

# LAUSKULTIVAATORI S-PII SIIRETE, LÕIKENURGA JA MAKSIMAALSE PINGEINTENSIIVSUSE SÕLTUVUS KOORMUSEST

M. Heinloo, M. Külasalu

Viil (1995) on eksperimentaalselt kindlaks teinud lauskultivaatori 22 erinevas firmas valmistatud piide sobivuse Eesti muldadel. Põllul läbiviidud eksperiment on aga kallis ja võtab palju aega. Nüüdisaegne arvutitarkvara võimaldab korraldada arvutiekspimente reaalse objekti mudeliga. Seejuures on selline eksperiment mitu korda tõelisest eksperimentist odavam. Pärast arvutiekspimentide korraldamist on otstarbekas teha veel mõned tõelised eksperimentid, et kontrollida reaalse objekti ja selle mudeli vastavust.

Käesolevas töös on vaatluse all arvutiekspimentid lauskultivaatori taani tüüpi S-pii lõplike elementide mudeliga, kasutades USA firma ANSYS Inc. arvutipaketti ANSYS 5.0A. Selle mudeli abil selgitatakse välja pii siirete, lõikenurga ja maksimaalse pingetensiivsuse sõltuvus sellele töö- ja külgsihis rakendatud jõu suuruselt pii mitmesuguse laiuse, paksuse ja kuju määravate parameetrite väärtuste korral. Uurimistulemusi saab kasutada lauskultivaatori taani tüüpi S-piide valmistamisel.

## 1. Lõplike elementide meetodi idee

Lauskultivaatori S-piidi vaatluse kui elastset paksu riba. Lõplike elementide meetodi idee riba korral seisneb üldjoontes järgnevas.

1. Riba lähendatakse risttahukatega, mida nimetataksegi lõplikeks elementideks (LE) (ANSYS 5.0A ekraanipiltides on koorikute LE-d kahemõõtmelised).

2. Eeldatakse, et LE-d avaldavad üksteisele mõju üksnes sõlmede kaudu. (Koorikute LE sõlmed on otsmiste tahkude keskjoonte lõikepunktides ja mõnikord lisaks ka nende keskjoonte keskpunktides).

3. LE sõlmedesse rakendatakse jõud, mis tasakaalustavad pinged elemendi tahkudel.

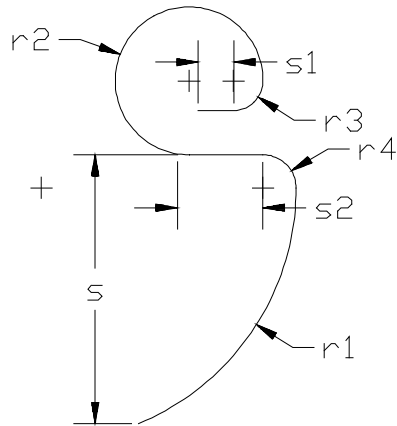
4. Tundmatuteks suurusteks loetakse sõlmede siirded, mis omakorda peavad olema seotud sõlmedes mõjuvate jõududega.

5. Valitakse funktsioonide süsteem, mis määrab üheselt siirded vaadeldava LE piirides sõltuvalt sõlmede siiretest.

6. Teades siirdeid LE-s, saab leida pinged ja deformatsioonid.

## 2. Lauskultivaatori S-pii geometria

Käesolevas töös on lauskultivaatori S-pii kuju konstrueeritud autorite poolt kataloogi (Spare..., 1990) näidiste alusel. Joonisel 1 on näidatud selle kuju ja mõõtmeid määravad parameetrid, mille arvulised väärtused (meetrites) on toodud tabelis 1, kus on näidatud ka S-pii laius  $d$  ja tööosa paksus  $h$ . Joonisel 2 näidatud sõlmeosa piirkondades A10...A13 on S-pii paksuseks  $H$  kõikide variantide korral võetud  $H = 0,012$  m.



**Joonis 1.** S-pii kuju ja mõõtmeid määravad parameetrid  
**Figure 1.** Geometrical shape and parameters of s-tine

**Tabel 1.** Uuritavate S-pii variantide geomeetriliste parameetrite tabel / The geometrical parameters of s-tines variants

	r1	r2	r3	r4	s	s1	s2	h	d
1.	0,431	0,125	0,050	0,056	0,454	0,060	0,125	0,010	0,032
2.	0,431	0,125	0,050	0,056	0,454	0,060	0,125	0,010	0,045
3.	0,431	0,125	0,050	0,056	0,454	0,060	0,125	0,011	0,032
4.	0,431	0,125	0,050	0,056	0,454	0,060	0,125	0,012	0,032
5.	0,354	0,125	0,050	0,042	0,370	0,060	0,125	0,010	0,032
6.	0,278	0,125	0,050	0,028	0,285	0,060	0,125	0,010	0,032
7.	0,202	0,125	0,050	0,014	0,201	0,060	0,125	0,010	0,032
8.	0,400	0,094	0,038	0,056	0,425	0,041	0,094	0,010	0,032
9.	0,368	0,063	0,025	0,056	0,396	0,023	0,063	0,010	0,032
10.	0,337	0,031	0,013	0,056	0,368	0,004	0,031	0,010	0,032

**Joonis 2.** S-pii sõlmeosa piirkonnad  
**Figure 2.** The s-tines knot part regions

Tabelis 1 toodud variantidele vastavad S-piide kujud on järgmised:

variandid 1...4,

variant 5,

variant 6,

variant 7,

variant 8,

variant 9,

variant 10.

### 3. Katsetatava mudeli ja katsete kirjeldus

Katsetatav mudel koosneb nelikanttoru ja selle külge kinnitatud S-pii lõplike elementide mudelist (joon. 3). Nelikanttoru mudel on otstest jäigalt kinnitatud.

S-pii mudelit koormatakse alumisest otsast kahte äärmisesse sõlme töösihis (a) või külgsihis (b) rakendatud võrdse jõuga, mille peavektori moodul on  $F = 100, 200, \dots, 1000$  N nagu see oli Viili (1995) katses. Iga variandi ja koormuse väärtuse korral käivitati autorite poolt koostatud ANSYS 5.0A programm, mis arvutas S-pii töösihilise siirde, vertikaalse siirde, pingeintensiivsuse ja lõikenurga. Seejuures oli kõikides arvutustes elastsusmooduli  $E$  ja Poissoni koefitsiendi  $\nu$  väärtuseks võetud  $E = 200$  GPa ja  $\nu = 0,3$ . Kõik katsetes saadud tulemused fikseeriti. Joonisel 3 nähtav töö- (a) ja külgsihiline (b) siire vastab variandile 1 parameetri  $F$  väärtusel  $F = 600$  N.

**Joonis 3. S-pii siire ja koormus****Figure 3. The displacement and load**

S-pii pingelolukorra hindamiseks kasutati pingetensiivsust, mis määrati seosega [3]:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}.$$

Siin  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  leitakse kuupvõrrandist

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \sigma_{xy} & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = 0,$$

kus  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yz}$  on pingekomponendid kooriku elemendi koordinaatsüsteemis. Kui soovitakse, et konstruktsioonis ei tekiks plastseid deformatsioone, siis peab pingetensiivsus olema alla konstruktsioonimaterjali voolavuspiiri. Joonisel 4 on näidatud pingetensiivsuse  $\sigma_i$  (Pa) jaotus S-piis töösihilise ja joonisel 5 külgsihilise koormuse korral, kui  $F = 600$  N.

Arvutiekspriimendi tulemused on tähistatud joonistel 6...11 mitmesuguste märkidega. Nendel joonistel kasutatakse järgmisi tähistusi: uY – koormuse rakendussõlmede töösihilise siire samasihilise koormuse korral (joon. 6); uX – koormuse rakendussõlmede vertikaalsihiline siire töösihilise koormuse korral (joon. 7); uZ – koormuse rakendussõlmede külgsiire samasihilise koormuse korral (joon. 10); mI = max  $\sigma_i$ , – maksimaalne pingetensiivsus töösihilise koormuse korral (joon. 8); mI1 = max  $\sigma_i$  – maksimaalne pingetensiivsus külgsihilise koormuse korral (joon. 11) (maksimum on võetud üle kogu katseseadme mudeli); ln – pii lõikenurk koormuse rakendussõlmedes töösihilise koormuse korral (joon. 9). Kõikidel suurustel esimene indeks tähistab varianti ja teine indeks katse numbrit esimese indeksiga tähistatud variandis. Joonistele 10 ja 11 on iga variandi korral kantud vaid kaks katsel saadud väärtust, sest vastavad sõltuvused osutusid lineaarseteks.

#### 4. Järeldusi saadud katseandmetest

Jooniselt 8 on näha, et koormuste vaadeldavas piirkonnas on võimalik säilitada S-pii elastsed deformatsioonid, sest parimate vedruteraste voolavuspiir on kuni 1,6 GPa. Märgime veel, et joonist 8 saab kasutada S-pii materjali valikuks. Valides näiteks konkreetse kujuga S-pii materjali voolavuspiiriks joonisel 8 näidatud sõltuvuste alusel maksimaalse pingetensiivsuse väärtuse  $F = 1000$  N korral, kindlustame selle S-pii elastsed deformatsioonid kõigi vaadeldud koormuste korral.

Joonistelt 6...11 järeldub, et tõeliste eksperimentide andmete töötlemisel on otstarbekas vaadeldavate suuruste vaheliste seoste leidmiseks S-pii külgsihilise koormamise korral kasutada lineaarset regressiooni ja töösihilisel koormamisel parabolset regressiooni.

Joonistelt 4, 5, 8, 11 selgub, et külgsihiline koormus on tugevuse seisukohalt S-piile vähem ohtlik kui töösihiline koormus. Joonistelt 6, 7 ja 10 näeme, et ühesuguste külj- ja töösihiliste koormuste suuruste korral S-pii siirded rahuldavad võrratusi  $u_X < u_Z < u_Y$ .

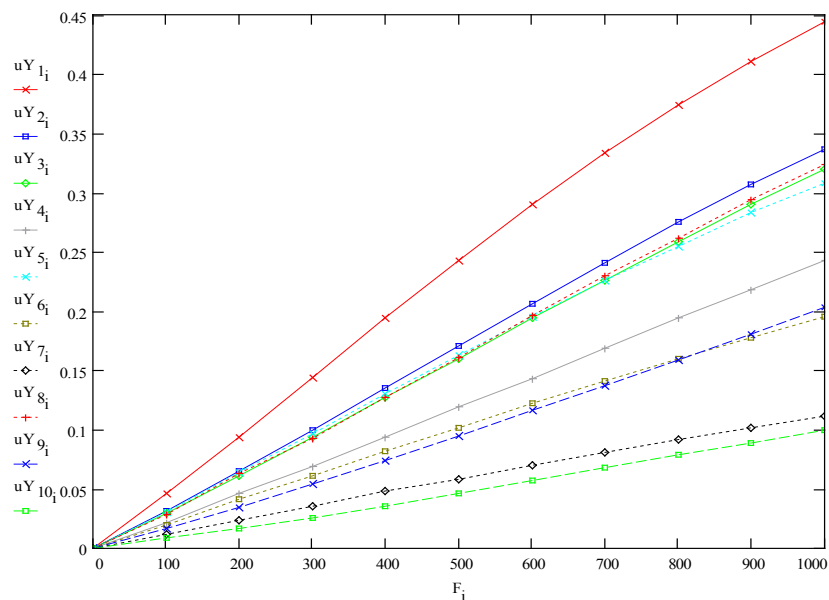
Huvitav tulemus selgub jooniselt 7. Nimelt S-pii mõnede variantide korral töösihilise koormuse suurendamisel pii töösügavus algul suureneb ja siis hakkab kahanema.

S-pii paksuse muutmisega on võimalik ühtlustada pingetensiivsuse jaotust. Et antud töös on S-pii paksuseks sõlmeosas võetud 0,012 m (joon. 2), siis pingetensiivsus saavutab maksimaalse väärtuse kahes piirkonnas (joon. 4, 5). Põhimõtteliselt on võimalik leida S-piile paksuse selline jaotus, et antud koormuse korral oleks pingetensiivsus kogu piis ühtlaselt jaotunud.

**Joonis 4.** Pingetensiivsuse  $\sigma_i$  jaotus S-piis töösihilise koormuse korral

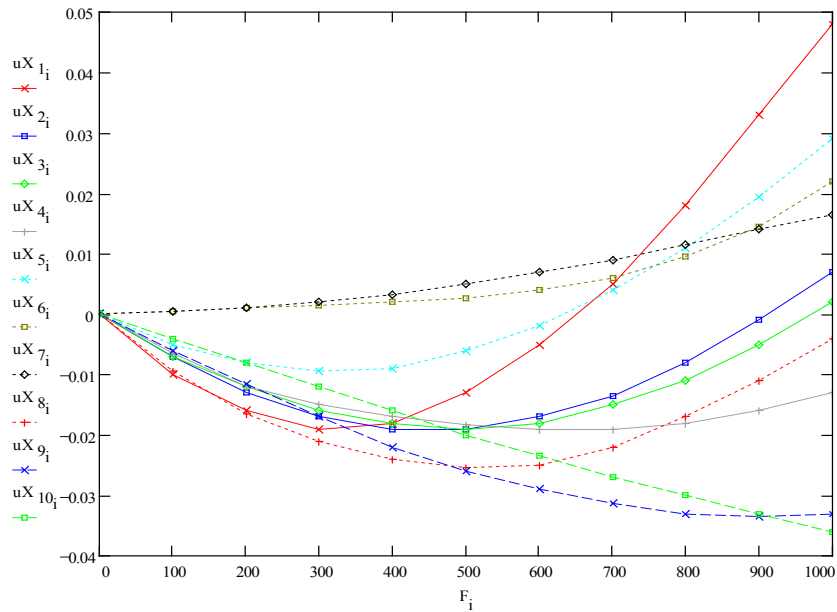
**Figure 4.** The distribution of equivalent stress under load in the direction of travel

**Joonis 5.** Pingeintensiivsuse  $\sigma_i$  jaotus S-piis külgsihilise koormuse korral  
**Figure 5.** The distribution of equivalent stress under lateral load



**Joonis 6.** Lauskultivaatori S-pii töösihilise siirde  $uY$  (m) sõltuvus töösihilisest jõust  $F$  (N) ja geomeetristest parameetritest

**Figure 6.** The dependence of displacement  $uY$  (m) in direction of travel of seedbed cultivator s-tine from the geometry and force  $F$  (N) in the same direction

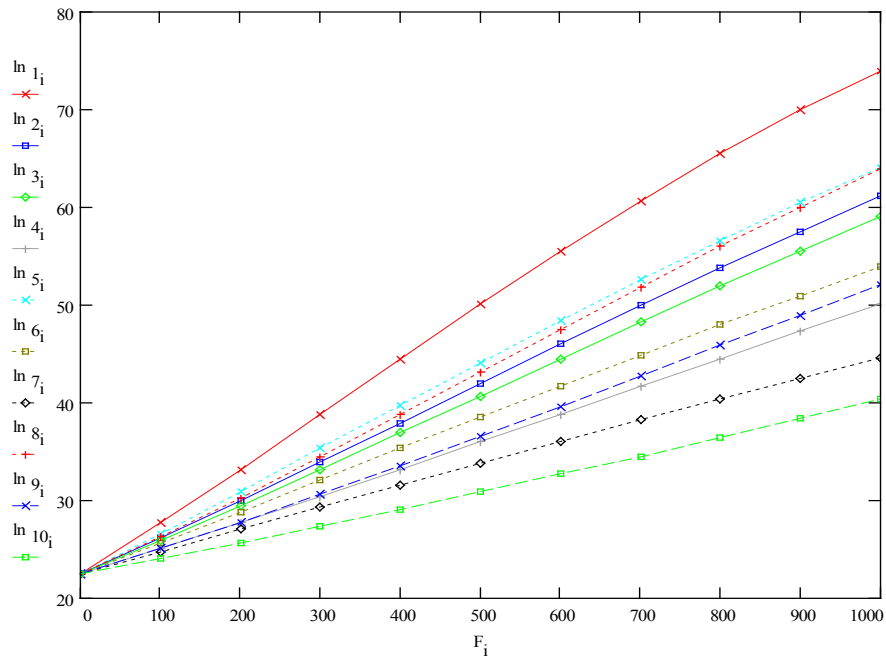


**Joonis 7.** Lauskultivaatori S-pii vertikaalse siirde  $uX$  (m) sõltuvus töösihilisest jõust  $F$  (N) ja geomeetristest parameetritest

**Figure 7.** The dependence of vertical displacement  $uX$  (m) of seedbed cultivator s-tine from the geometry and force  $F$  (N) in the same direction

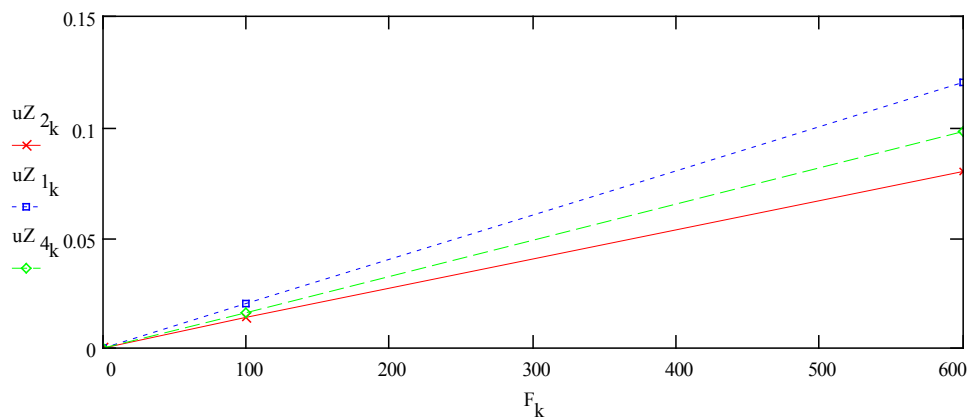
**Joonis 8.** Lauskultivaatori S-pii maksimaalse pingeniivsuse  $mI$  (GPa) sõltuvus töösihilisest jõust  $F$  (N) ja geomeetristest parameetritest

**Figure 8.** The dependence of maximum equivalent stress  $mI$  (Gpa) of seedbed cultivator s-tine from the geometry and force  $F$  (N) in the direction of travel



**Joonis 9.** Lauskultivaatori S-pii lõikenurga  $\ln$  (kraadides) sõltuvus töösihilisest jõust  $F$  (N) ja geomeetristest parameetritest

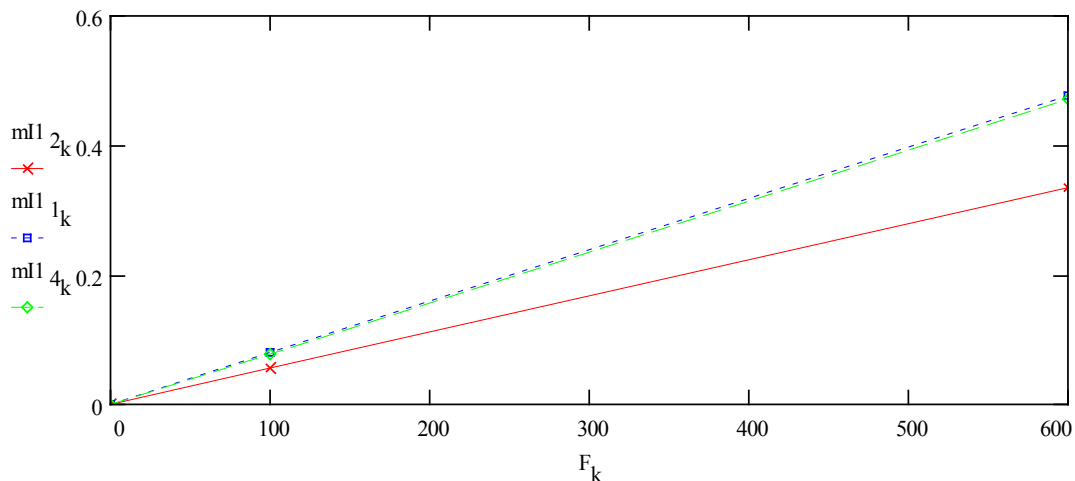
**Figure 9.** The dependence of penetrating angle  $\ln$  (degree) of seedbed cultivator s-tine from the geometry and force  $F$  (N) in the direction of travel



**Joonis 10.** Lauskultivaatori S-pii külgsiirde  $uZ$  (m) sõltuvus külgsihilisest jõust  $F$  ja geomeetristest parameetritest

**Figure 10.** The dependence of lateral displacement of seedbed cultivator s-tine from the geometry and lateral force  $F$  (N)





**Joonis 11.** Lauskultivaatori S-pii maksimaalse pingeintensiivsuse  $mI$  (Pa) sõltuvus külgsihilisest jõust  $F$  (N) ja geomeetristest parameetritest

**Figure 11.** The dependence of maximum equivalent stress of seedbed cultivator s-tine from the geometry and lateral force  $F$  (N)

## 5. Uuritud S-piide sobivus Eesti muldadele

Eesti mullastik on otstarbekas jaotada S-pii veotakistuse seisukohalt tinglikult kolme klassi: kerge (pii veotakistus 50...200 N), keskmise (200...400 N) ja raske (400...700 N) lõimisega mullad (Viil, 1995).

S-pii valikul kultivaatorile tuleb lähtuda järgmistest põhimõtetest:

- mida raskema lõimisega on muld, seda suurem peab olema S-pii jäikus;
- kiviste muldade töötlemisel peab pii olema võimalikult elastne, et ületada takistusi purunemata;
- mida väiksem on pii lõikenurk tööprotsessis, seda intensiivsemalt toimub mullakihtide segamine ning seda parem on pii mulda tungimine;
- kergete põuakartlike muldade harimisel pole soovitatav mulda palju segada, kuna see kutsub esile intensiivset aurumist ja kultuurtaim võib hukkuda, mistõttu liivmuldade korral on otstarbekas kasutada piisid, millel on tööprotsessis suur lõikenurk;
- raske lõimisega muldade korral on oluline pii kiire mulda tungimine ja külvikihi õhutamise, seetõttu nende muldade korral peaks kasutama piisid, mille lõikenurk tööprotsessis on väike;
- S-pii vertikaalne võnkumine tagab mullakihtide parema segamise ja umbrohtude hävitamise ning vähendab selle veotakistust.

Toodud tingimusi arvestades on katseandmete põhjal võimalik anda hinnang igale vaadeldud piile. Järeldused on esitatud tabelis 2.

*Tabel 2. Uuritud S-piide variantide sobivus Eesti muldadele / Suitness of some variants of s-tines for Estonian soils*

Var. nr.	Mulla iseloom Soil quality				Pii püsivus mullas Steadiness of tines in soil	Lõikenurga muutus Soil penetraty angle	Maksimaalne pinge- intensiivsus koormuse 1000 N korral Maximum equivalent stress under land of 1000 N (GPa)
	kerge light	keskmised medium	rasked heavy	kivised stony			
1.	+	–	–	+	H/B	S/G	0,95
2.	+	+	–	+	K/M	S/G	0,72
3.	+	+	–	+	K/M	S/G	1,03
4.	–	+	–	+	K/M	V/S	1,06
5.	+	+	–	+	H/B	S/G	0,79
6.	–	–	+	–	H/G	V/S	0,78
7.	–	–	+	+	K/M	V/S	0,89
8.	+	+	–	+	K/M	S/G	0,92
9.	–	+	+	–	H/G	K/M	0,56
10.	–	+	+	+	H/B	K/M	0,66

+ sobiv/suitable, – sobimatu/unsuitable, H/B - halb/bad, K/M - keskmine/mediocre, H/G - hea/good, V/S - väike/small, S/G - suur/great

## Kirjandus

Viil, E. Lauskultivaatori S-piide sobivus erineva lõimisega muldade harimiseks. – Eesti Põllumajanduse Mehhaniseerimise Instituudi teadustööde kogumik I. – Saku, lk. 30... 43, 1995.  
Spare parts for soil cultivation. – P.D. Rassepe Söhne GmbH & CO KG. – 1990. – 16 p.

## DESIGN OF SEEDBED CULTIVATOR TINE DISPLACEMENTS, SOIL PENETRATING ANGLE AND MAXIMUM EQUIVALENT STRESS UNDER APPLIED LOAD

M. Heinloo, M. Külasalu

### Summary

The natural experiments are expensive and time consuming. The modern computer software and hardware allow to make experiments with models of real objects, which are more cheap than natural experiments.

The finite element model of cultivator s-tine fixed to square pipe is built up in this work (Fig. 3). For this purpose the US firm ANSYS computer system ANSYS 5.0A is used. By use of this model the displacements, soil penetrating angle and maximum equivalent stress are calculated for ten different tines (Fig. 1, Table 1), in dependence of load applied on the end

of tine (Fig. 3). For redistribution of the equivalent stress the thickness of the tine is taken  $H = 0.012$  m. in the tine knot regions A10...A13 (Fig. 2).

The results of computer experiments are presented on the figs. 4...11. The fig. 8 can be used for determination on the yield stress of tines material. From figs. 6...11 one can consequent that for determination of dependences between designing parameters on the base of natural experiments data the regressive line and parabola must be used. Figs. 4, 5, 8, 11 show that the bending in direction of travel is more dangerous than the lateral bending under the same value of load. The fig. 7 shows interesting fact, that for some tines the working depth at first increases and then decreases in the process of increasing of load. Finally the suitability of s-tines for Estonian soils are also analysed. The results of this analysis are in the table 2.

## ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ, РЕЖУЩЕГО УГЛА И МАКСИМАЛЬНОГО ЭКВИВАЛЕНТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРУЖИННЫХ СТОЕК КУЛЬТИВАТОРА ОТ ПРИЛОЖЕННОЙ СИЛОВОЙ НАГРУЗКИ

М. Хейнлоо, М. Кюласалу

### Резюме

Рассматриваются результаты компьютерных экспериментов с моделями конечных элементов пружинных стоек различных конфигураций для культиватора сплошной обработки почвы. Установлена зависимость перемещений, режущего угла и максимального эквивалентного напряжения пружинных стоек от величины приложенной силовой нагрузки. Даются рекомендации по использованию исследованных конфигураций пружинных стоек при обработке земли.