

Ing. Bohumír Podrázský, VÚHU

Housenicový podvozek kolesového rýpadla

1.0 Úvod

Při návrhu nového kolesového rýpadla je nutno posoudit, zda rýpadlo je schopno s minimálními ztrátami pracovat v požadovaných podmínkách nasazení. Pro toto posouzení je vhodné mimo jiné provést i rozbor závislosti uspořádání housenic rýpadla s ohledem na hloubku těženého bloku a energetickou náročnost při jízdě v oblouku, která je při pojezdu rýpadla energeticky nejnáročnější.

2.0 Technický popis

Podvozky kolesových rýpadel a na ně navazující dolní stavba jsou jedny z důležitých konstrukčních celků. Světový vývoj se v posledních letech ustálil na:

- housenicovém podvozku složeném z housenicových dvojčat nebo čtyřčat použitých jak u hlavního podvozku stroje, tak i pomocného podvozku nakládacího výložníku, uspořádané u hlavního podvozku stroje v provedení symetrickém nebo asymetrickém /NDR, NSR, USA/. Větší rýpadla již vyžadují podvozek s více housenicemi, protože nosnost jedné housenice je omezena rozměry a přípustným měrným tlakem na zeminu. Podvozek s více housenicemi je tvořen 3, 4, 6 nebo 12 housenicemi při zachování tříbodové podpěry, která je podmínkou pro staticky určité uložení dolní stavby a pro zachycení všech silových poměrů. Aby byl docílen žádaný měrný tlak housenic na podložku, používají se u největších typů rýpadel tři housenicová dvojčata nebo čtyřčata. Avšak konstrukční řešení těchto housenicových podvozků a zvláště jejich natáčení při jízdě rýpadla do oblouku je velmi složité. Mimo tuto vysokou konstrukční náročnost narůstá zvětšováním podvozku hmotnost stroje, a to právě přírůstkem hmotnosti podvozku. U podvozků s více ovladatelnými houseni-

cení rozlišujeme uspořádání symetrické a asymetrické. V posledních letech se prosazuje symetrické uspořádání housenic u kolesových rýpadel. Při pojezdu je řízena pouze střední housenice /podle směru jízdy přední nebo zadní/ s tím, že každá housenice jede po vlastní dráze. Nesymetrické uspořádání housenic, při němž jedou obě postranní housenice po stejné dráze a kdy jsou při pojezdu po zakřivené dráze řízeny proti sobě, je obzvláště výhodné pro korečková rýpadla. Maximální opěrná síla působící na straně hloubkového řezu v důsledku větších rypných sil se překonává postranními páry housenic, pro největší opěrnou sílu ve výškovém řezu stačí třetí pár housenic. U obou uspořádání jsou všechny housenice jen tehdy rovnoměrně zatíženy, jestliže výsledná síla prochází těžištěm opěrného trojúhelníku.

V současné době se housenicové podvozky vyrábějí s pohonem všech housenic, ačkoliv to za normálních podmínek není nutné. Důvod tohoto opatření spočívá v únosnosti podložky, kdy při vyprošťování zapadlých housenic je vlastní pohon velmi užitečný.

Pro ovládání housenicových podvozků při jízdě do oblouku se užívají dvě rozdílné metody:

- a/ Řízení rychlosti - u tohoto systému řízení je jízda po zakřivené dráze realizována různými rychlostmi vnějších a vnitřních housenic, popř. zabrzděním vnitřní housenice. Výhoda tohoto systému je v tom, že podvozek je jednodušší, neboť odpadá zařízení pro natáčení housenic. Naopak jsou nutné vysoké poháněcí výkony housenic, neboť při pojezdu po zakřivené dráze vzniká velký odpor tření.
- b/ Řízení ovladatelnými housenicemi - u tohoto systému je jízda po zakřivené dráze realizována natáčením housenic. Při provedení je podvozek složitější o natáčecí mechanismus a je větší jeho stavební výška. Jsou však zapotřebí nižší poháněcí výkony housenic.

3.0 Technologické požadavky

Technologické požadavky na podvozek jsou dány zejména těmito prvky:

- sklonem pracovních plošin
- měrným tlakem na pracovní pláň a z toho vyplývající hloubkou zaboření podvozku
- manévrovatelností a rychlostí přesunu

Sklon pracovních plošin

Pro určení sklonu pracovních plošin a tím i požadavků na stoupavost podvozku rýpadla byly vyhodnoceny sklonové poměry na skryvkových polích velkolomů SHR. Z výsledků hodnocení pak vyplývá požadavek pro stoupání nebo klesání a to:

- při práci sklon 1 : 14,3 ; při současném příčném sklonu 1 : 28,6
- při transportu sklon 1 : 9,5.

Tento požadavek na stoupavost rýpadla bude s největší pravděpodobností u této kategorie velkostrojů těžko dosažitelný a bude muset být pravděpodobně řešen určitým kompromisem mezi požadavky a možnostmi realizace.

Měrný tlak na podložku

Při navrhování dobývacích strojů je důležitým ukazatelem velikost měrného tlaku podvozku na podložku. Aby nedošlo k ohrožení funkcí některých strojních zařízení a zhoršení manévrovacích schopností při jeho pojiždění po neupraveném a nezpevněném terénu, jsou přípustné hodnoty středních měrných tlaků velmi malé. V našich provozních podmínkách se uvažuje hodnota středního měrného tlaku p_s pro

- kolesové rýpadlo 0,12 - 0,125 MPa.

Hmotnost rýpadla je stanovena z porovnání hmotností rýpadel vyráběných v zahraničí obdobného výkonu /Krupp, Lauchhammer apod./ a je zvýšena vzhledem k vyššímu koeficientu přetížitelnosti maximální obvodové síly na kolese a podstatně hmotnější elektrovýzbroji československé výroby.

Hloubka zaboření

Stanovení hloubky zaboření je důležité z hlediska výškového umístění hnacích agregátů, elektrických a hydraulických rozvodů.

Hloubka zaboření h

$$h = \frac{p}{p_0} \cdot \psi$$

p_0 - konstantní součinitel měrného tlaku, odpovídající zaboření o $h = 1$ mm

druh a stav zeminy: bláto.. $p_0 = 0,001 \div 0,0015 \text{ MPamm}^{-1}$

p - měrný tlak na podložku

kolesová rýpadla $p = 0,125 \text{ MPa}$

ψ - korekční součinitel na tvar

pro pásy s velkým počtem opěrných kladek $\psi = 1 \div 1,5$

Manévrovatelnost a rychlost přesunu

Vzhledem k technologickým podmínkám a celkové hmotnosti stroje je nejvýhodnější systém podvozku několikapásový, a to v provedení symetrickém nebo asymetrickém. Pro tvorbu zátínek je nutno zajistit maximální poloměr zatažení $R_{\max} = 65 \text{ m}$. Splněním této podmínky se značně zjednoduší manipulace rýpadla ve vytvářené zátince i v ostatních technologických případech.

Vzhledem k nárokům na mobilnost rýpadla při dobývání i při přesunech daných požadavkem těžby je nutno docílit vysoké spolehlivosti a životnosti jednotlivých částí podvozku.

Ze stejných důvodů je nutno počítat s rychlostí přesunu plynule regulovatelné od 0 do 10 m min^{-1} na horizontální pojízdové pláni. Rychlost dosažená při přesunu do svahu je požadována úměrná sklonu překonávaného svahu s využitím plynule regulovatelné rychlosti od 0 do 10 m min^{-1} .

4.0 Požadavky na konstrukci podvozku a podmínky údržby

4.1 Konstrukční požadavky

U velkostroje se jedná o podvozek housenicový, u kterého jsou použity velkoprostorové housenice. Z funkčního hlediska se liší od obvyklých typů housenic uspořádáním pojezdových kladek ve vahadlech. Vahadlo mezi dvěma koly je vždy spojeno s hlavním vahadlem a vzniká podvozek se čtyřmi koly. Tím je zajištěno stejné zatížení u všech kol podvozku. V každém nosiči housenic jsou symetricky uspořádány dvě housenice se čtyřmi koly, takže vertikální síla působící na střední čep je ve vodorovném směru rovnoměrně rozdělena na oba podvozky. Jedna housenice může bez nárazů překonat téměř všechny překážky. Kromě toho působí při pojezdu po deště namoklé jílovité trase jen malé zhutnění. Housenice rýpadla s nevyváženým zatížením kol na trase se mohou zabořit až do výše os pojezdových kol. Pro snížení vychylovacího faktoru nesmí být vzdálenost pojezdových kladek mnohonásobně větší než rozteč řetězu. Oba turasy mají být vytaženy jen do té výše, aby i při nepříznivém tangenciálním náběhu na /z/ roztečnou kružnici turasu měl řetěz na vnějších pojezdových kladkách malý vzpěrný úhel. Tím se zabrání tomu, aby turasy nesly při mírně zabořené housenici vertikální zatížení. Dnes se dává přednost konstrukci s jedním řetězem. U tohoto typu jsou kola podvozku vypouklá, protože musí i při příčném naklonění řetězu housenice dobře doléhat k nosíku housenic. U hodně širokých housenic se používá konstrukce se dvěma řetězy. Tento typ má cylindrická podvozková kola a kromě podélných vahadel zajišťují rovnoměrné zatížení kol i vahadla příčná. Protože se však široké housenice nepřizpůsobují dobře terénním nerovnostem jako housenice s jedním řetězem, staví se konstrukce se širokým nosičem housenic, který se opírá o dva vedle sebe položené jednosměrné řetězy. Zde se pak pro lepší přizpůsobení terénu používají příčná vahadla mezi oběma řetězy. Pohon housenic je nutno umístit dostatečně vysoko nad terén, aby nebyl ohrožen při zaboření podvozku.

4.2 Unifikace podvozků

S ohledem na snížení součástkové základny a tím potřeby náhradních dílů je požadavek, aby v co největší míře byly jednotlivé díly hlavního a pomocného podvozku shodné. Z tohoto důvodu je vhodné prověřit použitelnost všech dílů i z hlediska jejich maximálního využití i pro stroje vyšší výkonové řady. Jedná se zejména o :

pojezdové kladky, vahadla pojezdových kladek, turasy, čepy pojezdových kladek, čepy housenic, housenicové články apod. Neméně závažným požadavkem je i centrální mazání housenic trubkovým rozvodem a jeho krytí obrysem housenicových článků, s ohledem na rozbrídavou podložku. Další důležitý požadavek je i použití samomazných ložisek.

4.3 Podmínky údržby

Z hlediska údržby je nutno podotknout, že dobývací stroj se pohybuje v těžkých půdních podmínkách, a že jeho hmotnost a rozměry nedovolují opravy v montážních prostorách, ale obvykle na místě poruchy. Z těchto důvodů je zapotřebí, aby každá strojní skupina, podskupina i detail, byla na místě vyměnitelná, popřípadě opravitelná. Z toho plyne, aby co největší část strojního zařízení byla vyměnitelná vlastními zdvihacími prostředky dobývacího stroje, nebo běžnými zdvihacími zařízeními používaných na velkolomech.

5.0 Výpočet housenicového podvozku při jízdě po zakřivené dráze

V této části je naznačen postup výpočtu vícehousenicového podvozku při jízdě v oblouku podle /8/, neboť pro stanovení poháněcího výkonu potřebného pro pohony housenic má tento jízdní odpor rozhodující vliv. Tato část obsahuje:

- teorii jízdy v oblouku
- příklad výpočtu

Použité značení:

- F_{Rpi} - vertikální zatížení housenic /kN/
 - F_{Ki} - odpor v oblouku - síla působící v podélné ose housenice /kN/
 - F_{Si} - odpor v oblouku - síla působící v ose kolmé na F_K /kN/
 - F_{Ti} - obvodová síla působící na poháněcích turasech /kN/
 - F_{Ky} - složka sil F_{Ki} do směru osy y souř. systému /kN/
 - F_{Kx} - složka sil F_{Ki} do směru osy x souř. systému /kN/
 - M_{ri} - moment tření proti otáčení housenic /kNm/
 - x_0 - posunutí teoretického středu otáčení ve směru osy x /m/
 - y_0 - posunutí teoretického středu otáčení ve směru osy y /m/
 - e_i - souřadnice posunu středu otáčení 0 /m/
 - ε_i - veličina posuvu
 - ω_i - úhel otáčení housenice okolo středu otáčení 0 /°/
 - l - délka dosedací plochy housenice /m/
 - μ_f - specifický odpor pojezdu
 - μ - koeficient tření mezi plání a housenicí
 - r_i - poloměr zakřivení /m/
 - F_{ay} - přidavné vnější zatížení ve směru osy y /kN/
 - F_{ax} - přidavné vnější zatížení ve směru osy x /kN/
 - a_x - rameno dvojice sil F_{ay}
 - a_y - rameno dvojice sil F_{ax}
- } vztaženo ke středu otáčení /m/

Teorie jízdy v oblouku

Pro stanovení jízdního odporu při jízdě v oblouku je z opěrných sil nutno znát vertikální zatížení housenic. Týká se to všech obvyklých konstrukcí velkostrojů s třibodovou opěrou. Počet a uspořádání housenic je libovolné.

Před jízdou v oblouku je nutno natočit řiditelné housenice tak, aby se osy úseček všech housenic protínaly v jednom bodě, v teoretickém středu otáčení stroje 0. Tímto bodem je určen souřadnicový systém. Poloha housenic k souřadnicovému systému je určena jejich úhlem otáčení ω_i a teoretickým poloměrem oblouku r_i .

Na každé housenici působí třecí síly F_{Ki} a F_{Si} a moment tření M_{ri} . Dále zde působí vnější zatížení F_{ax} a F_{ay} .

Pro výpočet neznámé třecí síly jsou k dispozici tři rovnice rovnováhy

$$\sum F_{xi} = 0 : /kN/$$

$$\sum F_{Si} \cos \alpha_i + \sum F_{Ki} \sin \alpha_i + F_{ax} = 0 \quad /1/$$

$$\sum F_{yi} = 0 : /kN/$$

$$-\sum F_{Si} \sin \alpha_i + \sum F_{Ki} \cos \alpha_i + F_{ay} = 0 \quad /2/$$

$$\sum M_r = 0 : /ke \text{ středu otáčení}/ \quad /kNm/$$

$$\sum F_{Ki} r_i + F_{ax} y_a + F_{ay} x_a - M_{ri} = 0 \quad /3/$$

Pro řešení staticky neurčitého problému jsou nutné ještě další vztahy.

V důsledku rozdílných poloměrů zakřivení musí mít housenice různé rychlosti pojezdu. Aby se mohly vzájemně přizpůsobit otáčky motorů, zapojí se kotvy stejnosměrných motorů s pomocnou přípojkou sériově. Tímto elektrickým diferenciálem se dosáhne kromě přizpůsobení počtu otáček i stejných krouticích momentů u všech pojezdových motorů. Na základě toho máme na poháněcích turasech stejné obvodové síly

$$F_{Ti} = F_{T1} = \dots = F_T \quad /4/$$

Hnací síla musí překonat valivý odpor jako vnitřní síla a odpor v oblouku jako vnější síla

$$F_T = F_{Rpi} \mu_f + F_{Ki} \quad /kN/ \quad /5/$$

Pro nepoháněné housenice platí pro odpor v oblouku

$$F_{Ki} = - F_{Rpi} \mu_f \quad /kN/ \quad /6/$$

Vzájemný kinematický vztah mezi třecí silou F_{Si} a třecím momentem M_{ri} udávají rovnice /Lindenau/

$$F_{Si} = \mu F_{Rpi} \varepsilon_i \quad /kN/ \quad /7/$$

$$M_{ri} = \frac{\mu F_{Rpi} L}{4} \quad /1 - \varepsilon_i^2/ \quad /kNm/ \quad /8/$$

Pomocí rovnic /7/ a /8/ jsou do výpočtu zahrnuty neznámé veličiny posunu ξ_i , které lze stanovit z kinematických vztahů stroje. Každá housenice se otáčí kolem okamžitého středu O_i' . Vlastní zařízení se otáčí okolo skutečného středu otáčení O'' , který se neztotožňuje s teoretickým středem otáčení O . Posun středu otáčení z O do O'' je dán ovládáním housenic v podélném i příčném směru. Souřadnice posunu jsou vzdálenosti x_0 a y_0 . Dle kinematických zákonů musí ležet okamžitý střed otáčení housenice O_i' a skutečný střed otáčení zařízení O'' na kolmici k podélné ose housenice. Z obr. vyplývá

$$e_i = x_0 \sin \omega_i + y_0 \cos \omega_i \quad /m/ \quad /9/$$

Rovnice /1/ až /9/ stačí ke stanovení neznámých třecích sil F_{Ki} , F_{Si} a třecího momentu M_{ri} i pro stanovení hodnot posunu ξ_i , x_0 , y_0 .

Příklad výpočtu:

Při dimenzování pojezdových motorů je nutno vzít v úvahu případ jízdy v oblouku, pro níž jsou nutné nejvyšší poháňecí výkony. Nejvyšší zatížení pojezdových motorů vzniká při nejmenším přípustném poloměru zakřivení a jestliže vnější vlivy - vítr, síly působící na svahu - působící proti směru pojezdu. Z hlediska rozdělení zatížení, je nutný nejvyšší pojezdový výkon tehdy, jestliže těžiště stroje leží na vnější straně oblouku. Nemá-li podvozek řiditelné housenice, měly by být více zatížené housenice umístěné na vnější straně oblouku. Ve výpočtu uvažujeme nejnepříznivější stav, tj., že housenice na vnější straně oblouku je vlečena.

Pro výpočet jsou dány následující hodnoty:

typ podvozku: vícehousenicový /počet housenic/

system podvozku: - symetrický

vertikální zatížení housenic: F_{Rpi} /kN/

délka housenic: l /m/

úhel otáčení housenic: ω_i /°/

poloměr zakřivení: r_i /m/

koefficient tření mezi plání a housenicí: μ

specifický odpor pojezdu: μ_f

Pro řešení máme k dispozici rovnice /1/ až /9/. Dále se použije iteračního modelu, který má tu přednost, že výpočetní chyby při iteračních krocích se samy vyrovnají.

Sloučením rovnic /3/, /4/, /5/, /6/ dostaneme

$$F_{K1} = \frac{\sum M_{r1} + r_2 \mu_f / F_{Rp2} - F_{Rp1} / + r_3 F_{Rp3} \mu_f}{r_1 + r_2}$$

$$F_{K2} = F_{K1} + \mu_f / F_{Rp1} - F_{Rp2} /$$

$$F_{K3} = F_{Rp3} \mu_f$$

Sloučením rovnic /1/, /2/, /7/, /9/ dostaneme

$$\frac{2x_0}{l} \mu F_{Rp1} \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 + \frac{2y_0}{l} \mu / F_{Rp1} \cos \alpha_1 + F_{Rp2} + F_{Rp3} / + F_{Kx} = 0$$

$$F_{Kx} = F_{K1} \cdot \sin \alpha_1$$

$$- \frac{2x_0}{l} \mu F_{Rp1} \sin^2 \alpha_1 - \frac{2y_0}{l} \mu F_{Rp2} \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 + F_{Ky} = 0$$

$$F_{Ky} = F_{K1} \cos \alpha_1 + F_{K2} + F_{K3}$$

Vyřešením rovnic se získá charakteristické číslo posunu stroje:

$$\frac{2x_0}{l} = \frac{F_{Ky} \frac{\frac{AB}{C}}{B - \frac{A^2}{C}} + F_{Kx} \left(\frac{B}{B - \frac{A^2}{C}} + 1 \right)}{A}$$

$$\frac{2y_0}{l} = \frac{- F_{Ky} \frac{A}{C} - F_{Kx}}{B - \frac{A^2}{C}}$$

$$A = \mu F_{Rp1} \sin \alpha_1 \cos \alpha_1$$

$$B = \mu / F_{Rp1} \cos \alpha + F_{Rp2} + F_{Rp3}$$

$$C = \mu F_{Rp1} \sin^2 \alpha_1$$

Pomocí rovnice /9/ se vypočítají charakteristické hodnoty posunu středu otáčení housenic:

$$\varepsilon_1 = \frac{2x_0}{l} \sin \alpha_1 + \frac{2y_0}{l} \cos \alpha_1$$

$$\varepsilon_2 = \frac{2x_0}{l} \sin \alpha_2 + \frac{2y_0}{l} \cos \alpha_2$$

$$\varepsilon_3 = \frac{2x_0}{l} \sin \alpha_3 + \frac{2y_0}{l} \cos \alpha_3$$

Pomocí těchto hodnot $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ lze vypočítat podle /8/ moment tření M_{ri} .

Pro první krok iteračního postupu $/n=1, 2, \dots$ počet iteračních kroků/ se $M_{ri/n-1/}$ odhadne, protože ε_1 není znám

$$M_{ri/n-1/} = 10,75 + 0,8 / \frac{\mu F_{Rp1} \cdot l}{4}$$

Z výsledků prvního iteračního kroku $/M_{rin}/$ se vypočítají momenty tření pro druhý krok $/M_{ri/n+1}/$ pomocí váženého průměru s váhami 1 : 2, protože se tím zrychlí konvergence. V tomto se pokračuje tak dlouho, až jsou odchylky dostatečně malé

$$\Sigma M_{ri/n+1/} = \frac{\Sigma M_{ri/n-1/} + 2 \Sigma M_{rin}}{3}$$

Tímto máme vypočítány všechny hodnoty potřebné pro výpočet obvodové síly na poháněcích turasech.

Obvodové síly na poháněcích turasech housenic 1 a 2

$$F_{T1}^1 = F_{T2}^1 = F_{K1} + F_{Rp1} \mu_f$$

Pro vlečení housenic 3 je nutná síla F_{K3} .

Momenty tření jsou M_{r1}, M_{r2}, M_{r3} .

Boční třecí síly

$$F_{S1} = \mu F_{Rp1} \cdot \varepsilon_1$$

$$F_{S2} = \mu F_{Rp2} \cdot \varepsilon_2$$

$$F_{S3} = \mu F_{Rp3} \cdot \varepsilon_3$$

Při jízdě v přímém směru vznikají obvodové síly

$$F_{T1} = F_{T2} = \left[F_{Rp1} + F_{Rp2} + F_{Rp3} / \mu_f + F_{ay} \right] \frac{1}{2}$$

Zvětšení odporů v důsledku jízdy v oblouku

$$\Delta F_T = \frac{F_T^1 - F_T}{F_T} \cdot 100 \quad [\%]$$

6.0 Výpočet parametrů bloku

Na základě obrysových rozměrů housenicového podvozku u daného typu kolesového rýpadla lze stanovit hloubku bloku "T" a vzdálenost postavení rýpadla při těžbě první a poslední lávky "d" podle /4/.

S h r n u t í

Housenicový podvozek kolesového rýpadla

Základní technologicko-technické požadavky na housenicový podvozek kolesového rýpadla vyplývají z technologických podmínek dobývání skrývkových řezů. V článku jsou shrnuty obecné požadavky na podvozek dobývacího stroje z hlediska konstrukce, údržby apod. Je zde ukázán způsob výpočtu pro porovnání různých systémů housenicových podvozků z hlediska hloubky těženého bloku a potřebného výkonu pro pojezd. Tyto varianty housenicových podvozků by měly být kontrolovány z důvodů co největšího snížení ztrátových časů při pracovních manipulacích a z důvodu energetické náročnosti při pojezdu.

Literatura:

/1/ Zelenka, Barták, Felcman:

Základní technologické parametry pro rýpadlo do závalových polí

Dílčí zpráva VÚHU - 9/1977

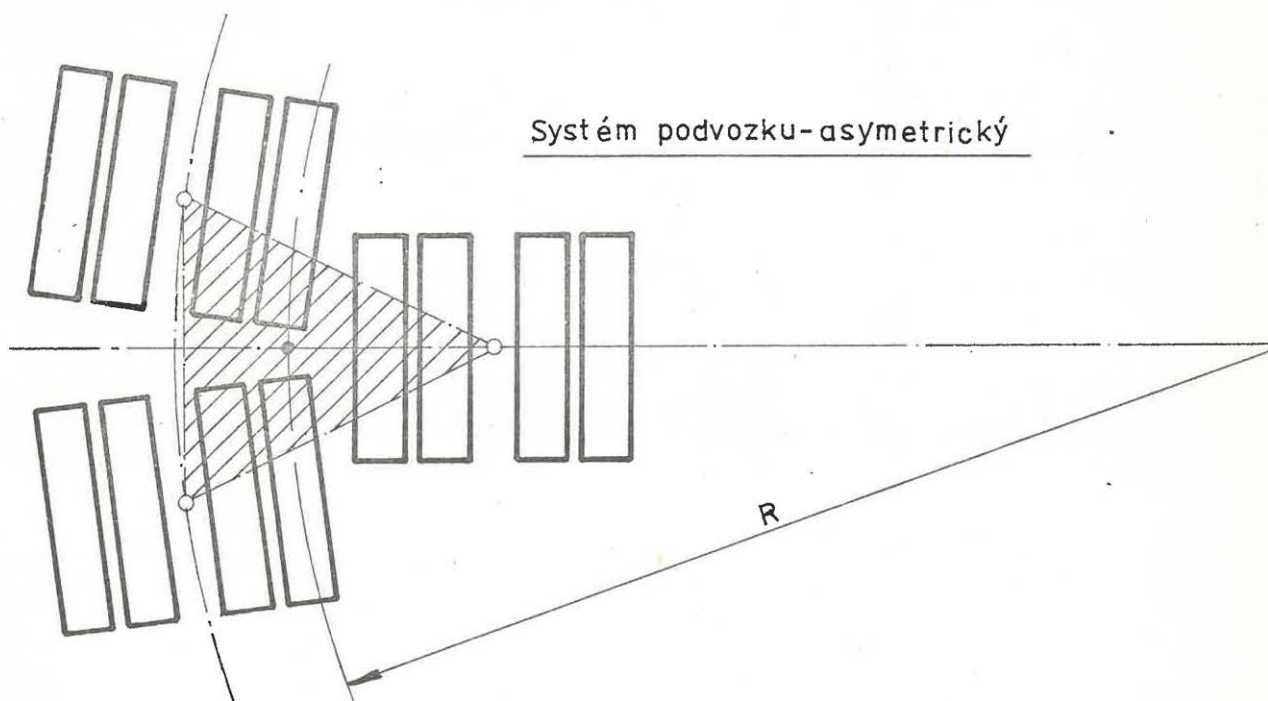
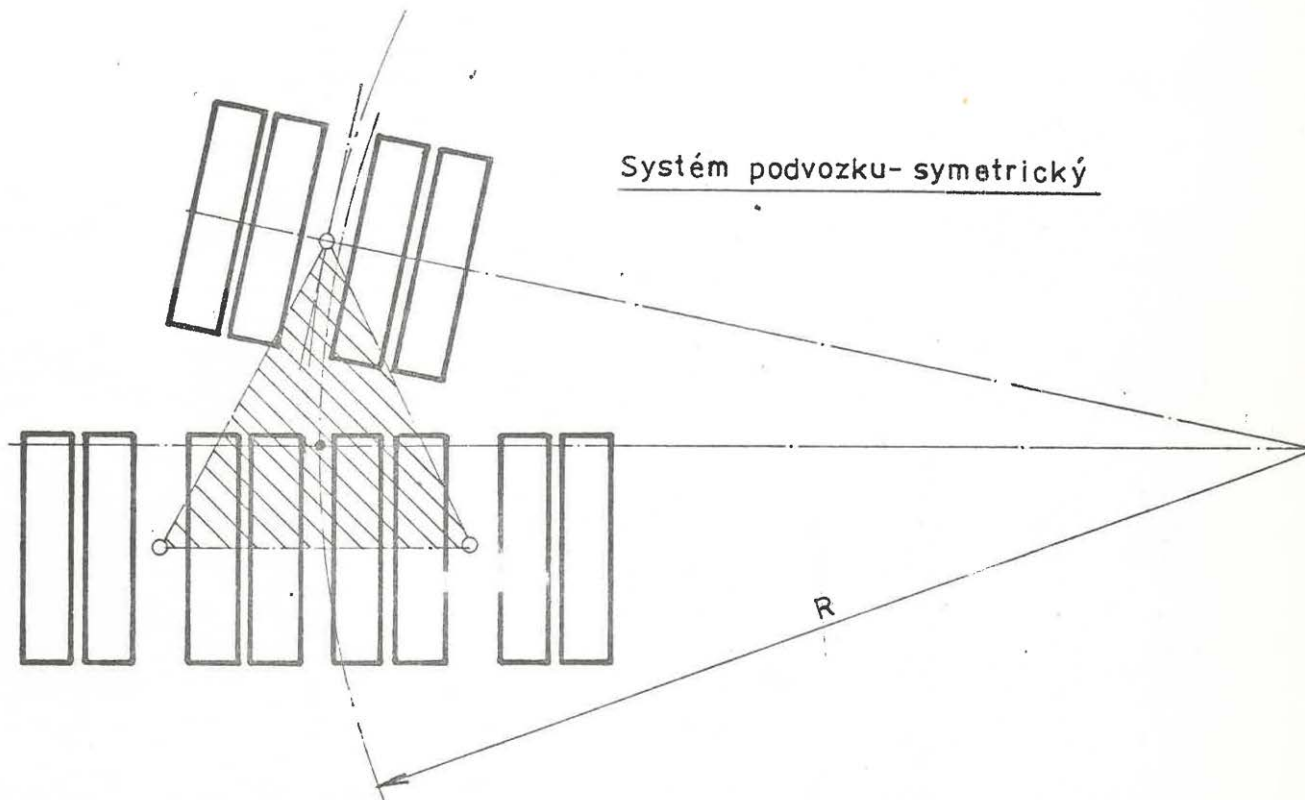
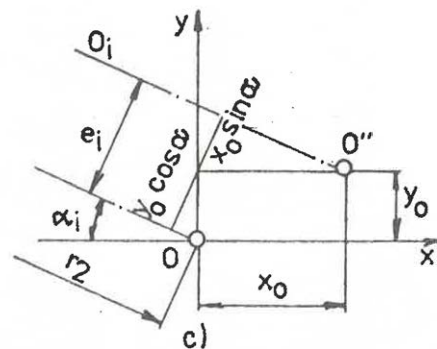
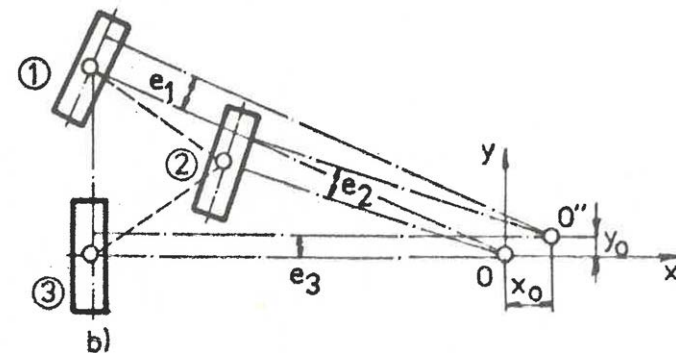
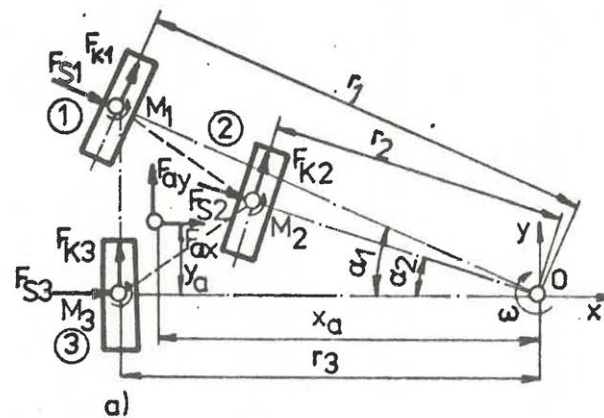


Schéma pro stanovení jízdy v oblouku u podvozku se třemi housenicemi



- a) síly a momenty
- b) posun středu otáčení
- c) kinematické souvislosti