

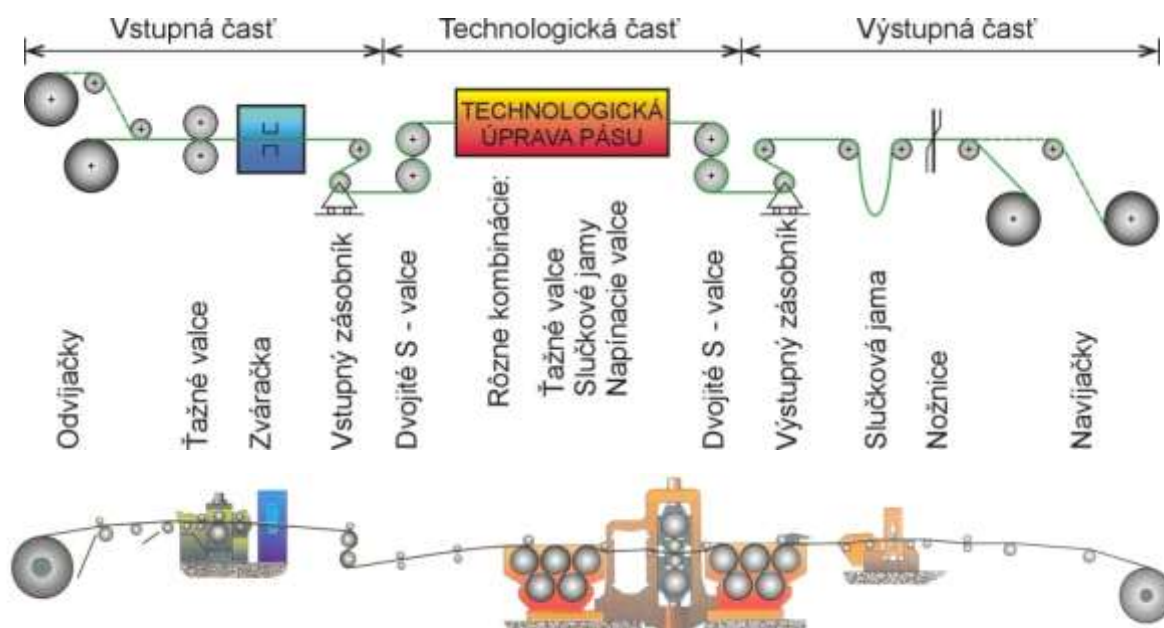
Pr. 12: Modely častí kontinuálnych liniek s pohybujúcim sa pásom

Výrobné zariadenie s kontinuálnym tokom materiálu sa vyznačujú väzbou motorov pohonného systému cez spracovávaný materiál v tvare pásu, vlákna a pod., ktorý na začiatku linky vychádza zo zásobníka (odvíja sa zo zvitku), alebo sa vyrobí rôznymi technológiami, vedie sa cez pracovné stroje, kde sa spracováva a na konci sa ukladá do zásoby (zvitku) pre spracovanie v ďalších technologických procesoch. V takejto kontinuálnej linke sa spravidla požaduje udržiavanie konštantného ťahu v páse v jednotlivých úsekoch (sekciiach) linky, nezávisle na rýchlosti, resp. jej zmenách.

Spracovávaný materiál je kontinuálne vedený cez jednotlivé časti linky, pričom energia na jeho transport a ťah sa odovzdáva prostredníctvom trenia medzi pásom a podávacími (ťažnými) valcami. Na druhej strane väzbou cez pás dochádza ku ovplyvňovaniu pohonných motorov prostredníctvom poddajnej mechanickej väzby cez materiál. Pri návrhu regulátorov pohonného systému linky vychádzame z matematického modelu zostaveného na základe znalostí technológie výroby, technologického zariadenia, mechanických vlastností materiálu a vlastností elektrických pohonov. Tento model pri riešení liniek skladáme z dielčích častí – podsystémov, prispôbených pre dané podmienky.

1. Popis častí kontinuálnej linky

Prevažná väčšina kontinuálnych liniek pozostáva z nasledovných častí:

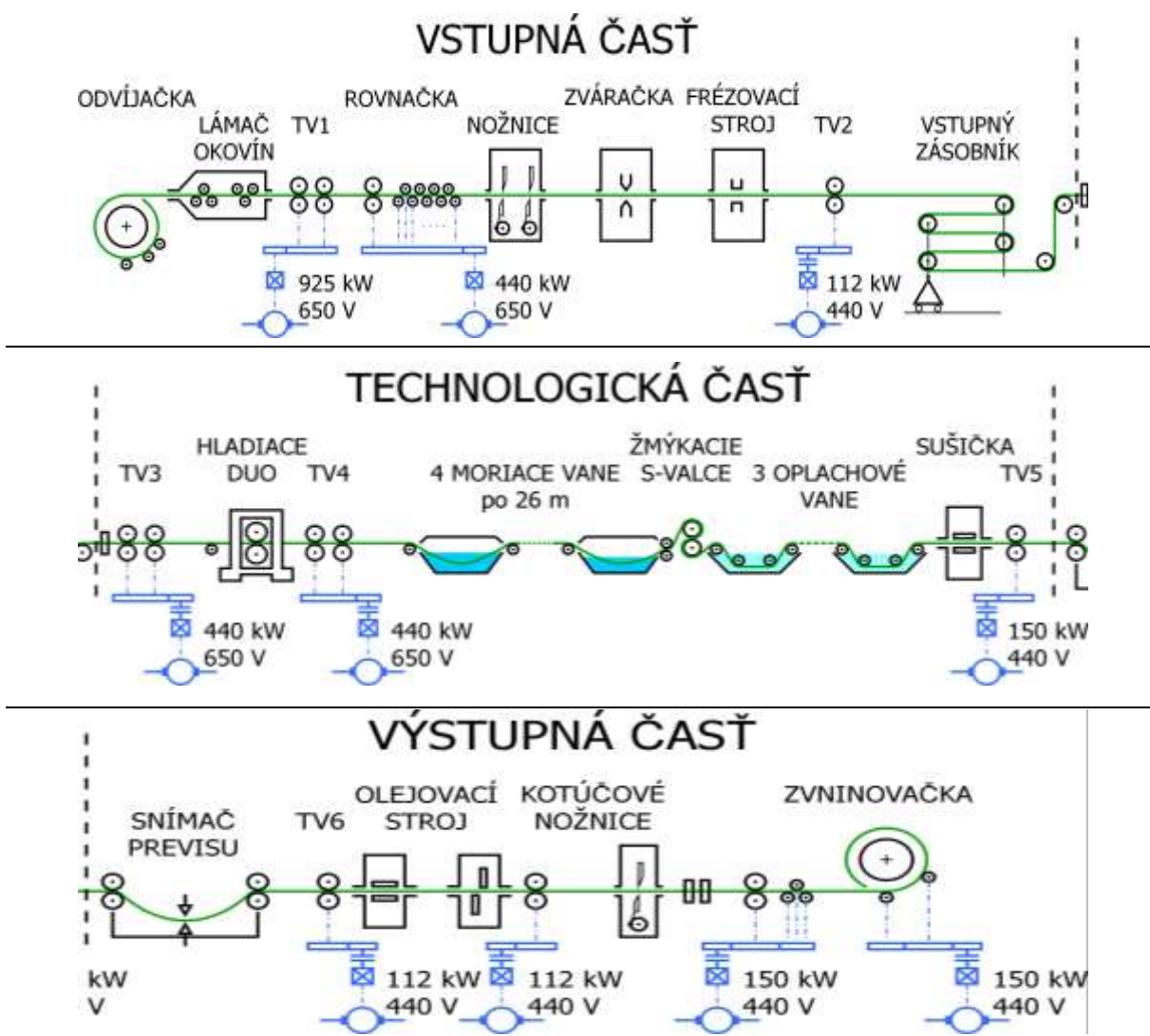


Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..1 Základné časti kontinuálnej upravnárskej linky pre úpravu pásových materiálov

1. **Vstupná časť** (odvíjacie zariadenie, rovnačka, zariadenie na spájanie pásov umožňujúceho plynulý chod konštantnou rýchlosťou strednej časti pri výmene zvitkov na vstupe).
2. **Stredná, alebo technologická časť**, v ktorej sa priebežne vykonávajú vlastné technologické operácie na materiáli.
3. **Výstupná časť**, pozostávajúca z výstupného zásobníka, deliacej časti (orezávanie okrajov, príp. pozdĺžne delenie pásov) a z navíjacieho zariadenia.

Okrem špeciálnej, často unikátnej technologickej časti, ktorej matematický popis býva zložitý, linka obsahuje úseky, ktoré možno zovšeobecniť (úsek previsu pásu, úsek napínacieho valca, úsek priamej väzby pohonných motorov cez materiál a pod.).

Konkrétna linka býva podstatne zložitejšia. Príklad konkrétnej **kontinuálnej linky, slúžiacej na morenie kovových pásov** (kvôli odstráneniu okovín z povrchu pásu po jeho valcovaní za tepla), je uvedený na Obr. 8.2.



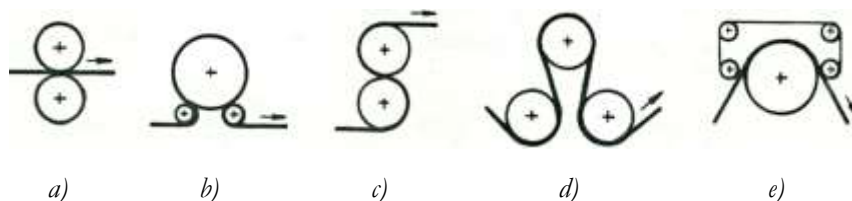
Obr. **Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..2** Jednotlivé úseky moriacej linky ako príklad reálnej kontinuálnej upravárenskej linky (spracovávaný pás pokračuje s jednej časti linky do ďalšej)

Pracovné stroje rozdeľujú celú dĺžku pásu v kontinuálnej linke na jednotlivé úseky. Potrebná mechanická energia sa na transportné valce privádza z pohonných motorov, ktoré sú vybavené podľa technologických požiadaviek reguláciou momentu, rýchlosti alebo polohy a ktoré sú spracovávaným pásom navzájom mechanicky viazané. **Veľkosť sily, ktorú z valcov možno preniesť na pás, je úmerné okrem trenia prítlačnej sile a veľkosti dotykovej plochy.** Materiál v tvare pásu môže prenášať len tie sily, ktoré v páse vytvárajú ťahové napätia; napätia v tlaku pás neprenáša.

Pre zostavenie presného modelu väzby transportného systému je potrebné uvažovať s dvoma oblasťami platnosti modelu:

- **pri nulovom ťahu**, kedy medzi strojmi sa môže vytvárať **slučka** materiálu,
- **pri kladnom ťahovom napätí**, kedy transportné valce sú **viazané mechanickou väzbou**.

V prípade, ak prierez spracovávaného materiálu je dosť veľký (rúry, profily a pod.), materiál môže prenášať aj tlakové sily, avšak len také, aby nedošlo k jeho vybočeniu mimo pracovný priestor. Podľa druhu prítlačku pásu na valce rozoznávame **tri základné typy transportných valcov** (Obr. 8.3):



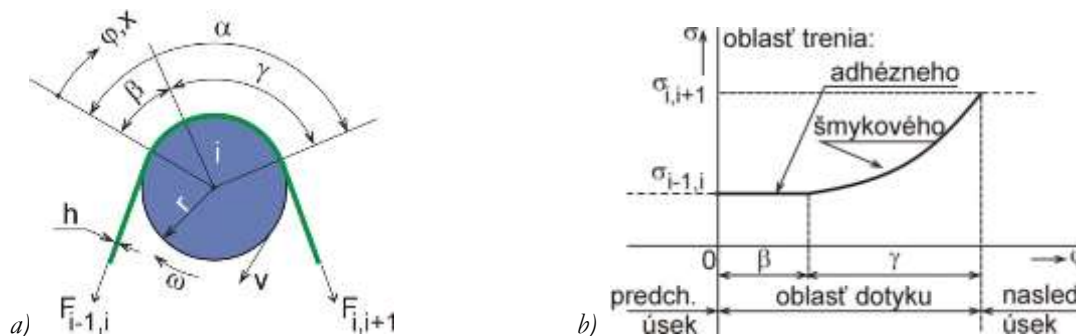
Obr. **Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..3** Transportné valce

- 1) **Jednoduché podávacie (ťažné) valce** (Obr. 8.3a), kde pre zväčšenie energie prenesenej z motora na pás sú valce pritlačované určitou silou.
- 2) **Valec s opásaním** (Obr. 8.3b), kde opásanie zväčšuje treciu plochu, čo umožňuje preniesť väčšie sily z valca na pás. Tým odchádza ku zväčšeniu dotykovej plochy
- 3) **S-valce** (Obr. 8.3c) – kombinácia oboch predchádzajúcich spôsobov
- 4) **Dvojité S-valce** (Obr. 8.3d), kde každý z valcov je poháňaný motorom, umožňujú preniesť ešte väčšie sily na pás (t.j. je možný ešte väčší rozdiel medzi vstupným a výstupným ťahom).
- 5) **Valec s opásaním s pomocným (prítlačným) pásom** (Obr. 8.3e) pre zväčšenie jednak oblasti dotyku a jednak väčšieho prítlačku pásu na valce

(väčšej normálovej sile), ktorú samotný pás nemôže vytvoriť kvôli jeho malej pevnosti (napr. v mokrej časti papierenského stroja).

2. Pohyb pružného pásu v linke

Pri zostavovaní matematického modelu transportného systému pásu v kontinuálnej linke vychádzame z podrobného vyšetrovania oblasti dotyku pásu s transportným valcom (Obr. 8.4a). Opri dostatočne veľkom polomere r/h ($\ll 1$) môžeme zanedbať ohybové napätie v páse.



Obr. **Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..**4 Rozdelenie ťahov v oblasti dotyku i -tého transportného valca s pásom v ustálenom stave, ak $F_{i,i+1} > F_{i-1,i}$: a) kinematická schéma, b) priebeh ťahového napätia pozdĺž oblasti dotyku pásu s valcom

Na každý element pásu v mieste dotyku pôsobí rovnako veľká radiálna sila dF_N . Rozdiel ťahov $F_{i,i+1} - F_{i-1,i}$ na dotykovej ploche medzi pásom a valcom vyvoláva trecie sily dF_T pôsobiace v tangenciálnom smere, ktorých súčet je rovný uvedeného rozdielu ťahov. V dôsledku rozdielu ťahových napätí $\sigma_{i,i+1} - \sigma_{i-1,i}$ dochádza podľa Hookovho zákona¹ k predĺženiu materiálu. V oblasti dotyku sa navzájom posunú (roztiahnu) jednotlivé elementy pásu voči zodpovedajúcim elementom valca, ale len vtedy, ak je prekročená maximálna hodnota trecej sily podľa vzťahu:

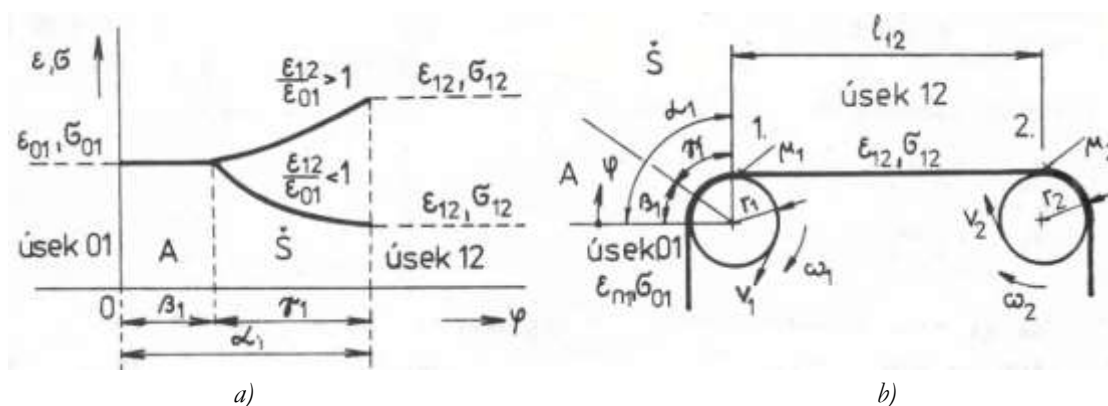
$$dF_T \geq f F_N$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..1)

kde F_T je trecia sila a F_N je normálová sila.

V tomto transportnom systéme v ustálenom stave (ak nedochádza ku zmene ťahov ani uhlovej rýchlosti valca), sa celá oblasť dotyku rozdelí na dve časti (Obr. 8.4b):

¹ Hookov zákon, https://sk.wikipedia.org/wiki/Hookov_z%C3%A1kon



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..5 Priebeh charakteristických veličín pásu v oblasti dotyk pásu s valcom a v úseku medzi dvoma valcami (A – oblasť adhézneho trenia, Š – oblasť šmykového trenia)

- 1) Oblasť adhézneho trenia ($0 \leq \varphi \leq \beta$), kde v dôsledku trenia nedochádza k posunu elementov pásu voči povrchu valca. Táto oblasť sa nachádza na vstupe transportného valca (v smere pohybu pásu).
- 2) Oblasť šmykového trenia ($\beta \leq \varphi \leq \alpha$), v ktorej sa pás šmýka po povrchu valca. V tejto oblasti dochádza k pružnej deformácii pásu, ktorý sa tým predlžuje a preto translačná rýchlosť pásu nemôže súhlasiť s obvodovou rýchlosťou valcov. Medzi obvodovou a translačnou rýchlosťou preto existuje sklz. Oblasť šmykového trenia sa nachádza na výstupe valca.

Priebeh ťahového napätia v páse pozdĺž oblasti dotyku, za predpokladu, že v nasledujúcom úseku (v smere pohybu pásu). Keďže ťahové napätie je úmerné pomernému predĺženiu pásu: ($\sigma \sim \varepsilon$), z uvedeného diagramu možno odčítať priebeh pomerného predĺženia pásu v oblasti dotyku, pre ktoré možno odvodiť rovnicu:

$$\varepsilon = \varepsilon(0) e^{\frac{f}{r}x} = \varepsilon(0) e^{f(\varphi - \beta)}$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..2)

kde $\varepsilon(0)$ je počiatočné pomerné predĺženie pásu (v našom prípade vo vstupnom úseku, teda konkrétne $\varepsilon_{i-1,i}$) a k je súradnica – vzdialenosť od počiatku dotyku pásu s valcom (meraná po obvode valca: $x = r\varphi$). Priebeh veličiny $\varepsilon = \varepsilon(x)$ je znázornený na Obr. 8.5a. Označenie veličín zodpovedá transportnému systému s dvoma valcami (Obr. 8.5b).

Pomer ťahových napätí nasledovného a predchádzajúceho úseku závisí od veľkosti oblasti šmykového trenia:

$$\frac{\sigma_{12}}{\sigma_{01}} = e^{f_1 \gamma_1}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..3)

kde index 1 znamená, že ide po prvý valec; indexy 01 a 12 znamenajú, že sú to veličiny príslušných úsekov.

Pri známom rozdelení ťahových napätí v jednotlivých úsekoch možno na základe tejto rovnice vypočítať veľkosť uhla oblasti šmykového trenia:

$$\gamma_1 = \frac{1}{f_1} \ln \frac{\sigma_{12}}{\sigma_{01}} \quad \text{pri } \sigma_{12} > \sigma_{01}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..4)

a na základe známeho uhla opásania vypočítame aj uhol oblasti adhézneho trenia:

$$\beta_1 = \alpha_1 - \gamma_1$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..5)

Podľa toho vzťahu vieme určiť, či v susedných úsekoch nie je príliš veľký rozdiel ťahov v páse, ktorý by zapríčinil šmýkanie pásu po povrchu valca v celej oblasti dotyku, čo je hraničný prípad:

$$\sigma_{12} = \sigma_{01} e^{f_1 \gamma_1}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..6)

Najväčší rozdiel ťahových napätí teda by bol v prípade, ak oblasť šmykového trenia by sa rozšírila na celú oblasť dotyku pásu s valcom:

$$\sigma_{12max} = \sigma_{01} e^{f_1 \alpha_1}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..7)

Valec sa v tom prípade zvýšene opotrebováva a súčasne sa poškodzuje povrch pásu.

Rýchlosť pásu sa v oblasti adhézneho trenia rovná obvodovej rýchlosti valca. V oblasti so šmykovým trením sa odpovedajúce s pomerným predĺžením mení aj rýchlosť pásu, až na výstupe valca je rýchlosť pásu rovná rýchlosti v danom úseku. Pre nastavenie veľkosti predĺženia (t.j. pre nastavenie ťahového napätia) je rozhodujúci vzájomný pomer obvodových rýchlostí valcov na koncoch daného úseku:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{r_2 \omega_2}{r_1 \omega_1}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..8)

Ak zvýšime obvodovú rýchlosť druhého valca v_2 , stúpne ťahové napätie σ_{12} , tým aj pomerné predĺženie a zväčší sa oblasť šmykového trenia na prvom valci na úkor zmenšenia oblasti adhézneho trenia.

Pre zmenu ťahového napätia σ_{01} v úseku pred prvým valcom sa táto zmena môže prejaviť až po dobe, za ktorú pás prejde oblasť adhézneho trenia:

$$T_{d1} = \beta_1 / \omega_1$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..9)

Táto časová konštanta dopravného oneskorenia závisí od veľkosti oblastí adhézneho trenia a kolíše v rozmedzí $0 \leq T_{d1} \leq \alpha_1 / \omega_1$.

Pri zmene uhlovej rýchlosti transportného valca dochádza ku zmene rozloženia sily a rýchlosti pásu pozdĺž oblasti dotyku. Ku zmene oblasti dotyku dochádza tiež pri zmene vstupného alebo výstupného ťahového napätia.

Presné riešenie je matematicky náročné (riešenie nelineárnych parciálnych diferenciálnych rovníc) a preto často používame iba linearizovaný systém. V bežnej praxi nemá význam zostavovať model linky zohľadňujúci aj tento fakt, snád' okrem rotačných polygrafických strojov, kde sú kladené mimoriadne veľké nároky na presnosť polohovej regulácie polohy tlačie jednotlivých farieb, z ktorých pozostávajú plnofarebné obrázky.

Pri transportnom člene s prítlačným pásom (Obr. 8.3e) sú silové pomery jednoduchšie, pretože tu môžeme uvažovať s dokonalým trením medzi pásom a valcom a teda aj s dobrým prenosom energie z pracovného stroja na pohyb pásu.

Pri navíjačke a odvíjačke je pás stále v oblasti adhézneho trenia, jedine v oblasti, kde pás opúšťa zvitok je oblasť šmykového trenia.

3. Dynamický model pohybujúceho sa pružného pásu

Z podrobnejšieho vyšetrenia oblasti dotyku pásu s valcom, vyžadujúceho zložitejšie matematické riešenie, vyplývajú nasledovné závery:

- 1) Dynamické vlastnosti pásu sú nepriamo úmerné jeho transportnej rýchlosti.
- 2) Dopravné oneskorenie T_d sa rovná dobe, za ktorú prejde pohybujúci sa bod cez oblasť adhézneho trenia podľa rov. (8.9).
- 3) Dynamické vlastnosti pohybujúceho sa pásu možno nahradiť zotrvačným členom s časovou konštantou T , ktorá pozostáva z dvoch zložiek:

$$T = T_s + T_p$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..10)

kde:

- a) T_s je časová konštanta v oblasti šmykového trenia, ktorá závisí od koeficienta šmykového trenia f a od veľkosti oblasti šmykového trenia – uhla γ :

$$T_s = \frac{1}{f\omega} |1 - e^{\pm f\gamma}|$$

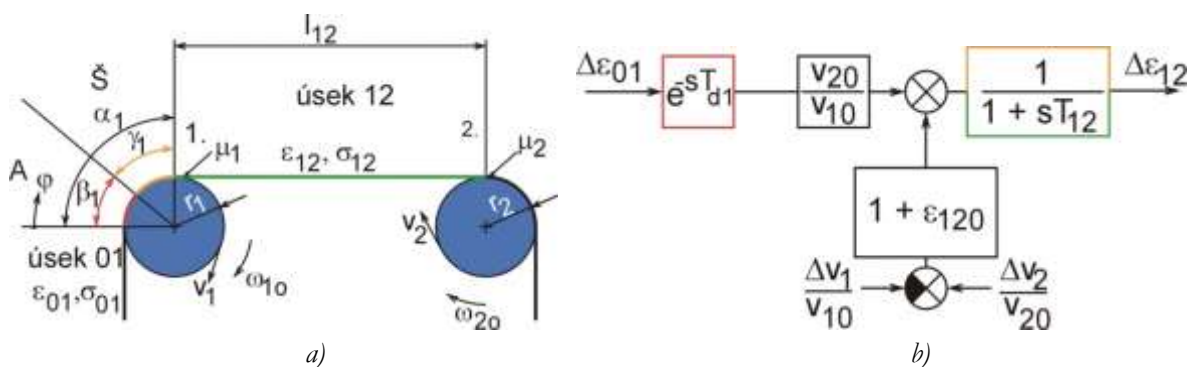
(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..11)

pričom znamienko v exponente závisí od veľkosti stacionárnych ťahov v príslušných úsekoch: znamienko +, ak $\sigma_{12} < \sigma_{01}$ a znamienko -, ak $\sigma_{12} > \sigma_{01}$,

b) z časovej konštanty pásu v úseku medzi dvoma valcami, ktorá je rovná dobe. Za ktorú týmto úsekom prejde sledovaný bod. Podľa Obr. 8.6 je to čas:

$$T_p = \frac{l_{12}}{v_2} = \frac{l_{12}}{r_2 \omega_2}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..12)



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..6 Transportný systém pásu s dvoma valcami: a) kinematická schéma, b) bloková schéma

Na základe uvedených vzťahov zostavíme model transportného systému pásu linky s dvoma valcami (Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..6a). Keďže ide o nelineárny systém (časová konštanta T_p závisí nepriamo úmerne od rýchlosti pásu, linearizujeme ho v ustálenom pracovnom bode (označenom dolným indexom „o“) danom ustáleným pomerným predĺžením ϵ_{12o} a ustálenými uhlovými rýchlosťami valcov ω_{1o} a ω_{2o} . Potom obvodoové rýchlosti valcov sú:

$$v_{1o} = r_1 \omega_{1o}$$

$$v_{2o} = r_2 \omega_{2o}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..13)

Odpovedajúca bloková schéma prírastkového modelu pásu je na Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..6b.

Časová konštanta T_{12} pozostáva z dvoch zložiek:

$$T_{12} = T_{s1} + T_{p12} = \left| 1 - e^{\pm f_1 \gamma_1} \right| \frac{1}{f_1 \gamma_1} + \frac{l_{12}}{r_2 \omega_{20}}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..14)

Prenosový člen $(1 + \varepsilon_{120})$ vyplýva z rovnice kontinuity pre bezrozmerné teleso v diferenciálnom tvare, za aké môžeme pás v prvom priblížení považovať (z teoretickej mechaniky, z teórie pružnosti):

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + v \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} - (1 + \varepsilon) \frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..15)

Laicky si to možno predstaviť tak, že daným úsekom za jednotku času prejde množstvo (dĺžka) materiálu, ktoré je voči beztáhovému stavu zväčšené o veľkosť ustáleného pomerného predĺženia ε_{120} .

Pre výstupnú veličinu $\Delta \varepsilon_{12}$ z blokovej schémy dostaneme prenos:

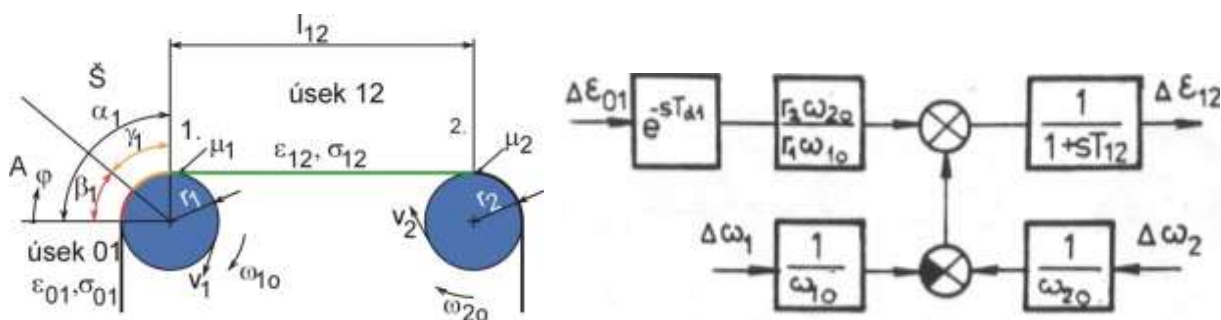
$$\Delta \varepsilon_{12}(s) = \frac{(1 + \varepsilon_{120}) \left[\frac{\Delta V_2(s)}{v_{20}} - \frac{\Delta V_1(s)}{v_{10}} \right] + \frac{v_{20}}{v_{10}} e^{-sT_{d1}} \Delta \varepsilon_{01}(s)}{1 + sT_{12}}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..16)

Z blokovej schémy vyplývajú dynamické vlastnosti pásu pri zmene pomerného predĺženia vstupujúceho pásu, alebo pri poruche spôsobenej zmenou uhlovej rýchlosti valca 1, resp. 2. Zmeny uhlovej rýchlosti valca sa na zmene pomerného predĺženia pásu v príľahlom úseku prejaví so zotrvačným charakterom s časovou konštantou T_{12} . Pri presnom riešení pri zmene vstupného predĺženia navyše treba uvažovať aj dopravné oneskorenie spôsobené prechodom pásu oblasťou šmykového trenia s časovou konštantou T_{d1} , kedy sa zmena ťahu prejaví až keď pás prejde touto oblasťou. Poznamenajme, že to isté platí aj pre zmenu ťahového napätia i ťahu v páse vo vstupnom úseku.

Skoková zmena uhlovej rýchlosti prvého valca $\Delta\omega_1$ vyvolá exponenciálnu zmenu $\Delta\varepsilon_{12}$ s časovou konštantou T_{12} , ktorej veľkosť závisí od veľkosti oblasti šmykového trenia a vzdialenosti medzi valcami. V dôsledku zotrvačných hmôt otáčajúcich sa valcov však v skutočnosti nemôže dôjsť ku skokovým zmenám uhlových rýchlostí a skokom sa nemôže meniť ani vstupné pomerné predĺženie. Neuvažovanie zotrvačných hmôt valcov, trenie v ložiskách a pod., však umožňuje vyšetriť chovanie sa samotného pásu a jeho fyzikálnych veličín pri transporte pásu v kontinuálnej linke.

Ustálené pomerné predĺženie materiálu podľa jeho druhu a technológie výroby sa pohybuje rádovo 10^{-4} až 10^{-2} , takže $\varepsilon_{120} \ll 1$ a pri zostavovaní modelov liniek ho možno v prvom priblížení zanedbať. Schému z Obr. 8.6b takto upravíme (Obr. 8.7).

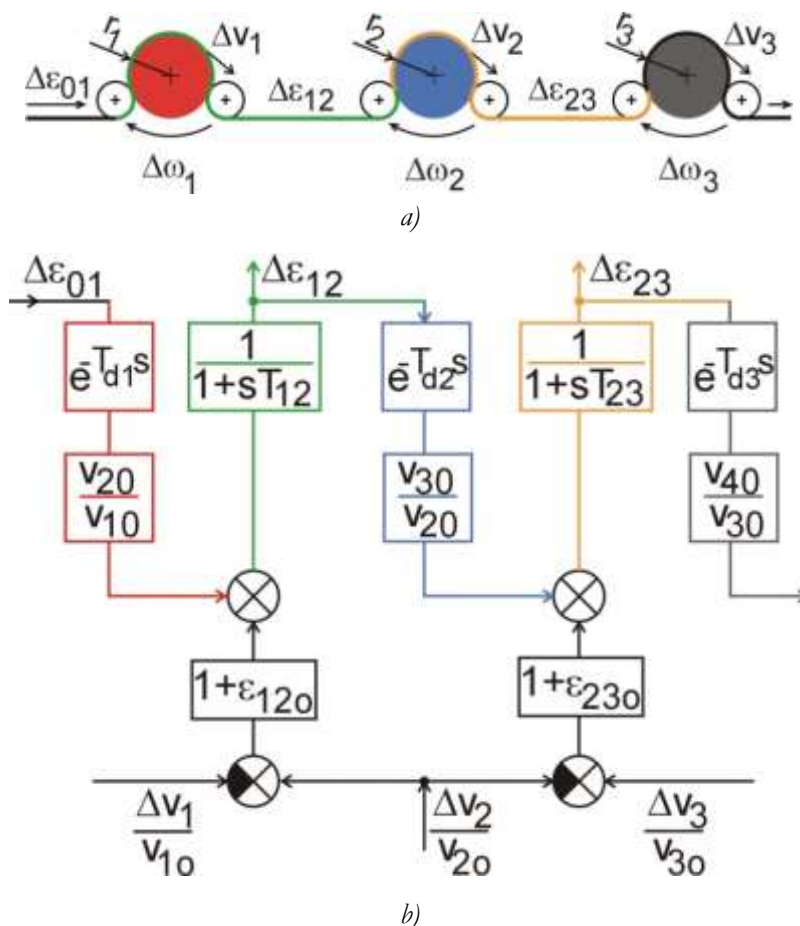


Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..7 Úprava blokovej schémy modelu pohybujúceho sa pružného pásu pre:
a) $\varepsilon_{120} \ll 1$; b) s rozkreslením oblasti šmykového trenia

4. Modely liniek s viacerými strojmi

4.1. Model linky s tromi valcami s opášaním

Skladáním dielčích modelov časti linky s dvoma pracovnými strojmi podľa podkapitoly 8.3 dostaneme model vyjadrujúci vlastnosti pásu v kontinuálnej linke s pružnou väzbou. Napríklad pre transportný systém s tromi valcami podľa Obr. 8.8a môžeme zostaviť blokovú schému, ktorá je uvedená pod schémou linky (Obr. 8.8b).

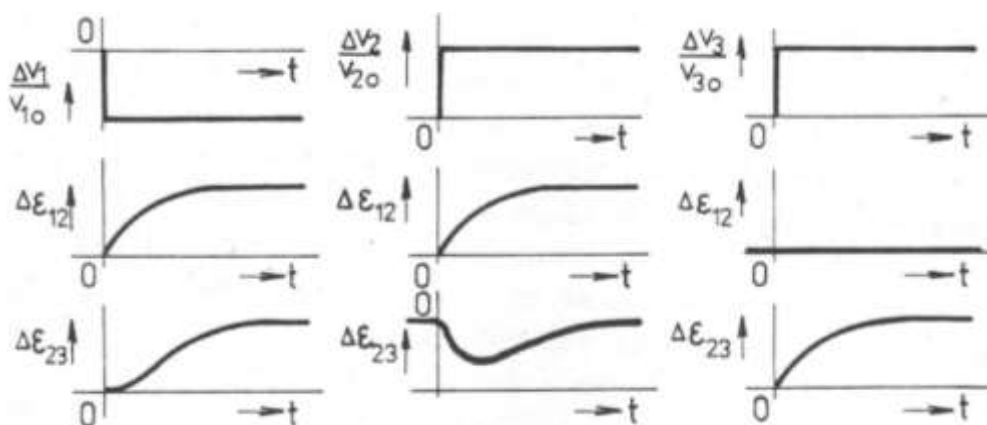


Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..8 Transportný systém s tromi valcami s opášaním: a) schéma linky; b) bloková schéma

Na Obr. 8.9. sú uvedené časové priebehy pomerných predĺžení v jednotlivých úsekoch linky pri zmenách rýchlosti, valcov. Pre zväčšenie oblasti dotyku sú zvolené valce s opášaním, v dôsledku čoho sa zväčšuje aj veľkosť oblasti adhézneho trenia a tým aj časová konštanta dopravného oneskorenia. Pri ťažných valcoch bez opásania sa oblasť dotyku znižuje na minimálnu mieru a dopravné oneskorenie je zanedbateľné.

Aby aj pri malom uhle opásania bolo možné energiu potrebnú na vyvodenie ťahu a pohybu preniesť z valca na pás, musí sa podľa rovnice (8.1) zvýšiť normálová zložka sily na pás, t. j. musí sa zvýšiť vzájomný prítlak valcov pracovného stroja (avšak len

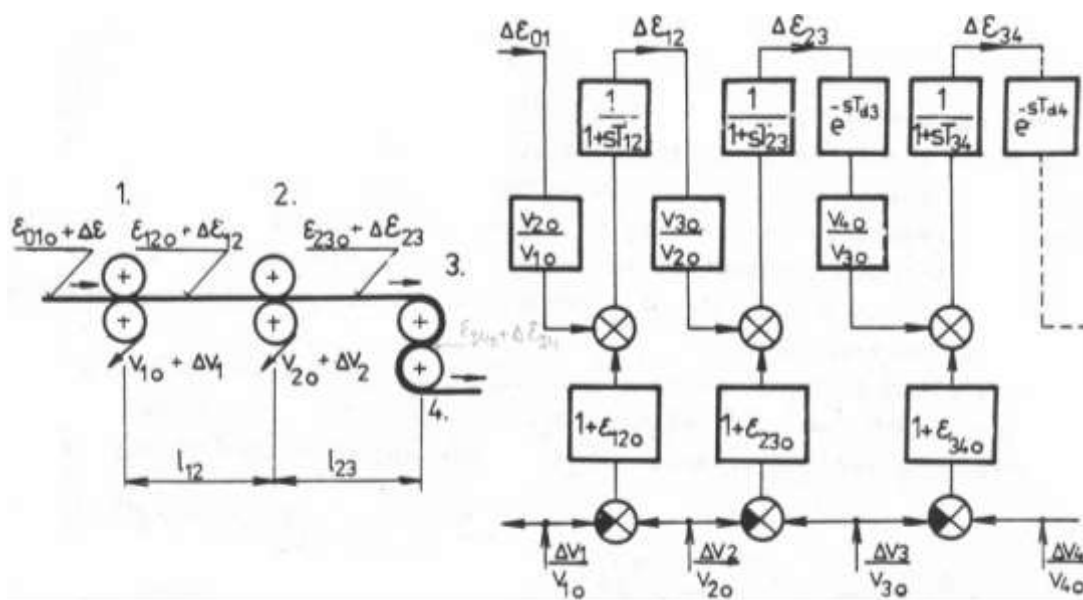
do tej miery, aby sa pás tlakom nedeformoval). Pri veľkých rozdieloch vstupného a výstupného ťahu treba použiť dvojité ťažné valce, pričom každý z valcov je vybavený individuálnym pohonným motorom.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..9 Časové priebehy pomerných predĺžení linearizovaného modelu linky z Obr. 8.10 pri skokovej zmene obvodovej rýchlosti jednotlivých valcov 1 – 3.

4.2. Model linky s jednoduchými ťažnými valcami a s S-valcami

Na Obr. 8.10a je nakreslený stredný úsek inej linky a jemu zodpovedajúca linearizovaná bloková schéma (Obr. 10b).



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..10 Model kontinuálnej linky s rôznou kombináciou ťažných valcov: a) schéma linky; b) bloková schéma

Dva z valcov sú jednoduché transportné valce a za nimi nasledujú S- valce. Pri tvorbe blokovvej schémy linky v časových konštantách T_{12} a T_{23} možno zanedbať príspevky

od odpovedajúcich časových konštánt šmykového trenia. Pri výpočte T_{34} zase je zanedbateľný príspevok od časovej konštanty pásu $T_{p34} = l_{34}/v_{40}$. pretože vzdialenosť l_{34} medzi 3. a 4. strojom je veľmi malá.

Pružný pás v jednotlivých úsekoch linky medzi pracovnými strojmi je namáhaný na ťah a tým sa v rámci pružnej deformácie dočasne predlžuje. Na základe kontinuity toku materiálu musí každým prierezom linky prejsť za časovú jednotku rovnaké množstvo materiálu. Keďže zmena prierezu je zanedbateľná, úsekom medzi $(i - 1)$ -ým a i -tým strojom prejde za čas t dĺžka pásu $l + \Delta l_{i-1,i}$, kde $\Delta l_{i-1,i}$ je absolútne predĺženie materiálu v danom úseku $i - 1, i$.

Z porovnania obvodoých rýchlostí i -tého a j -tého valca (pričom medzi nimi sa nesmie nachádzať úsek so slučkou - zásobníkom materiálu) dostaneme vzťah:

$$\frac{v_i}{v_j} = \frac{(l + \Delta l_{i-1,i})/t}{(l + \Delta l_{j-1,j})/t} = \frac{l + \Delta l_{i-1,i}/l}{l + \Delta l_{j-1,j}/l} = \frac{l + \varepsilon_{i-1,i}}{l + \varepsilon_{j-1,j}}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..17)

pričom uhlové rýchlosti a pomerné predĺženia vo všeobecnosti sú funkciami času $v = v(t)$, $\varepsilon = \varepsilon(t)$. Z rovnice vyplýva rozdelenie ustálených rýchlostí (index „0“) pri zadanom ťahovom napätí $\sigma = F/S$ a odpovedajúcim pomernom predĺžením $\varepsilon = \sigma/E$:

$$\frac{v_{io}}{l + \varepsilon_{i-1,io}} = \frac{v_{jo}}{l + \varepsilon_{j-1,jo}}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..18)

1.1.1 Model linky v ustálenom stave

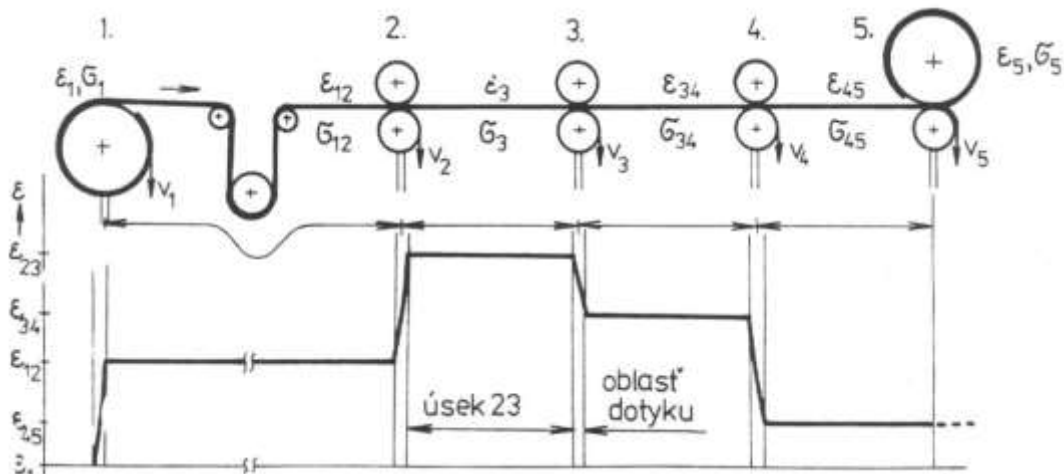
Na Obr. 8.11 je nakreslená všeobecná schéma linky s odvíjačkou, s napínacím valcom a navíjačkou. Pod schémou linky je nakreslený diagram priebehu ťahov v linke v jednotlivých úsekoch a tiež v oblasti dotyku pásu s valcom.

Ustálené pracovné body, dané obvodoými rýchlosťami valcov a ťahmi v jednotlivých úsekoch, ležia na priamke (Obr. 8.13). Ak je zadaný prietok materiálu na určitom mieste, potom sú jednoznačne určené vzťahy medzi obvodoými rýchlosťami transportných valcov a predĺžením v úsekoch, teda aj pred daným miestom:

$$\frac{v_1}{l + \varepsilon_1} = \frac{v_2}{l + \varepsilon_{12}} = \frac{v_3}{l + \varepsilon_{23}} = \frac{v_4}{l + \varepsilon_{34}} = \frac{v_5}{l + \varepsilon_{45}} = \frac{v_0}{1 + 0}$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..19)

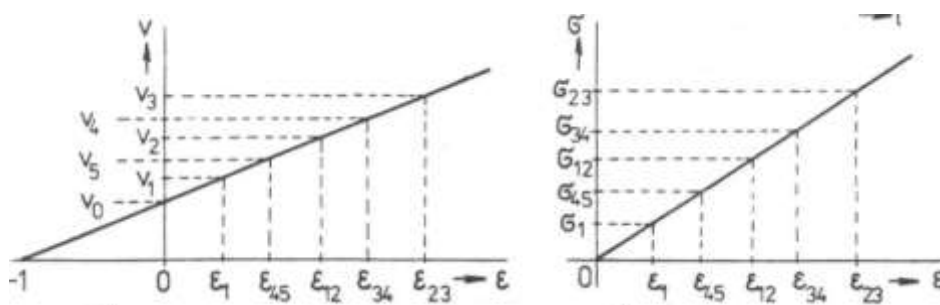
kde v_0 je rýchlosť pásu v beztáhovom stave.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..11 Kinematická schéma všeobecnej linky

Pomerné predĺženie ε_{45} sa ukladá v navíjanom zvitku ako predĺženie ε_5 (čomu zodpovedá ťah v páse, s ktorým je navinutý zvitok). Priamka, vyjadrená rovnicou (8.19), prechádza bodom, $\varepsilon = -1$ a jej sklon je určený pracovným bodom rýchlostného člena linky - napríklad (v_2, ε_{12}) .

Zo známeho rozloženia predĺžení v jednotlivých úsekoch vyplýva na základe Hookovho zákona rozdelenie ťahových napätí $\sigma = \varepsilon E$ a ťahov $F = \sigma S$ v týchto úsekoch. Odpovedajúce body ležia na priamke vychádzajúcej z počiatku (Obr. 8.12).

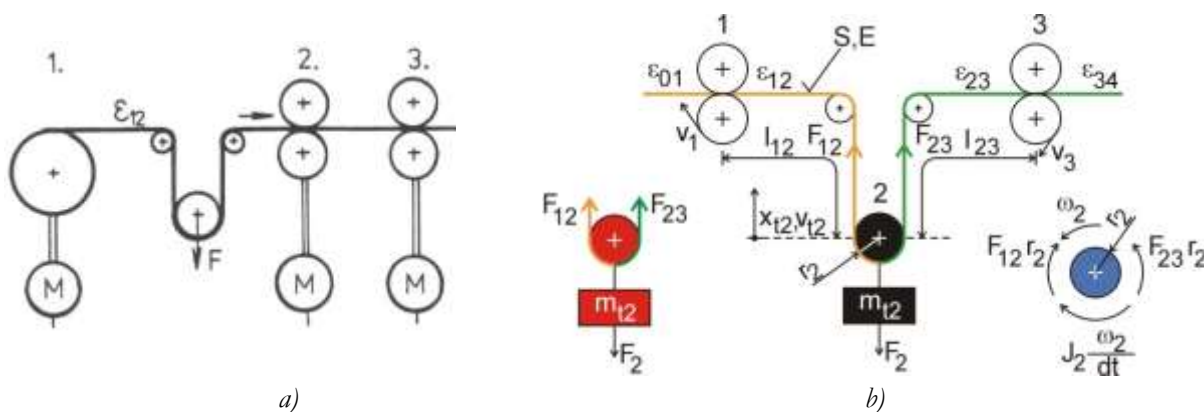


Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..12 Ťahové a rýchlostné pomery kontinuálnej linky v ustálenom stave

4.3. Model úseku časti linky s napínacím valcom

V kontinuálnych upravárenských linkách sa často vyskytujú úseky, v ktorých pás vytvára slučku. Ak sa požaduje, aby aj v tomto úseku bol v páse ťah, potom tento ťah možno vyvodiť pomocou napínacieho valca (Obr. 8.13a).

Úsekom so slučkou pásu možno vzájomne oddeliť dve časti linky tak, že poruchy v ťahu alebo v rýchlosti v jednej časti linky sa neprenášajú do druhej časti. Polohu napínacieho valca možno ovplyvňovať zmenou rýchlosti predchádzajúcej, alebo nasledujúcej časti linky. Silu, ktorou napínací valec pôsobí na pás, možno vyvodiť viacerými spôsobmi, v najjednoduchšom prípade pomocou závažia pripevneného na valec.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..13 Časť linky s napínacím valcom: a) usporiadanie a b) jej kinematická schéma

Z usporiadania na Obr. 8.14b vyplýva, že ide o trojhmotnostný pružný systém, v ktorom okrem rotujúcich hmôt navyše vystupuje translačne pohybujúca sa hmotnosť prídavného závažia včítane napínacieho valca. Tento mechanický systém možno popísať pohybovými rovnicami:

- pre translačný pohyb:

$$F_{12} + F_{23} - F_2 = m_{t2} \frac{d}{dt} v_{t2}$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..20)

- pre rotačný pohyb:

$$F_{23} r_2 + F_{12} r_2 = J_2 \frac{d}{dt} \omega_2$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so

zadaným
štýlom..21)

kde $\omega_2 = v_2/r_2$

Z rovnice (8.14) pri zanedbaní dopravného oneskorenia v oblasti dotyku ťažných valcov s pásom a pri malých ustálených hodnotách pomerného predĺženia dostaneme vzťah pre operátorový obraz prírastku pomerného predĺženia:

$$\Delta\varepsilon_{12}(s) = \frac{1}{1 + sT_{12}} \left[\frac{v_{2o}}{v_{1o}} \Delta\varepsilon_{01}(s) + \frac{\Delta V_2(s)}{v_{2o}} - \frac{\Delta V_1(s)}{v_{1o}} \right]$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..22)

V ustálenom stave sú obvodoové rýchlosti približne rovnaké (ak zanedbáme zmenu rýchlosti v dôsledku predĺženia pásu), teda:

$$v_{2o} \doteq v_{1o} \doteq v_o$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..23)

K zmene pomerného predĺženia $\Delta\varepsilon_{12}$ môže tiež dôjsť v dôsledku translačného pohybu napínacieho valca reprezentovaného prírastkom Δv_{t2} , ktorého zmena na $\Delta\varepsilon_{12}$ má rovnaký vplyv ako zmena Δv_1 (zvýšenie Δv_2 spôsobí pokles $\Delta\varepsilon_{12}$, t.j.:

$$\Delta\varepsilon_{12}(s) = \frac{1}{1 + sT_{12}} \left[\Delta\varepsilon_{01}(s) + \frac{\Delta V_2(s)}{v_o} + \frac{\Delta V_1(s)}{v_o} - \frac{\Delta v_{t2}(s)}{v_o} \right]$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..24)

Analogickú rovnicu môžeme zapísať pre pomerné predĺženie v úseku 23:

$$\Delta\varepsilon_{23}(s) = \frac{1}{1 + sT_{23}} \left[\Delta\varepsilon_{12}(s) + \frac{\Delta V_3(s)}{v_o} + \frac{\Delta V_2(s)}{v_o} - \frac{\Delta v_{t2}(s)}{v_o} \right]$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so

zadaným
štýlom..25)

K uvedeným rovniciam pristupujú pohybové rovnice (8.19), (8.20), ktoré vyjadríme v prírastkovom tvare a upravíme pri uvažovaní:

$$\Delta F = SE \Delta \varepsilon$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..26)

Po úprave a prepise do Laplaceovej transformácie dostaneme:

$$\Delta \varepsilon_{12}(s) + \Delta \varepsilon_{23}(s) - \frac{\Delta F_2(s)}{SE} = sT_{m2} \Delta V_{t2}(s)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so zadaným
štýlom..27)

$$\Delta \varepsilon_{23}(s) - \Delta \varepsilon_{12}(s) = sT_{J2} \Delta V_{t2}(s)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..28)

kde sme zaviedli časové konštanty:

$$T_{m2} = \frac{m_{t2} v_0}{SE}$$

$$T_{J2} = \frac{J_2 v_0}{SE r_2^2} = \frac{m_{r2} I_2^2 v_0}{SE r_2^2}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..29)

pričom I_2 je polomer zotrvačnosti definovaný vzt'ahom:

$$I_2 = \sqrt{\frac{J_2}{m_{r2}}}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so

**zadaným
štýlom..30)**

a m_{r2} je hmotnosť rotujúcej časti navíjacieho valca. Polomer zotrvačnosti plného a dutého valca vypočítame podľa vzťahov:

$$I = r/\sqrt{2}$$

$$I = \sqrt{(r_1^2 - r_2^2)/2}$$

**(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..31)**

Medzi translačnou dráhou a translačnou rýchlosťou napínacieho valca platí vzťah:

$$\Delta X_{t2}(s) = \frac{1}{s} \Delta V_{t2}(s)$$

**(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..32)**

Keďže $\Delta \varepsilon$ je v podstate pomerná veličina, zavedieme tiež $\Delta X_{t2}(s)/l_{13}$ a $\Delta V_{t2}(s)/v_o$:

$$\left(\frac{\Delta X_{t2}(s)}{l_{13}} \right) = \frac{1}{sT_{13}} \left(\frac{\Delta V_{t2}(s)}{v_o} \right)$$

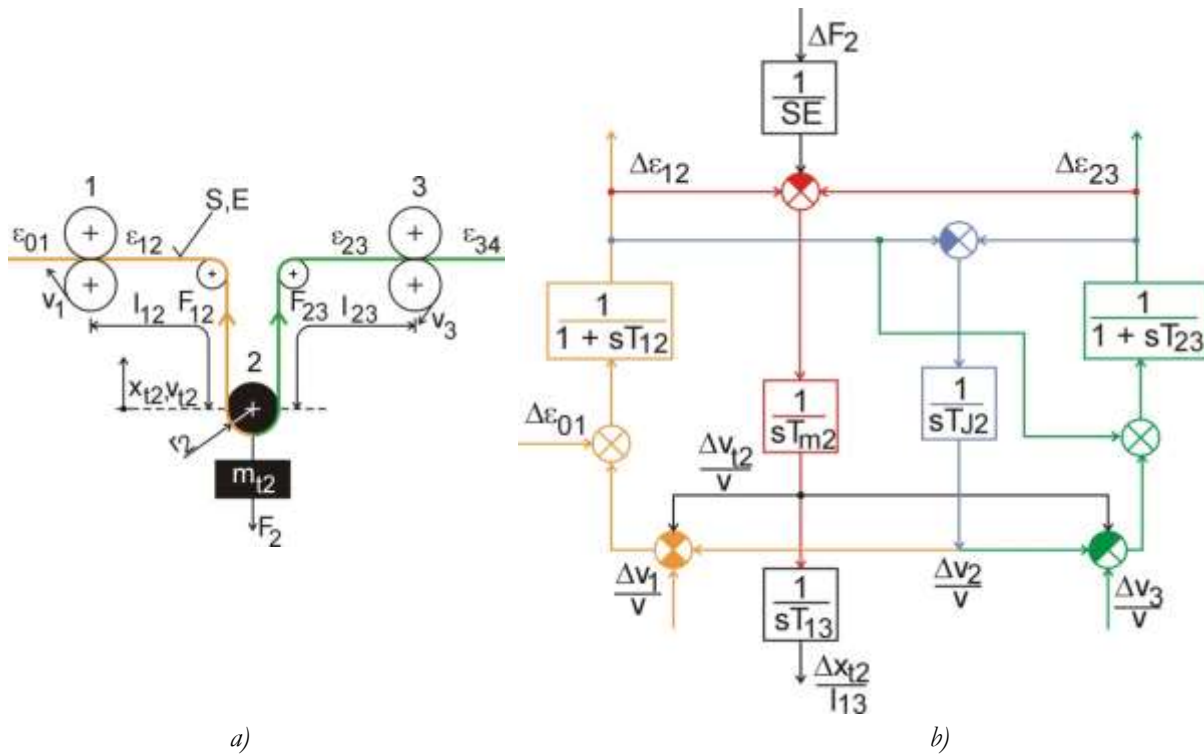
**(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..33)**

kde časová konštanta je:

$$T_{13} = \frac{l_{13}}{v_o} = \frac{l_{12} + l_{23}}{v_o}$$

**(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..34)**

Na základe uvedených vzťahov môžeme nakresliť blokovú schému vyšetrovanej časti linky (Obr. 8.14b), z ktorej možno odvodiť prenosy medzi vstupnými a výstupnými veličinami.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..14 Úsek linky s napínacím valcom: a) usporiadanie; b) odpovedajúca bloková schéma

Z nich majú zaujímavú vlastnosť dva prenosy

$$\frac{\Delta \epsilon_{23}(s)}{\left(\frac{\Delta V_3(s)}{v_o}\right)} = \frac{s}{a(s)} (T_{m2} - T_{J2})$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..35)

$$\frac{\Delta \epsilon_{23}(s)}{\Delta \epsilon_{02}(s)} = -\frac{\Delta \epsilon_{23}(s)}{\left(\frac{\Delta V_1(s)}{v_o}\right)} = \frac{s}{a(s)} (T_{m2} - T_{J2} + sT_{m2}T_{J2})$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..36)

kde $a(s)$ je charakteristický polynóm systému, ktorý je štvrtého stupňa. Tieto prenosy sa zjednodušia, ak $T_{m2} = T_{J2}$, čo bude splnené, ak pomer hmotnosti translačne pohybujúcej sa časti s hmotnosťou m_{t2} ku hmotnosti rotujúcej časti m_{r2} je vo vzťahu:

$$\frac{m_{t2}}{m_{r2}} = \left(\frac{I_2}{r_2}\right)^2$$

(Chyba! Dokument

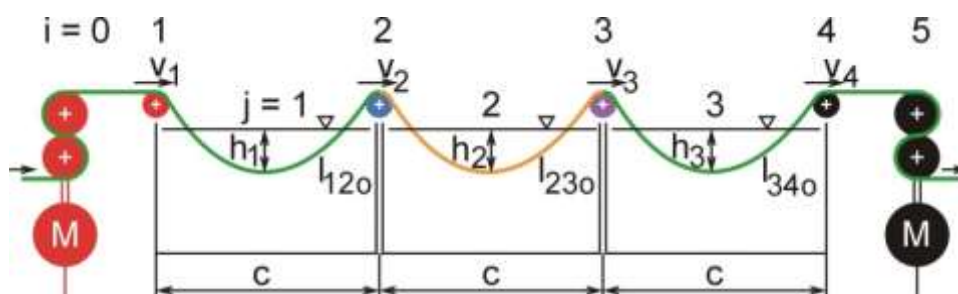
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..37)

t. j. hovoríme, že napínací valec je plne kompenzovaný a poruchy prejavujúce sa zmenšením rýchlosti vstupných alebo výstupných ťažných valcov majú veľmi malý vplyv na kolísanie pomerných predĺžení ε_{12} a ε_{23} a odpovedajúcich ťahov. Pomocou simulácie možno zistiť, že pre zmenšenie vplyvu rýchlosti na amplitúdu ε_{23max} je vhodnejšie voliť $l_{12} < l_{23}$.

Z uvedeného rozboru vyplýva, že správnym návrhom mechanickej časti kontinuálnej linky možno znížiť nepriaznivý vplyv niektorých väzieb a to ešte prel samotným návrhom regulátorov pohonného systému.

5. Model úseku linky s voľným previsom pásu

Technológia spracovania pásov materiálov často vyžaduje, aby materiál medzi pracovnými strojmi, prípadne medzi dvoma časťami linky, vytváral jednu alebo viac voľných slučiek bez vnúteného ťahu. Týmto spôsobom možno pás viesť cez vhodný roztok, ktorý pôsobí na jeho povrch a tým ho upravujú.. Typickým prípadom je morenie oceľových pásov na moriacej linke pred valcovaním za studena, ktorého cieľom je odstrániť okoviny (kysličníky železa) z povrchu pásu. Pás pritom tvorí viacnásobnú slučku (Obr. 8.15), pričom ťažné valce sa nachádzajú pred vstupom a po výstupe pásu z moriacich vaní.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..15 Previs pásu v moriacich vaniach

Počas prevádzky sa žiada, aby pás v ustálenom stave v každej vani vytváral určitú konštantnú hodnotu previsu, čím sa zabezpečí optimálne doba morenia. Aj pri malom rozdieli vstupnej a výstupnej rýchlosti pásu v dôsledku integračného charakteru dochádza ku značnej zmene previsu, čo má za následok buď preťaženie pohonného motora alebo vlečenie pásu po dne vane a tým aj poškodenie povrchu pásu.

Úplný model previsu pásu

Pri zostavení matematického modelu neuvažujeme s tuhosťou pásu. Pás považujeme za dokonale ohybné lano, ktoré je zaťažené vlastnou hmotnosťou. V tomto prípade previs pásu možno popísať funkciou ret'azovky (Obr. 8.16a):

$$y = a \cosh(x/a)$$

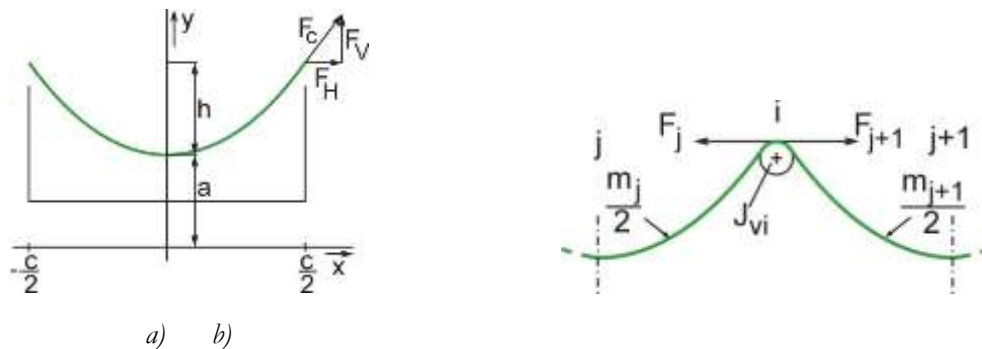
(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..38)

kde c je vzdialenosť podpier a a je parameter.

Maximálny previs pásu je:

$$h = y\left(\frac{c}{2}\right) - a = a \left[\cosh\left(\frac{c}{2a}\right) - 1 \right]$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..39)



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..16 a) Náhrada previsu ret'azovkou,
b) silové a momentové pomery na jednom podpornom valčeku

Celková ťahová sila v páse F_c pozostáva z horizontálnej zložky F_h a z vertikálnej F_v , teda:

$$F_h = q a g = \text{konšt.}$$

$$F_v = F_h \sinh(x/a)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so

zadaným
štýlom..40)

kde

$$F_c = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} = q a g \cosh(x/a)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..41)

pričom q je hmotnosť pásu pripadajúca na jednotku dĺžky.

Maximálny ťah v páse sa vyskytne v mieste podpery, $x = \pm c/2$, t. j.:

$$F_{c \max} = q a g \cosh\left(\frac{c}{2a}\right)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..42)

čo nám vstupuje do matematického modelu.

Uvedené vzťahy doplníme dynamickou rovnicou pre translačný pohyb: pre i -tý podperný valček (Obr. 8.16b), s ktorým susedí j a $j + 1$ moriaca vaňa, je:

$$F_{j+1} - F_j - 0,5F_{t,i-1} - 0,5F_{t,i} = m_i \frac{dv_i}{dt}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..43)

kde F_t je tlmiaca hydraulická sila, ktorá závisí od rýchlosti zmeny dĺžky, viskozity kvapaliny a od geometrických rozmerov vane a pásu a od povrchu pásu (drsnoti).

Keďže viskozita kvapaliny a geometrické rozmery sú konštantné, môžeme písať:

$$F_t = f\left(\frac{dl}{dt}\right)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..44)

Určiť F_t analyticky je obtiažné. Pri praktickom riešení preto zvolíme hodnotu tlmenia približne, avšak menej než očakávame v reálnej sústave pričom vychádzame z predpokladu: ak návrh regulácie bude pre tento prípad vyhovujúci, pri väčšom tlmení bude priebeh prechodových dejov priaznivejší). Pri uvažovaní vplyvu kvapaliny a danej rýchlosti pásu dochádza tiež k porušeniu symetrie polohy pásu. Zložka sily trenie v zostupujúcej časti pásu pôsobí proti sile, vo vystupujúcej časti zase súhlasne s tangenciálnou zložkou sily od hmotnosti pásu od hmotnosti pásu. Dôsledkom je vysunutie najnižšieho bodu zo stredu vane, čo závisí aj od rýchlosti pásu (tento jav v našich úvahách zanedbáme).

Premenná m_i v rovnici (8.43) predstavuje ekvivalentnú hmotnosť i -tého podperného valčeka, ktorá okrem prepočítanej hmotnosti (z momentu zotrvačnosti) vlastného valčeka zahrnuje aj ekvivalentnú hmotnosť pásu, pripadajúceho na daný valček, a prípadného pohonného motora, poháňajúceho valček cez prevodovku s prevodom j :

$$m_i = \frac{1}{2} q l_{i-1,i} + \frac{1}{2} q l_{i,i+1} + J_v \frac{1}{r_v^2} + J_m \frac{j^2}{r_v^2}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..45)

Dĺžku pásu nachádzajúceho sa v slučke určíme pomocou vzt'ahu:

$$l = \int_{-c/2}^{c/2} \sqrt{1 + (y')^2} dx = 2 a \sinh\left(\frac{c}{2a}\right)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..46)

Pri zmenách vstupnej v_j a výstupnej rýchlosti v_{j+1} pásu v j -tej vani sa mení dĺžka pásu v slučke podľa vzt'ahu:

$$l_j = \int_0^t (v_j - v_{j+1}) dt + l_{j0}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..47)

kde l_{j0} je počiatočná dĺžka pásu v slučke.

Z uvedených rovníc možno zostaviť matematický model previsu pásu, ktorý je nelineárny a tým pre praktické použitie je nevhodný.

Linearizovaný model previsu pásu

Pre zostavenie linearizovaného modelu zjednodušíme hyperbolické funkcie popisujúce reťazovku a uvažujeme len prvé dva členy:

$$\sinh(x) = x + x^3 \frac{1}{3!} + x^5 \frac{1}{5!} + \dots$$

(Ch
yba!
Dok
ume
nt
neo
bsa
huje
žiad
ny
text
so
zad
aný
m
štýl
om..
48)

$$\cosh(x) = 1 + x^2 \frac{1}{2!} + x^4 \frac{1}{4!} + \dots$$

(Ch
yba!
Dok
ume
nt
neo
bsa
huje
žiad
ny
text
so
zad
aný
m
štýl
om..
49)

Na základe toho upravíme previs pásu z rovnice (8.39):

$$h \doteq a \left(\frac{c^2}{8a^2} - 1 \right)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje

žiadny text
so
zadaným
štýlom..50)

Odkiaľ určíme hodnotu parametra a :

$$h \doteq a \left(\frac{c^2}{8a^2} - 1 \right)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..51)

ktorý dosadíme do rovnice (8.46), odkiaľ po linearizácii získame výsledný vzťah medzi previsom pásu a jeho dĺžkou v slučke:

$$l \doteq c + \frac{c^3}{24a^2} = c \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{h}{c} \right)^2 \right]$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..52)

odkiaľ získame výsledný vzťah medzi previsom a dĺžkou pásu

$$h = \sqrt{\frac{3}{8} c (l - c)}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..53)

Zaujíma nás celková sila v páse v podpernom bode (napr. kvôli určeniu veľkosti záťažného momentu pohonného motora). Dostaneme ju úpravou rovnice (8.42):

$$F_{c \max} = q a g \left(1 + \frac{c^2}{8a^2} \right) = q g \left(\frac{c^2}{8h} + h \right)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..54)

Jej minimálnu hodnotu určíme derivovaním tejto rovnice:

$$\frac{d F_c}{dh} = 0$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..55)

Čím dostaneme $h = c/\sqrt{8} = 0,354 c$.

Pri malých previsoch h sa v rovnici (8.54) uplatní hlavne prvý člen (premenná h je v menovateli). Od veľkosti previsu závisí tiež horizontálna zložka sily:

$$F_h = q a g \doteq q g \frac{c^2}{8 h}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..56)

čo platí aj naopak - od tejto sily závisí veľkosť h previsu.

Ak pás vytvára viac voľných slučiek s rovnakou vzdialenosťou podperných valčekov, v ustálenom stave budú rovnaké aj previsy jednotlivých slučiek. V prevádzke takéhoto úseku linky sa z technologického hľadiska spravidla požaduje konštantná veľkosť previsu pásu. Túto je možné dosiahnuť zaradením snímača veľkosti previsu (polohy slučky) a na základe jeho veľkosti regulovať prítok alebo odtok materiálu.

V prípade, ak snímač polohy nie je možné umiestniť (napr. kvôli agresívnemu prostrediu), potom využijeme znalosti medzi ťahom v páse a veľkosťou previsu (rovnica 8.54) a reguláciu previsu tak prevedieme na reguláciu ťahu v páse.

Pre návrh takéhoto regulátora treba model linearizovať. Linearizovaný model dostaneme diferencovaním rovníc (8.43), (8.47), (8.53) a (8.56) ktorý zapíšeme s odpovedajúcimi indexmi (i -tý valček susediaci j a $j + 1$ vaňou):

$$\Delta F_{j+1} - \Delta F_j - \Delta F_t = m_i \frac{d\Delta v_i}{dt}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so zadaným
štýlom..57)

$$\Delta F_j = -q g \frac{c^2}{8 h_{j0}^2} \Delta h_j = -K_F \Delta h_j$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje

žiadny text
so zadaným
štýlom..58)

$$\Delta h_j = \frac{\frac{3}{8} c \Delta l_j}{\sqrt{\frac{3}{8} c (l_{j0} - c)}} = K_h \Delta l_j$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..59)

$$\Delta l_j = \int (\Delta v_i - \Delta v_{i+1}) dt$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..60)

kde K_F , K_h sú odpovedajúce konštanty linearizovaného modelu. Pritom predpokladáme, že ustálené hodnoty dĺžok l_{j0} pásu v každej vani a previsov h_{i0} sú rovnaké.

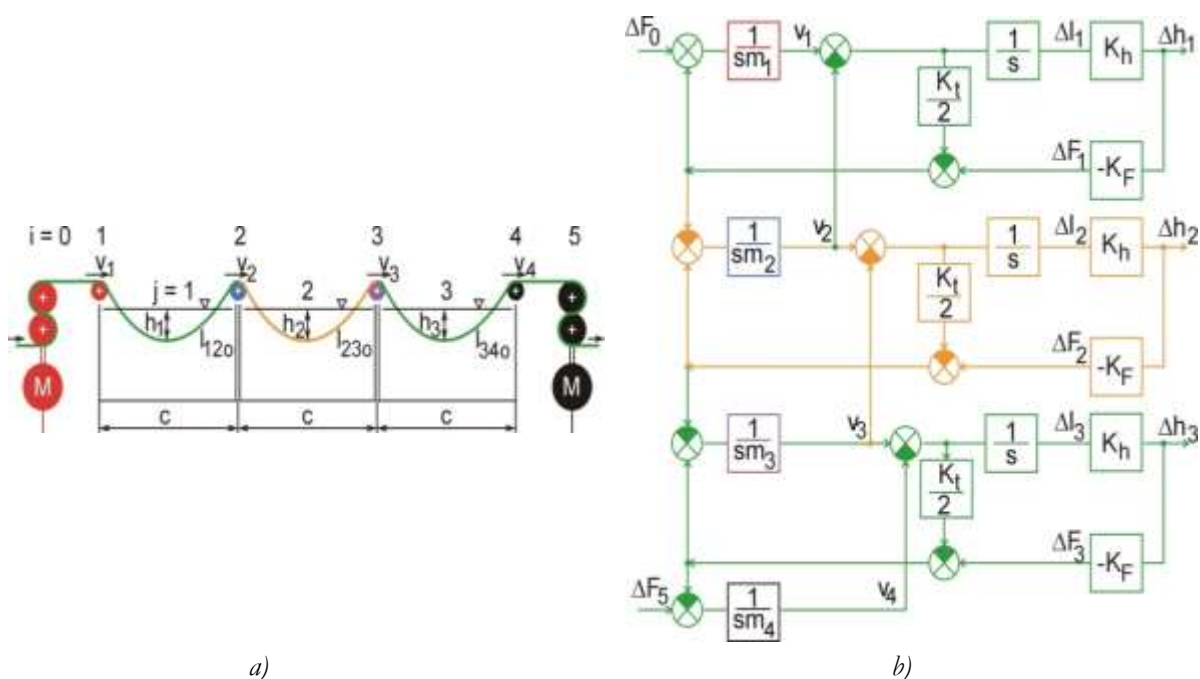
V linearizovanom modeli predpokladáme, že tlmiaca sila je lineárne závislá (s konštantou K_t) od derivácie prírastku dĺžky:

$$\Delta F_t = K_t \frac{d\Delta l}{dt}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..61)

Bloková schéma je uvedená na Obr. 8.17b. Pre úplnosť a prehľadnosť je na Obr. 8.18a znovu nakreslené usporiadanie linky, pôvodne uvedené na Obr. 8.16. Ku ekvivalentným hmotnostiam m_1 a m_5 treba okrem hmotnosti prvého valčeka pripočítat' tiež hmotnosti vstupných a výstupných ťažných/podávacích valcov. Sily ΔF_0 a ΔF_5 sú odvodené od momentov pohonov.

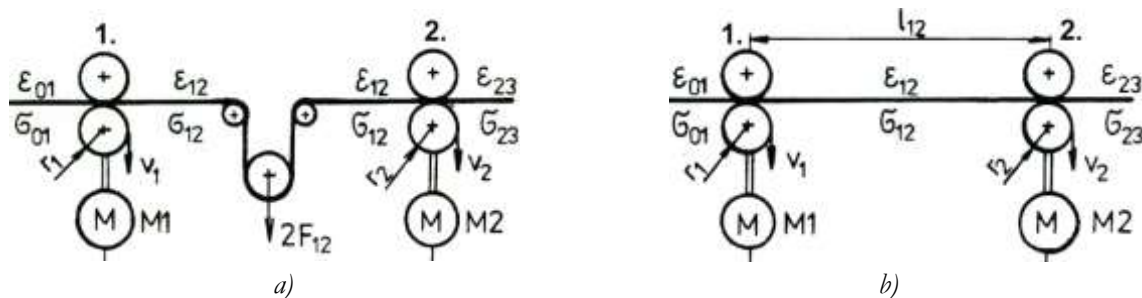
Model umožňuje simulovanie rôznych prevádzkových stavov uvedenej technologickej časti zariadenia a sledovanie vplyvu rôznych porúch. Model zariadenie s viacnásobným previsom pásu má kmitavý charakter a tvorí pružný člen medzi vstupnými a výstupnými ťažnými valcami, ktoré sú poháňané elektrickými pohonmi.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..17 Model viacnásobného previsu pásu v moriacich vaniach:
a) schéma úseku linky, b) linearizovaná bloková schéma

6. Model časti linky s dvoma strojmi

V doterajších rozboroch sme neuvažovali zotrvačné hmoty valcov, ktoré vystupujú v pohybových rovniciach. Každý transportný člen so svojimi valcami a motorom predstavuje konštantný zásobník mechanickej energie. Ak spojíme jeden transportný člen s druhým (Obr. 8.18), potom pás medzi týmito členmi predstavuje ďalší zásobník energie, ktorý vzhľadom na svoju dĺžku l_{jk} a pomerné predĺženie $\varepsilon_{jk} > 0$ je premenlivý. Prenosom sily cez ťažné valce sú spojené všetky tri zásobníky, takže celkove dostávame kmitavý mechanický systém 3. rádu.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..18 Dve možné väzby pracovných strojov spracovávaným materiálom

Z Obr. 8.18 vyplývajú dve možné väzby pracovných strojov:

1. Podsystem s vnúteným (konštantným) ťahom (Obr. 8.18a), ktorý je vytváraný prostredníctvom napínacieho valca, nachádzajúceho sa v slučke. Pás v tomto

podsysteme môže meniť svoju dĺžku (pri konštantnom pomernom predĺžení), čím sa mení aj veľkosť objemového zásobníka energie pružného pásu. Hmotnosť valca, ktorá by v podstate predstavovala ďalší zásobník energie, pri predpoklade malého vertikálneho pohybu valca zanedbáme.

2. Podsystem vnútenou (konštantnou) dĺžkou pásu medzi transportnými valcami (Obr. 8.18b), v ktorom v závislosti od pomeru obvodových rýchlostí sa mení pomerné predĺženie materiálu, čím sa takisto mení veľkosť zásoby energie pružného pásu. Dvomi rozdielnymi podsystemami budú odpovedať aj dve rôzne blokové schémy. Pri odvodení vychádzame z pohybových rovníc pre prvý a druhý stroj; pričom kvôli kontinuite s predchádzajúcim výkladom je vhodnejšie aplikovať pohybové rovnice pre translačný pohyb. Moment zotrvačnosti motora a ťažných valcov prepočítame na ekvivalentnú zotrvačnú hmotu (na základe rovnosti energie rotačného a translačného pohybu):

$$m = J \left(\frac{\omega}{v} \right)^2 = J \frac{1}{j^2}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..62)

Pohybové rovnice oboch strojov sú:

$$F_{12} - F_{01} + \frac{M_1}{r_1} = m_1 \frac{dv_1}{dt}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so zadaným
štýlom..63)

$$F_{23} - F_{12} + \frac{M_2}{r_2} = m_2 \frac{dv_2}{dt}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..64)

Pre tok materiálu úsekom medzi pracovnými strojmi vychádzame z bilančnej rovnice

$$v_2 - v_1 = \frac{d l_{12}}{dt}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text

so
zadaným
štýlom..65)

kde v_1 (v_2) obvodová rýchlosť prvého (druhého) valca (resp. rýchlosť prichádzajúceho (odchádzajúceho) pásu a dl/dt je zmena zásoby.

Keďže pri pôsobení ťahu v danom úseku dochádza ku predĺženiu pásu, v rovnici (8.64) je potrebné uvažovať aj rovnicu kontinuity (24), čím dostaneme:

$$\frac{v_2}{1 + \varepsilon_{12}} - \frac{v_1}{1 + \varepsilon_{01}} = \frac{d}{dt} \frac{l_{12}}{1 + \varepsilon_{12}}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..66)

V ustálenom stave (index „o“) platí rovnica (8.19):

$$\frac{v_{1o}}{l + \varepsilon_{01o}} = \frac{v_{2o}}{l + \varepsilon_{12o}} = \frac{v_0}{1 + 0}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..67)

Aby sme z rovnice (8.20) mohli zostaviť blokovú schému, musíme ju linearizovať (premenné v_1 , v_2 , ε_{01} , ε_{12} , l_{12} sú funkciami času). Zlomkové funkcie v tejto rovnici linearizujeme v ustálenom pracovnom bode danom v_{1o} , v_{2o} , ε_{01o} , ε_{12o} , l_{12o} tak, že zostavíme úplný diferenciál z funkcie v tvare:

$$f = \frac{x}{1 + \varepsilon_{ij}}; \quad i = 0, 1; \quad j = i + 1$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..68)

kde miesto x dosadíme príslušnú premennú, teda:

$$\Delta f = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \right]_{\varepsilon_{ijo}} \Delta x + \left[\frac{\partial f}{\partial \varepsilon_{ij}} \right]_{x_o} \Delta \varepsilon_{ij} = \frac{\Delta x}{1 + \varepsilon_{ijo}} - \frac{x_o + \Delta \varepsilon_{ij}}{(1 + \varepsilon_{ijo})^2}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text

so
zadaným
štýlom..69)

Výraz (8.69) sa zjednoduší, ak $\varepsilon_{ijo} \ll 1$, teda:

$$\Delta f = \Delta x - x_o \Delta \varepsilon_{ij}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..70)

Po linearizácii obidvoch strán rovnice (8.66) uvedeným spôsobom a úprave dostaneme

$$\Delta v_1 - v_{1o} \Delta \varepsilon_{01} + \Delta v_2 + v_{2o} \Delta \varepsilon_{12} = l_{12o} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta l_{12}}{l_{12o}} - \Delta \varepsilon_{12} \right)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..71)

Celú rovnicu delíme v_o a výraz na pravej strane má rozmer časovej konštanty

$$T_{12} = \frac{l_{12o}}{v_o}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..72)

Upravená rovnica (8.71) bude v tvare

$$\frac{\Delta v_1}{v_o} - \Delta \varepsilon_{01} + \frac{\Delta v_2}{v_o} + \Delta \varepsilon_{12} = T_{12} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta l_{12}}{l_{12o}} - \Delta \varepsilon_{12} \right)$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..73)

čo predstavuje linearizovaný model pásu. Túto rovnicu doplníme pohybovými rovnicami (39) v prírastkovom tvare

$$F_{12} - \Delta F_{01} + \frac{\Delta M_1}{r_1} = m_1 \frac{d\Delta v_1}{dt}$$

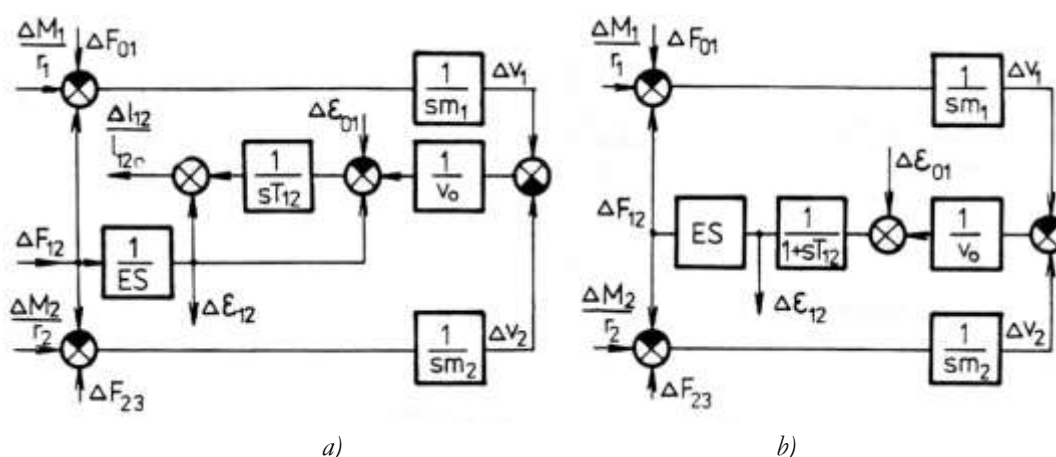
(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so zadaným
štýlom..74)

$$F_{23} - \Delta F_{12} + \frac{\Delta M_2}{r_2} = m_2 \frac{d\Delta v_2}{dt}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..75)

čím sme dostali linearizovaný model mechanickej časti kontinuálnej linky.

Rovnica (8.73) obsahuje dve rôzne prevádzkové usporiadania, dané blokovými schémami na Obr. 8.19.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..19 Blokové schémy linearizovaných matematických modelov mechanickej časti linky z Obr. 8.19

- 1) Ak je uvažovanej časti linky vnútený ťah (schéma na Obr. 8.19a), potom zo zásobníkov energie sa môže meniť iba dĺžka pásu l_{12} a to s integrálnym charakterom pri výskyte poruchy spôsobenej buď zmenou rýchlostí Δv_1 , Δv_2 , zmenou predchádzajúceho ťahu $\Delta \epsilon_1$, prípadne zmenou sily ΔF_{12} , pôsobiacej na napínací valec. Pretože po tejto zmene nenastáva vyrovnanie, poloha napínacieho valca bude labilná, t.j. každá porucha spôsobí zmenu dĺžky. Z uvedeného rozboru vyplýva, že pohon vstupných ťažných valcov musí byť vybavený takou reguláciou, ktorá stabilizuje systém (napríklad, korekčným signálom od polohy napínacieho valca do rýchlostnej regulácie).
- 2) Systém môžeme stabilizovať aj ináč - tak, že valec budeme napínať ťažnou pružinou, ktorá by vytvárala silu F priamo úmernú dĺžke. Tým však zavádzame

premenlivé pomerné predĺženie čomu odpovedá premenlivý ťah v materiáli. To sa môže nepriaznivo prejavovať v ďalšej časti linky.

- 3) Ak uvažovanej časti linky je vnútená dĺžka pásu l_{12} (bloková schéma na Obr. 8.19b), potom zo zásobníkov mechanickej energie sa môže meniť iba predĺženie. Zmenou pomerného predĺženia $\Delta\varepsilon_{12}$ sa ovplyvňuje rýchlosť odchádzajúceho pásu. Porucha v linke spôsobená zmenou rýchlosti alebo zmenou predchádzajúceho predĺženia sa v linke šíri s exponenciálnym charakterom postupne v smere toku materiálu.

Dynamické vlastnosti jednotlivých podsystémov závisia od konštánt SE , l , m a predovšetkým od prevádzkovej rýchlosti v_o . Ich podrobný popis možno nájsť v [46] – [48]. Pre vyšetrenie vplyvu rýchlosti v_o na dynamiku upravíme dynamické rovnice (8.74), (8.75) tak, že zavedieme $\Delta F - \Delta\varepsilon SE$. Upravené rovnice pre nakreslenie blokovej schémy sú:

$$\Delta\varepsilon_{12} - \Delta\varepsilon_{01} + \frac{\Delta M_1}{r_1 SE} = T_{m1} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta v_1}{v_o} \right)$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..76)

$$\Delta\varepsilon_{23} - \Delta\varepsilon_{12} + \frac{\Delta M_2}{r_2 SE} = T_{m2} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta v_2}{v_o} \right)$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..77)

$$\Delta\varepsilon_{12} - \Delta\varepsilon_{01} + \left(\frac{\Delta v_1}{v_o} - \frac{\Delta v_2}{v_o} \right) = T_{12} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta l_{12}}{l_{12o}} - \Delta\varepsilon_{12} \right)$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..78)

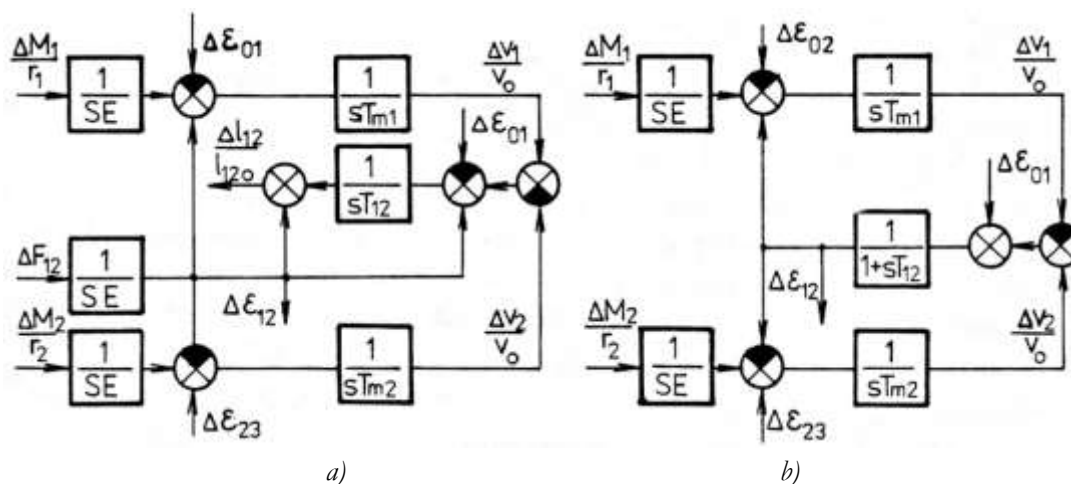
kde časové konštanty majú význam:

$$T_{m1} = \frac{m_1 v_o}{SE} \quad T_{m2} = \frac{m_m v_o}{SE} \quad T_{12} = \frac{l_{12o}}{v_o}$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so

zadaným
štýlom..79)

Odpovedajúce blokové schémy pre obidva vyššie uvedené prípady sú na Obr. 8.20. Časová konštanta T_m predstavuje čas, za ktorý sa zotrvačná hmota zrýchli z nulovej rýchlosti $v = 0$ na strednú rýchlosť pásu $v = v_o$, ak v páse pôsobí sila $F = SE$. T_{12} predstavuje dobu prechodu pásu medzi dvoma strojmi. Časová konštanta T_m závisí priamo úmerne od strednej rýchlosti pásu v_o a časová konštanta T_{12} nepriamo úmerne od tejto rýchlosti; čím rýchlejšie sa pohybuje pás, tým rýchlejší je priebeh prechodových dejov.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..20 Upravené blokové schémy podsystemov linky z Obr. 8.20

Bloková schéma podsystemu s vnútenou dĺžkou (Obr. 8.20b) sa skladá z dvoch uzavretých slučiek so spoločným prenosovým členom $1/(1 + sT_{12})$. Pre každú slučku môžeme samostatne odvodiť [3] konštantu tlmenia prechodového deja:

$$d_1 \approx \sqrt{\frac{T_{m1}}{T_{12}}} = v_o \sqrt{\frac{m_1 l_{12}}{SE}}$$

$$d_2 \approx \sqrt{\frac{T_{m2}}{T_{12}}} = v_o \sqrt{\frac{m_2 l_{12}}{SE}}$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..80)

t.j. tlmenie systému je tým väčšie, čím rýchlejšia je doba prechodu medzi strojmi, teda čím rýchlejšie sa preniesie energia z valcov na pás v oblasti dotyku. Z uvedeného vyplýva dôležitý uzáver – vplyv transportnej rýchlosti na tlmenie systému znamená, že pri rozbehu linky z kľudu a pri spomaľovaní prechádzame cez oblasť so zníženým tlmením. Charakter prechodových dejov teda závisí od pracovného bodu – od

rýchlosti linky; pri veľmi malej rýchlosti dostávame kmitavé priebehy, blížiac sa netlmenému priebehu, pri vyššej rýchlosti aperiodické.

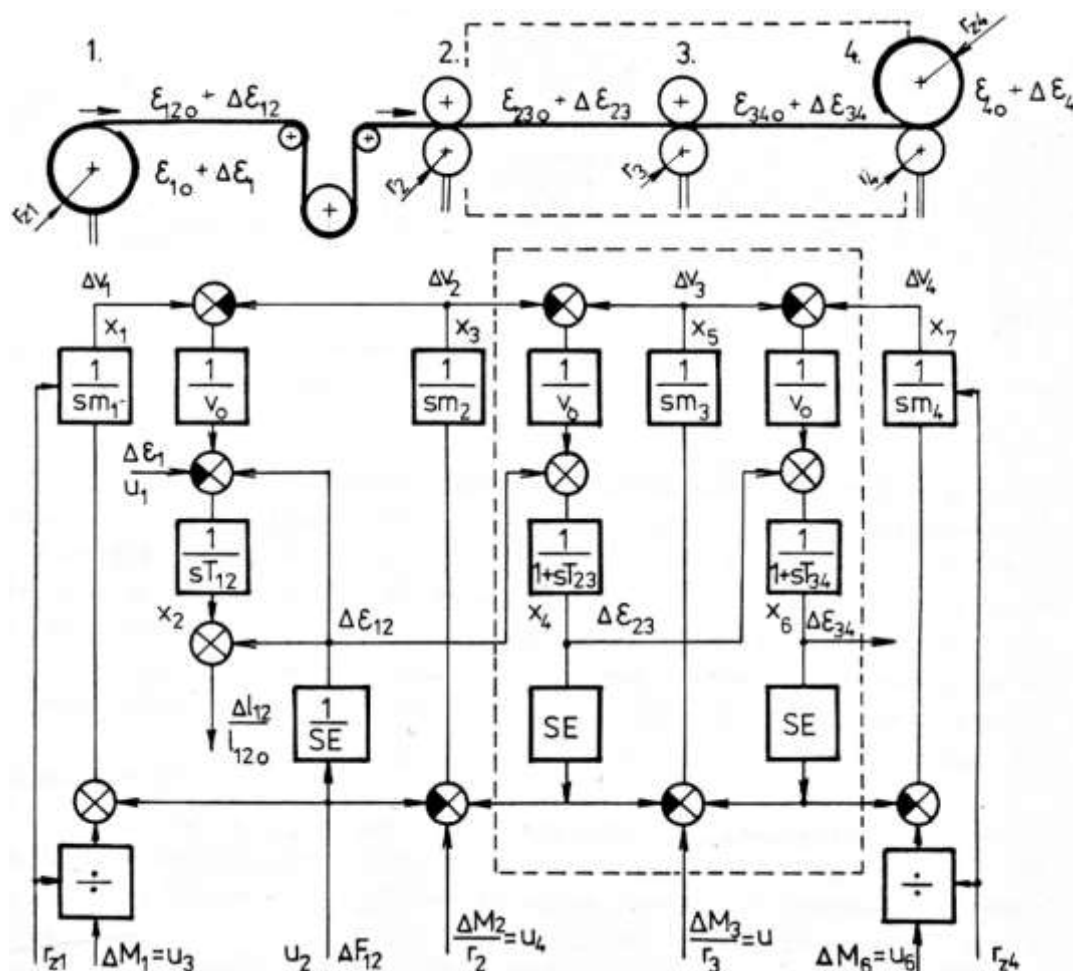
7. Model kontinuálnej linky s viacerými strojmi

Zložením modelov jednotlivých podsystémov podľa usporiadania danej kontinuálnej linky dostaneme jej výsledný model. Na Obr. 8.21 je nakreslené bloková schéma linearizovaného modelu kontinuálnej linky s odvíjačkou, úsekom s napínacím valcom, dvoma ťažnými valcami a obvodovou navíjačkou [44]. Z tejto schémy vyplýva vzájomná súvislosť jednotlivých veličín. Pás sa odvíja so zvitku, na ktorý bol navinutý v predchádzajúcom technologickom procese a určitým ťahom, ktorému odpovedá pomerné predĺženie ε_1 . (nemusí byť konštantné).

Na výstupe linky sa navíja s pomerným predĺžením $\varepsilon_4 = \varepsilon_{34}$. Z blokovej schémy vyplýva, že poruchy v systéme, ktoré vznikajú kolísaním uhlových rýchlostí pracovných strojov vyvolávajúce zmeny pomerných predĺžení, sa v systéme môžu šíriť obidvoma smermi, t. j., všetky stavové veličiny systému sú navzájom viazané. Aj kolísanie vstupných predĺžení ε_1 sa šíri po celom systéme.

Ak v systéme je zaradený úsek s napínacím valcom, tento zabraňuje šíreniu porúch - ruší väzbu podsystémov a tým rozdelíme linku na dve autonómne časti, ktoré možno riešiť nezávisle na sebe (veličina x_t odpovedajúca polohe napínacieho valca nemá väzbu s uvedeným systémom). Vnútenie obvodovej rýchlosti jednému stroju rýchlostnou reguláciou pohonného motora tiež spôsobí odväzbenie systému, avšak iba proti smeru pohybu pásu; poruchy v predĺžení sa môžu šíriť v smere pohybu.

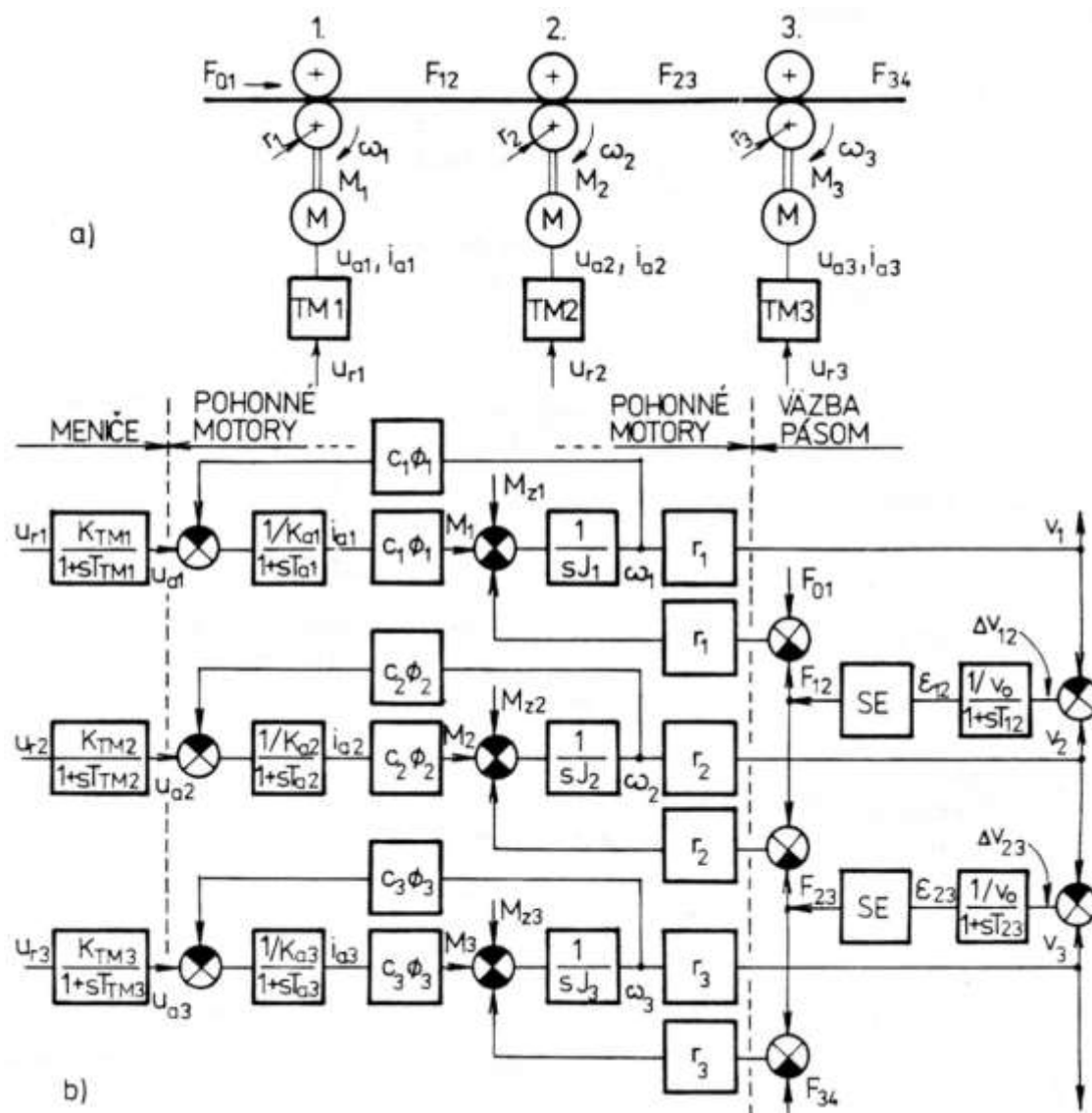
Celý systém možno rozložiť na podsystémy, ktorým odpovedajú dielčie blokové schémy, ako je to ukázané čiarkovane na Obr. 8.22.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..21 Linearizovaný model kontinuálnej linky

Pri zostavení celkovej schémy pohonného systému linky vychádzame zo schémy na Obr. 8.23, ktorú doplníme modelmi motorov a meničov (Obr. 8.23). Schéma platí pre určitý pracovný bod odpovedajúci rýchlosti v_0 ; ináč treba schému doplniť deličkami, t.j. signál vydeliť premenlivým signálom v_0 .

Z hľadiska teórie regulácie uvažovaná časť linky predstavuje neautonómny nelineárny dynamický systém: pri zmene rýchlosti strojov sa mení ťah v páse a naopak – pri zmene ťahu sa mení rýchlosť pásu. Pri viacerých strojoch v linke jeden z nich obvykle určuje rýchlosť pásu (rýchlostný člen linky), zatiaľ čo pohony ostatných strojov zabezpečujú požadované ťahy v jednotlivých úsekoch. syntézy je preto návrh takého regulačného systému, v ktorom sa ťahy a rýchlosti nebudú navzájom ovplyvňovať.



Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..22 Bloková schéma kontinuálnej linky s 3 strojmi