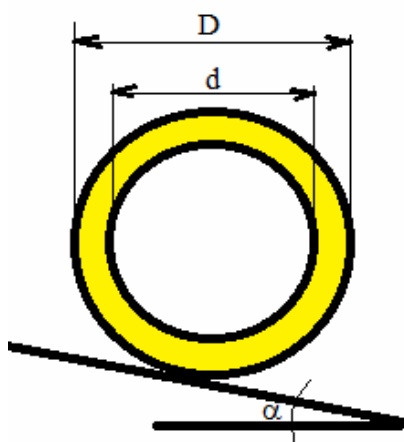
9. ZADÁNÍ PROGRAMU H

Nezajištěná trubka o hmotnosti m je uložena na plošině, která je skloněna o úhel α . Určete maximální úhel $\alpha_{\max}$, při kterém se trubka bude pohybovat směrem dolů pohybem rovnoměrným. Uvažujte s valením bez prokluzu a s ramenem valivého odporu ζ .

$D = 250$ mm, $d = 200$ mm, délka trubky $L = 2$ m,

Hmotnost jednoho metru trubky $m_b = 153.7$ kg

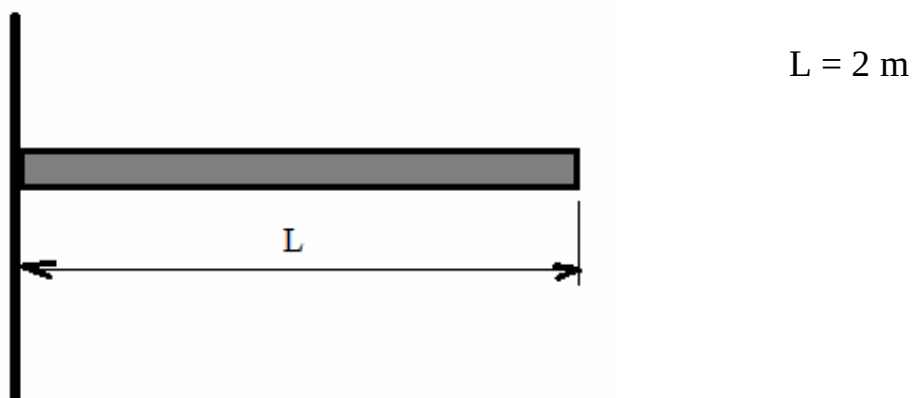
Rameno valivého odporu $\zeta = 1$ mm



Pozn: Pro řešení daného úkolu je nutné mít znalosti obecného rovinného pohybu a základní znalosti pasivních odporů.

10. ZADÁNÍ PROGRAMU K

Válcovaný profil I 80 dle ČSN 42 550 o měrné hmotnosti 5.94 kg/m je vetknut do nosné zdi haly a vysunut do otevřeného prostoru o délku L . Určete, o kolik % se zvýší namáhání na ohyb v místě vetknutí při zatížení sněhem, které určete dle ČSN EN 199-4 a Změna Z2 730035.



Pozn: Pro řešení daného úkolu je nutno znát výpočet vnitřních statických účinků na nosníku a umět pracovat s normou ČSN EN 199-4

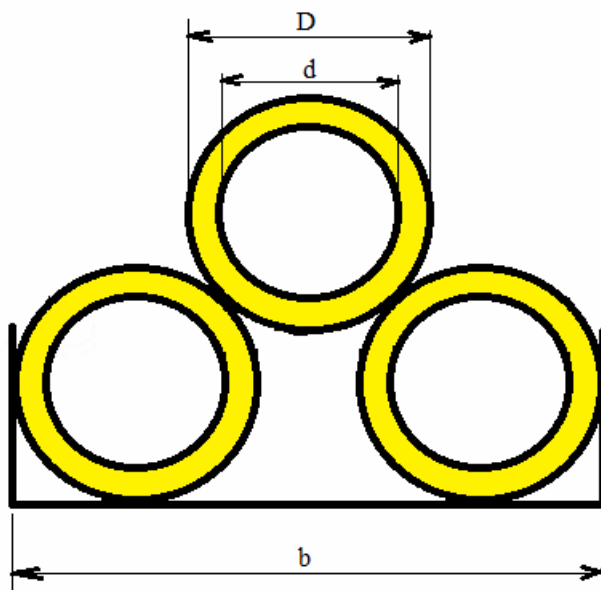
11. ZADÁNÍ PROGRAMU L

Tři stejné trubky délky L jsou uskladněny v zásobníku šířky b . Povolená síla působící kolmo na 1 m délky bočnice zásobníku má hodnotu F . Určete, zda při uložení 3 trubek dle obrázku nebude povolená hodnota překročena. Při překročení může dojít k poškození zásobníku a vzniká nebezpečí úrazu pracovníků v blízkosti zásobníku.

$D = 250$ mm, $d = 200$ mm, délka trubky $L = 2$ m,

Hmotnost jednoho metru trubky $m_b = 153.7$ kg

$F = 1500$ N/m



Pozn. Pro řešení tohoto problému je nutné mít znalosti uvolňování vazeb umět sestavovat rovnovážné rovnice pro rovinnou soustavu sil o společném působišti.