

SÖNNIKUPRESSURI KRAABI MANIPULAATORI MITMEPARAMEETRILINE SÜNTEES

M. Heinloo, T. Leola

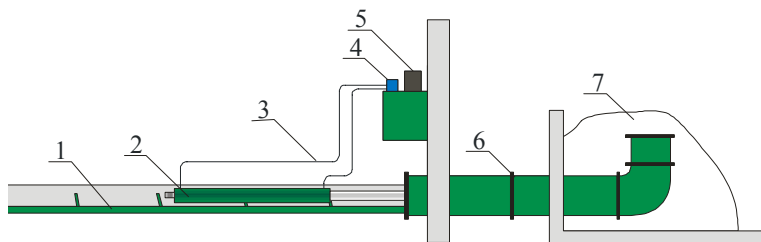
Eesti Maaülikool

Artiklis formuleeritakse ja lahendatakse sõnnikupressuri kraabile manipulaatori mitmeparameetrilise sünteesi probleem: leida sõnnikupressuri kraabi manipulaatori 4 parameetrile sellised väärtused, mille korral manipulaator võtab pöördumise alguses ja lõpus etteantud asendid ja omab nendes asendites samasugused nurkkiirused. Sünteesiprobleemi lahendus tugineb masinate ja mehhanismide teooriast tuntud võtetele. Töö tulemusi saab kasutada sõnnikupressuri projekteerimiseks ja täiuslikumaks muutmiseks.

Võtmesõnad: põllumajandus, masinaehitus, sõnnik, tehnoloogia, simulatsioon, arvutigraafika, Mathcad, süntees, manipulator, pressur.

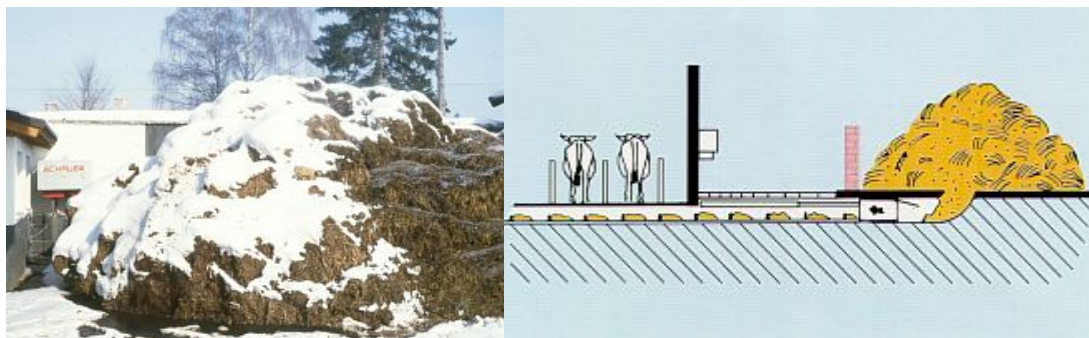
Sissejuhatus

Sõnnikukoristuseseadmed koosnevad kahest osast: üks osa kogub sõnnikut laudas ja teine laeb selle sõnnikuhoidlasse. Üheks sõnniku hoidlasse laadimise vahendiks on pressur, millega sõnnik surutakse läbi presstoru hoidla sõnnikukihi alla. Joonisel 1 on näidatud sõnnikupressuri põhimõtteskeem.



Joonis 1. Sõnnikupressuri põhimõtteskeem. 1 – lattkraapkonveier; 2 – hüdrocilinder; 3 – õlivoolikud; 4 – hüdroajam; 5 – elektrimootor; 6 – presstoru; 7 – sõnnikukiht hoidlas

Sõnnikupressuri tööprotsess on järgmine. Hüdrocilindri 2 abil käivitatakse konveier 1 (joonis 1) transportib sõnniku presstorusse 6, kust kraabiga manipulaator pressib selle sõnnikuhoidlas oleva sõnnikukihi alla 7. Pärast töökäiku muudab suunaventiil 4 õli liikumise suunda ning konveier liigub koos manipulaatoriga tagasi töökäigu algusesse. Selliselt on võimalik pressida üsna kõrge sõnnikuhunnik. Sõnnikupressur on ökonoomne, keskkonnasäästlik ja kasutatav allapanuga sõnniku laadimiseks lauda lähedal (2–10 m) paiknevasse hoidlasse.

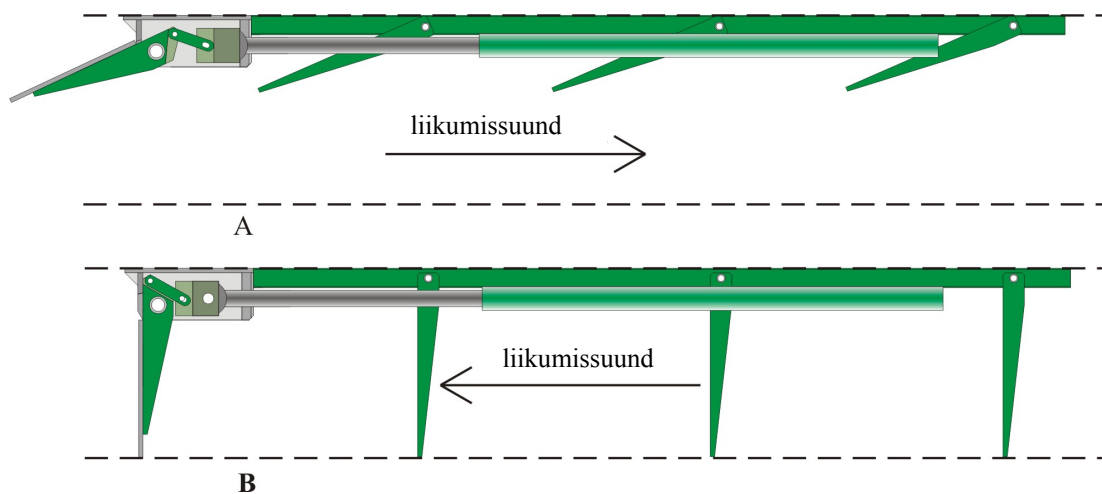


Joonis 2. Firma Schauer poolt toodetav sõnnikupressur väikestele farmidele (2001)

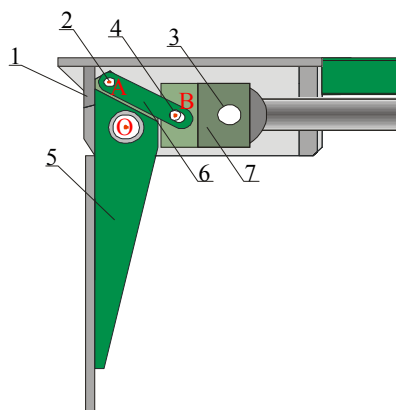
Paskervilleri 8000 (Pellonpaja..., 1997) ja Schaueri (2001) sõnnikupressurite (joonis 2) kraapide labade pööramiseks ümber vertikaalse või horisontaalse telje kasutatakse labade ja sõnnikurenni vahel mõjuvat hõõrdejõudu. Sellel juhul on probleemiks see, et vabalt pöörduv laba ei võta sõnnikurennis regulaarselt töö- ja tagasikäigu asendeid.

Merivirta Oy (1998) ja Paskervilleri 4000 (Pellonpaja..., 1999) on kasutanud sundpööramisega mehhanisme. Nende süsteem on keerukas, aga tagab alati kraapide pöördumise presskambris tööasendisse ning tagasikäiguasendisse.

V. Veinla juhendatav töögrupp tegi ettepaneku kasutada sõnnikupressuri (joonis 1) tööorgani kraapi (joonis 3), mille kraap pööratakse sundajamiga manipulaatoriga (joonis 4), mis kindlustab pressuri tööorgani regulaarse pöördumise kraabi tagasikäigu ajaks tagasikäigu asendisse (joonis 3, A) ja töökäigu ajaks tööasendisse (joonis 3, B). Sellise tööorganiga sõnnikupressur on tootmises.



Joonis 3. Manipulaatoriga pressuri tööorgani ja konveieri asendid tagasikäigul (A) ja töökäigul (B)



Joonis 4. Projekteeritud manipulaatoriga tööorgani skeem. 1 – kere; 2, 3 – sõrmed; 4 – sõrm ovaalses avas; 5 – kraap, 6 – ühendusplaat; 7 – liugur

Uudse kraabiga sõnnikupressuri katsetamiseks loodi V. Veinla juhtimisel spetsiaalne labor (joonis 5), milles tema töögrupi liikmed on sõnnikupressuriga teinud mitmeid katseid.

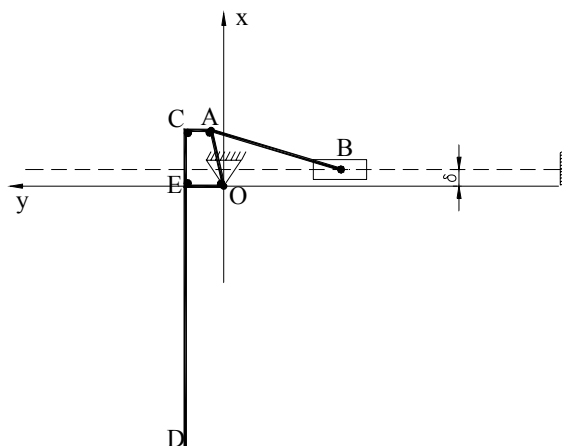


Joonis 5. Katsetamise eesmärgil laborisse V. Veinla töögrupi poolt paigaldatud sõnnikupressur

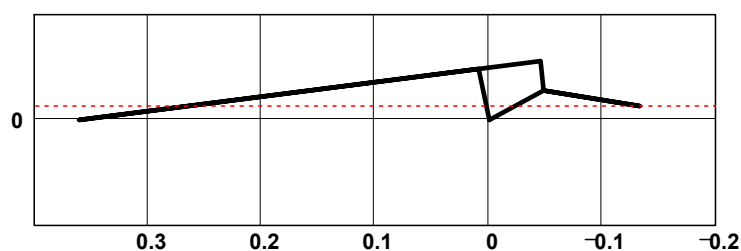
Veinla ja Leola (2001, 2003) on tootmis- ning laborikatsetes mõõtnud

- tööorganile mõjuvaid jõudusid sõnniku pressimisel hoidlasse,
 - presstoru seintele mõjuvaid rõhkusid,
 - sõnnikukihis mõjuvaid rõhkusid,
- ning uurinud sõnniku pressimiseks vajalikke jõudusid sõltuvalt sõnnikukihi kõrgusest.

Sõnnikupressuri kraabi manipulaatori (joonis 4) liikumise täpsustamiseks arendasid Heinloo, Leola ja Veinla (2005) arvutipaketi Mathcad keskkonnas välja matemaatilisele ja virtuaalsele modelleerimisele tugineva meetodi joonisel 6 kujutatud skeemi alusel loodud virtuaalse manipulaatori (joonis 7) sünteesiks. Heinloo jt (2005) leidsid lüli OACED küljele AO sellise pikkuse ja lüli B x-koordinaadi δ (joonis 6), mis garanteerib manipulaatori täpse pöördumise töökäigu asendisse (joonis 6) ning tagasikäiguasendisse (joonis 7).



Joonis 6. Sõnnikupressuri tööorgani kinemaatikaskeem



Joonis 7. Programmi MathCad töölehel loodud virtuaalne manipulaator

Manipulaatorile etteantud liikumise saamiseks lahendatakse käesolevas artiklis järgmine mitmeparaameetrilise sünteesi probleem: leida sellised lüli AB ja lüli OACED külgede AO ja OE pikkused ρ_{AB} , ρ_{AO} , ρ_{OE} ning liigendi B x-koordinaat δ (joonis 6), mis garanteerivad manipulaatorile konveieri töökäigul täpselt joonisel 6 näidatud asendi ning kraabi tagasikäigul täpselt joonisel 7 näidatud asendi.

Etteantud piirangud manipulaatori liikumiseks

Eeldame, et etteantud piirangud manipulaatori (joonis 6) liikumiseks on järgmised.

- Ajavahemikul $0 \leq t \leq t_0$, kus $t_0 = L/v_r = 0,0263$ s ($L = 0,006$ m on liuguri (kolvi) B vaba käigu pikkus; $v_r = 0,2285$ m/s – liuguri B kiirus y-telje negatiivses suunas liikudes) on lüli OACED liikumatu lõtku (ehk joonisel 4 näidatud lüli AB ava ovaalse) tõttu liigendis B.

- Ajavahemikul $t_0 \leq t \leq t_1$, kus $t_1 = h/v_r = 0,3632$ s ($h = 0,0830$ m – liuguri B täiskäik kohalikus süsteemis Oxy) lüli OACED pöördub ümber liigendi O asendist joonisel 6 asendisse joonisel 7.

- Ajavahemikul $t_1 \leq t \leq t_2$, kus aeg $t_2 = 6$ s on ette antud, on lüli OACED (joonisel 3 koos konveieriga) kulgliikumises süsteemi Oxy y-telje negatiivses suunas (tagasikäik) ja jõuab ajahetkeks $t = t_2$ lõppasendisse.

- Ajavahemikul $t_2 \leq t \leq t_2 + t'_0$, kus $t'_0 = L/v_l = 0,0431$ s ($v_l = 0,1393$ m/s – liuguri B liikumise kiirus selle liikumisel süsteemi Oxy y-telje positiivses suunas (töökäigul)) on lokaalne aeg, mida loetakse alates lüli OACED lõppasendisse jõudmise hetkest, lüli OACED liikumatu lõtku tõttu liigendis B.

- Ajavahemikul $t_2 + t'_0 \leq t \leq t_2 + t'_1$, kus t'_1 on lokaalne aeg, pöörduv lüli OACED tagasikäigu asendist (joonis 7) tööasendisse (joonis 6) ja jõuab sinna ajahetkel $t = t_2 + t'_1$.

- Ajavahemikul $t_2 + t'_1 \leq t \leq t_2 + t'_2$, kus t'_2 on lokaalne aeg, on lüli OACED (joonisel 3 koos konveieriga) kulgliikumises süsteemi Oxy y-telje positiivses suunas (töökäik) ja jõuab ajahetkeks $t = t_2 + t'_2$ taas algasendisse.

- Lüli B saab liikuda ainult piki oma juhtjoont, mistõttu selle liigendi x-koordinaat on fikseeritud (joonis 6)

$$x_B(t) = \delta. \quad (1)$$

- Liigendi B y-koordinaat muutub süsteemis Oxy seaduse

$$y_B(t) = y_{BO} - v_r(t - t_0), (t_1 \geq t \geq t_0) \quad (2)$$

järgi, kui lüli B liigub selles süsteemis y-telje negatiivses suunas, ja seaduse

$$y'_B(t') = y_B(t_1) + L + v_l(t' - t'_0), (t'_1 \geq t' \geq t'_0) \quad (3)$$

järgi, kui lüli B liigub y-telje positiivses suunas. Siin on t jooksev aeg; t' – kohalik jooksev aeg, mida loetakse alates hetkest, millal lüli OACED jõudis lõppasendisse; $y_{BO} = 0,0550$ m – lüli B fikseeritud y-koordinaat vahetult enne lüli OACED liikuma hakkamist ajahetkel t_0 .

Põhilised võrrandisüsteemid

Punktide C, E, D ja liigendite A, B (joonis 6) koordinaadid rahuldavad järgmisi võrrandeid:

$$\begin{aligned} x_A^2 + y_A^2 &= \rho_{AO}^2, (x_A - \delta)^2 + [y_A - y_B(t)]^2 = \rho_{AB}^2, \\ (x_E - x_A)^2 + (y_E - y_A)^2 &= \rho_{AE}^2, x_E^2 + y_E^2 = \rho_{OE}^2, \\ x_C^2 + y_C^2 &= \rho_{OC}^2, (x_C - x_E)^2 + (y_C - y_E)^2 = \rho_{EC}^2, \\ x_D &= \frac{\rho_{DC}}{\rho_{EC}} \left[x_E + \left(\frac{\rho_{EC} - \rho_{DC}}{\rho_{DC}} \right) x_C \right], y_D = \frac{\rho_{DC}}{\rho_{EC}} \left[y_E + \left(\frac{\rho_{EC} - \rho_{DC}}{\rho_{DC}} \right) y_C \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Võrrandisüsteemi (4) on lahendanud Leola, Veinla, Heinloo (2004). Diferentseerides süsteemi (4) aja järgi, saab leida lineaarse võrrandisüsteemi

$$\begin{aligned} x_A v_{Ax} + y_A v_{Ay} &= 0, (x_A - \delta) v_{Ax} + [y_A - y_B(t)](v_{Ay} + v_r) = 0, \\ x_E v_{Ex} + y_E v_{Ey} &= 0, (x_E - x_A)(v_{Ex} - v_{Ax}) + (y_E - y_A)(v_{Ey} - v_{Ay}) = 0, \\ x_C v_{Cx} + y_C v_{Cy} &= 0, (x_C - x_E)(v_{Cx} - v_{Ex}) + (y_C - y_E)(v_{Cy} - v_{Ey}) = 0, \\ v_{Dx} &= \frac{\rho_{DC}}{\rho_{EC}} \left[v_{Ex} + \left(\frac{\rho_{EC} - \rho_{DC}}{\rho_{DC}} \right) v_{Cx} \right], v_{Dy} = \frac{\rho_{DC}}{\rho_{EC}} \left[v_{Ey} + \left(\frac{\rho_{EC} - \rho_{DC}}{\rho_{DC}} \right) v_{Cy} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

liigendi A ning punktide C, E ja D kiiruste $v_{Ax}, v_{Ay}, v_{Cx}, v_{Cy}, v_{Ex}, v_{Ey}, v_{Dx}, v_{Dy}$ leidmiseks.

Võrrandisüsteemid (4) ja (5) kehtivad juhul, kui liugur B liigub süsteemi Oxy y-telje negatiivses suunas. Et leida punktide C, E ja D kiirusi juhul, kui liugur B liigub y-koordinaadi positiivses suunas, tuleb asendada süsteemides (4) ja (5) $y_B(t)$, mis on määratud valemiga (2), $y'_B(t')$ -ga, mis on määratud valemiga (3), kohalik kiirus v_r tuleb asendada kohaliku kiirusega v_l ja aeg t kohaliku ajaga t' .

Diferentseerides aja järgi valemeid $x_A(t) = \rho_{AO} \sin(\varphi)$, $y_A(t) = \rho_{AO} \cos(\varphi)$, kus φ on nurk y-telje positiivse suuna ja lüli AO vahel, saame pärast lihtsat teisendust leida järgmise valemi lüli OACED pöördumise nurkkiiruse ω_{AO} arvutamiseks:

$$\omega_{AO} = -\frac{v_{Ay}}{x_A} \quad (6)$$

Sünteesiprobleemi lahendamine

Lugedes aja t , lülide mõõtmed $\rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}$ ning x-koordinaadi δ muutujateks tuleb koordinaadid $x_A, y_A, x_C, y_C, x_E, y_E, x_D, y_D$, kiirused $v_{Ax}, v_{Ay}, v_{Cx}, v_{Cy}, v_{Ex}, v_{Ey}, v_{Dx}, v_{Dy}$ ja nurkkiirus ω_{AO} lugeda parameetrite $t, \delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}$ funktsioonideks.

Püstitatud sünteesisprobleemi lahendamiseks tuleb lahendada võrrandisüsteem

$$\begin{aligned} x_D(t_1, \delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}) &= 0 \text{ m}, \\ y_D(0s, \delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}) - y_C(0s, \delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}) &= 0 \text{ m}, \\ \omega_{AO}(t_1, \delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}) - \omega_{AO}(0s, \delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}) &= 0 \frac{1}{s}. \end{aligned} \quad (7)$$

Pikkused

$$\rho_{EC} = 0,0560 \text{ m}, \rho_{DC} = 0,4110 \text{ m}, \rho_{AE} = 0,0622 \text{ m}, \rho_{OC} = 0,0718 \text{ m} \quad (8)$$

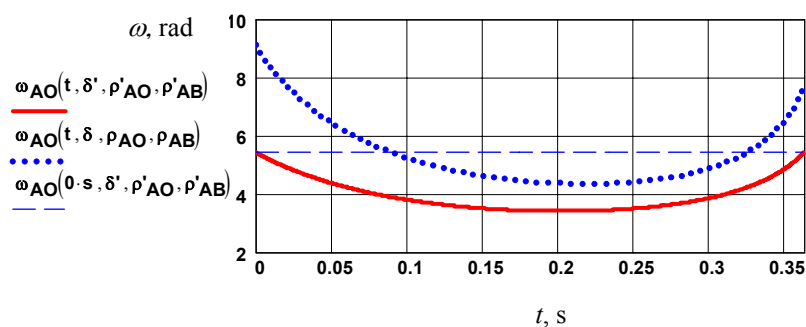
loeme etteantuteks. Mittelineaarse võrrandisüsteemi (7) lahendamiseks parameetrite $\delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}$ suhtes tuleb ette anda nende parameetrite algväärtused. Kui need võtame järgmised:

$$\delta = 0,0200 \text{ m}, \rho_{AO} = 0,0500 \text{ m}, \rho_{AB} = 0,0900 \text{ m}, \rho_{OE} = 0,0500 \text{ m}, \quad (9)$$

siis saab arvutipaketi Mathcad abil leida võrrandisüsteemile (7) järgmise lahendi:

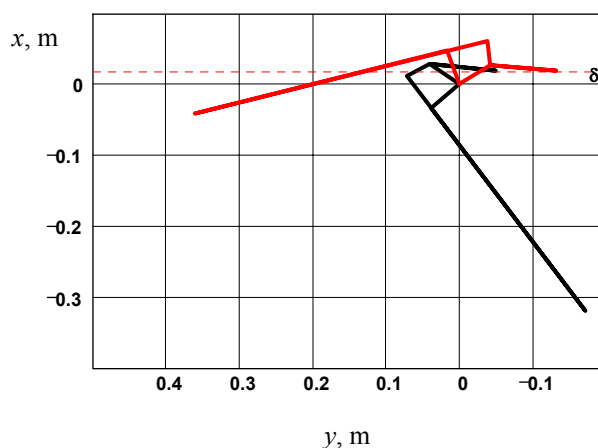
$$\delta' = 0,0198 \text{ m}, \rho'_{AO} = 0,0604 \text{ m}, \rho'_{AB} = 0,0830 \text{ m}, \rho'_{OE} = 0,0493 \text{ m}. \quad (10)$$

Joonisel 8 on näha lüli OACED nurkkiiruse ω_{AO} sõltuvus ajast t parameetrite $\delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}$ algväärtuste (9) (punktjoon) ja leitud väärtuste (10) (pidev joon) korral.



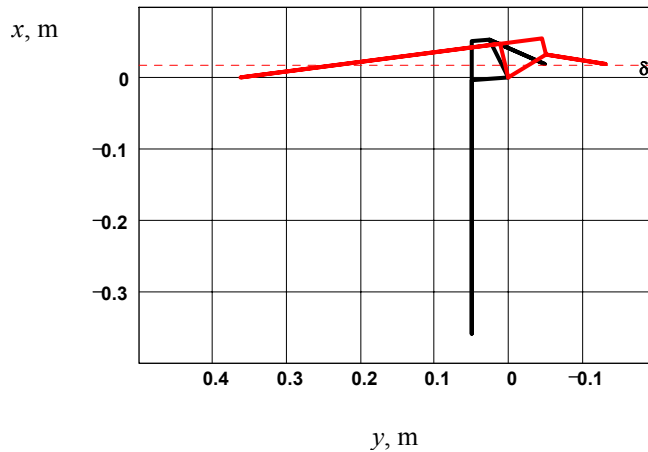
Joonis 8. Nurkkiiruse ω_{AO} sõltuvus ajast t parameetrite $\delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}$ algväärtuste (9) (punktjoon) ja leitud väärtuste (10) (pidev joon) korral

Joonisel 9 on näha lüli OACED asendid ajahetkedel t_0 ja t_1 (t'_0 ja t'_1) parameetrite $\delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}$ algväärtuste (9) korral.



Joonis 9. Lüli OACED asendid ajahetkedel t_0 ja t_1 (t'_0 ja t'_1) parameetrite $\delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}$ algväärtuste (9) korral

Joonisel 10 on näha lüli OACED asendid ajahetkedel t_0 ja t_1 (t'_0 ja t'_1) parameetrite $\delta, \rho_{AO}, \rho_{AB}, \rho_{OE}$ leitud väärtuste (10) korral.



Joonis 10. Lüli OACED asendid ajahetkedel t_0 ja t_1 (t'_0 ja t'_1) parameetrite δ , ρ_{AO} , ρ_{AB} , ρ_{OE} leitud väärtuste (10) korral

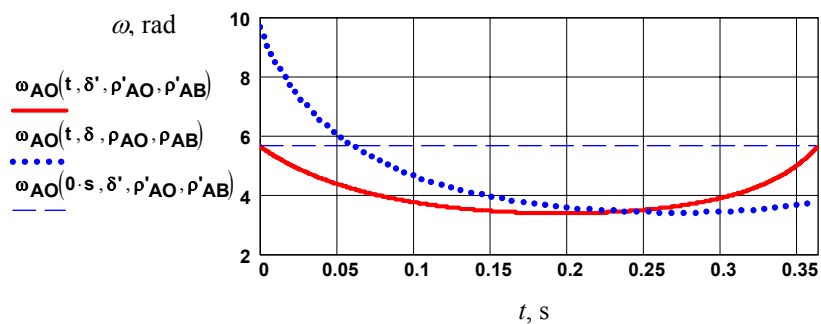
Et süsteemis (7) on 3 võrrandit 4 suuruse leidmiseks, siis selle lahend (10) ei ole ühene. Algväärtuste

$$\delta = 0,0100 \text{ m}, \rho_{AO} = 0,0600 \text{ m}, \rho_{AB} = 0,1000 \text{ m}, \rho_{OE} = 0,0600 \text{ m} \quad (11)$$

korral saame süsteemile (7) järgmise lahendi:

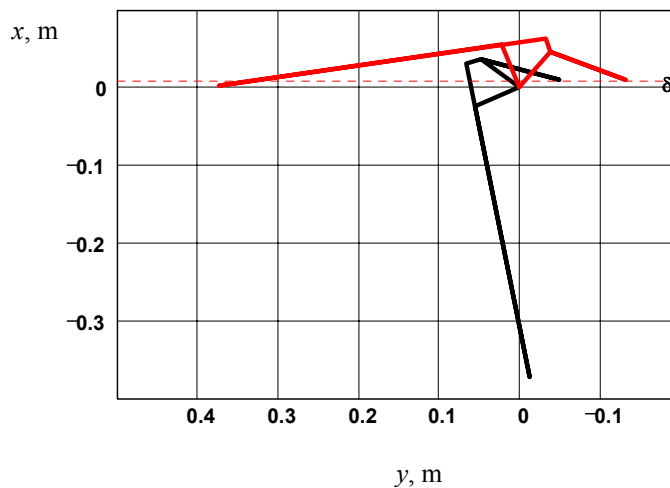
$$\delta' = 0,0101 \text{ m}, \rho'_{AO} = 0,0583 \text{ m}, \rho'_{AB} = 0,0834 \text{ m}, \rho'_{OE} = 0,0479 \text{ m}. \quad (12)$$

Joonisel 11 on näha lüli AO (lüli OACED) nurkkiiruse ω_{AO} sõltuvus ajast t parameetrite δ , ρ_{AO} , ρ_{AB} , ρ_{OE} algväärtuste (11) (punktjoon) ja leitud väärtuste (12) (pidev joon) korral.



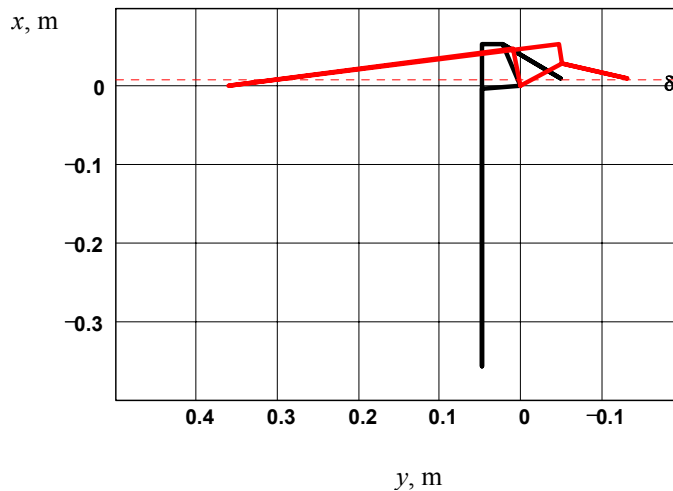
Joonis 11. Nurkkiiruse ω_{AO} sõltuvus ajast t parameetrite δ , ρ_{AO} , ρ_{AB} , ρ_{OE} algväärtuste (11) (punktjoon) ja leitud väärtuste (12) (pidev joon) korral

Joonisel 12 on näha lüli OACED asendid ajahetkedel t_0 ja t_1 (t'_0 ja t'_1) parameetrite δ , ρ_{AO} , ρ_{AB} , ρ_{OE} algväärtuste (11) korral.



Joonis 12. Lüli OACED asendid ajahetkedel t_0 ja t_1 (t'_0 ja t'_1) parameetrite δ , ρ_{AO} , ρ_{AB} , ρ_{OE} algväärtuste (11) korral

Joonisel 13 on näha lüli OACED asendid ajahetkedel t_0 ja t_1 (t'_0 ja t'_1) parameetrite δ , ρ_{AO} , ρ_{AB} , ρ_{OE} leitud väärtuste (12) korral.



Joonis 13. Lüli OACED asendid ajahetkedel t_0 ja t_1 (t'_0 ja t'_1) parameetrite δ , ρ_{AO} , ρ_{AB} , ρ_{OE} leitud väärtuste (12) korral

Parameetrite δ , ρ_{AO} , ρ_{AB} , ρ_{OE} mõnede algväärtuste korral ei ole süsteemil (7) üldse lahendeid. Lüli OACED liikumise ajavahemikus $t_2 \geq t \geq t_2 + t'_2$ saab leida analoogselt Heinloo, Leola, Veinla (2005) poolt esitatuga.

Kokkuvõte

Mitmeparameetrilise sünteisi probleem on lahendatav sõnnikupressuri kraabi manipulaatori korral. Mathcadi töölehel selle probleemi lahendamiseks koostatud programmi saab edaspidi kasutada sõnnikupressurite konstrueerimisel. Antud töö kinnitab kogemust, et masinate loomist tuleks alustada virtuaalse mudeli koostamisest ja selle põhjalikust uurimisest arvuti abil. Alles pärast seda on mõistlik ehitada katseseade ja alustada täpsustavat uurimust eksperimentide abil.

Tänuavaldus

Autorid tänavad sihtasutust "Eesti Teadusfond" toetuse eest (grant nr 6725).

Kasutatud kirjandus

- Heinloo, M., Leola, T., Veinla, V. 2005. Synthesis of the Manipulator for the Scraper of a Press Manure Removal, CIGR Ejournal, vol. VII, 15 pp.
- Leola, T., Veinla, V., Heinloo, M. 2004. Selection of the Constructive Parameters for Working Tool of the Manure Pressurer, Proc. I-st Int. Conf. "Advanced Concepts in Mechanical Engineering", Iasi, p. 16–21.
- Merivirta OY. Somero, 1998. POMO-Harrymatik Köysilannanpoistolaite.
- Pellonpaja OY. Ylihärmä, 1997. PASKERVILLERI 8000. Gjutning-, montering-, användnings- och serviceinstruktoner.
- Pellonpaja OY. Ylihärmä, 1999. PASKERVILLERI 4000. Gjutning-, montering-, användnings- och serviceinstruktoner.
- Schauer Maschinenfabrik Ges.m.b.H. & CoKG. 2001.
- Veinla, V., Leola, T. 2003. The Research of Manure Pressing Equipment. Proc. Int. Conf. "Research for Rural Development", Jelgava, p. 68–71.
- Veinla, V., Leola, T. 2001. The Research of Moving Resistance of the One-Side Scraper and Press Unit. Proc. Int. Conf. "Perspective Sustainable Technological Processes in Agricultural Engineering", Raudondvaris, p. 187–192.