

ARVJUHTIMISEGA TÖÖPINKIDE PROGRAMMEERIMISE ISEÄRASUSED NÜÜDISAEGSETES PÕLLUMAJANDUSLIKES MASINAEHITUSETTEVÖTETES

K. Tamul, J. Olt

Eesti Maaülikool

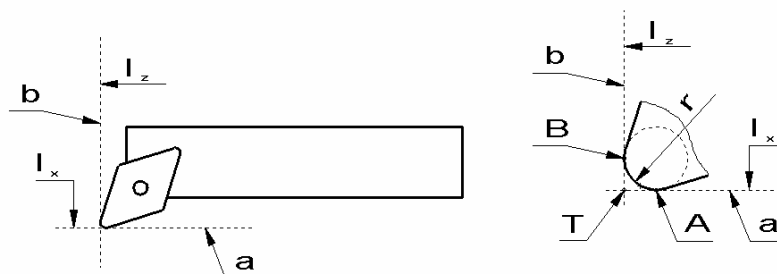
Sissejuhatus

Arvjuhtimisega tööpingipargiga põllumajanduslikes masinaehitusettevõtetes on nii tehnoloogiliselt kui ka majanduslikult otstarbekas jaotada erineva keerukusastmega töötlusoperatsioonid vastavalt pinkide võimekusele. Arvjuhtimisega pinkide puhul võib võimekuse all mõista eelkõige nende programmeeritavuse lihtsust ja nendega tehtavate erinevate töötlusliikide arvu. Pinkide võimekuse erinevus tuleb kõige paremini esile võrreldes NC- ja CNC-juhtimisega¹ treipinke.

Programmeerimise seisukohast loetakse keerukaks sellist pinnageomeetriat, mis koosneb omavahel kombineeritud nurga all asetsevatest sirgetest (kalded, faasid), ringikaartest või muudest kõrgemat järku joontest (ellips, parabool). Seevastu lihtsaks loetakse pinnageomeetriat, mis koosneb peaaesjalikult sirgestest (ka nurga all). Keeruka pinnageomeetria programmeerimise võimalused on NC-treipinkide puhul palju piiratumad ja keerukamad (Устройства..., 1982) kui CNC-juhtimise (Siemens Sinumerik, 2000) puhul. Kaasaegsed CNC-juhtimisega treipingid on varustatud käitatavate instrumentidega, mille abil on võimalik nii puurida kui ka freesida. NC-juhtimisega pinkidel aga käitatavad instrumendid puuduvad.

Sõltuvalt pinnageomeetria keerukusest ja pingi tehnoloogilistest võimalustest jaotatakse ühe detaili erinevad töötlusoperatsioonid NC- ja CNC-juhtimisega treipinkide vahel järgmiselt – keerukas pinnageomeetria töödeldakse CNC-juhtimisega pingis, lihtsam NC-pingis. Sellise tööjaotuse põhiliseks eeliseks on võimekama pingi ressursi maksimaalne kasutamine. Selle aja jooksul kui NC-juhtimisega pink töötleb lihtsat pinnageomeetriat, saab rakendada CNC-juhtimisega pinki juba järgmise keeruka detaili töötlemiseks.

NC-juhtimisega treipinkide programmeeritavuse keerukus tuleneb nii antud juhtimissüsteemi piiratud matemaatilistest võimalustest kui ka instrumentide põhimõõtude määramise raskusest ja omakorda nende abil programmeerimise keerukusest. Instrumendi põhimõõtude (joonis 1) määramine ei toimu mitte standardsete mõõteriistade (mõõtemikroskoop, kõrgusnihik) abil, vaid proovidetaililt õhukeste laastude eraldamise ning täiendavate arvutuste teel.



Joonis 1. Treitera põhimõõdud: A, B – lõikeplaadi tipu ümarusraadiuse puutepunktid, T – treitera tipp, a – pingi Z-teljega paralleelne sirge, b – pingi X-teljega paralleelne sirge, r – teriku tipu ümarusraadius, I_x – treitera X-telje suunaline pikkus, I_z – treitera Z-telje suunaline pikkus

Joonisel 1 on kujutatud kõige levinuma kujuga sisetreitera (sks *Bohrstange* – puurvarras), mis koosneb terakehast DPDH 132R ja sellele kinnitatud terikust DNMG 150612-MH (Mitsubishi Gesamtkatalog, 2004–2005). Joonisel on horisontaalne sirge, tähistusega a, paralleelne pingi Z-teljega; vertikaalne sirge, tähistusega b, paralleelne X-teljega. I_x -ga on tähistatud treitera X-telje suunalist mõõtu ja I_z -ga treitera Z-telje suunalist mõõtu. Suurused I_x ja I_z leitaksegi proovidetaililt laastude eraldamise teel. Sirgete a ja b lõikepunkti T nimetatakse treitera tipuks ehk punktiks, mille järgi nihutatakse instrumenti töötlusprotsessi käigus. Jooniselt 1 selgub, et treitera tipp T ei asetse teriku tegelikul serval, ringikaarel otspunktidega A ja B, vaid sellest teatud kaugusel, terikust (treiterast) väljaspool. Punkti T sellise asukoha tõttu on ilma CAD programmiga abijoonist koostamata suhteliselt keerukas ka lihtsa pinnageomeetria töötlust programmeerida.

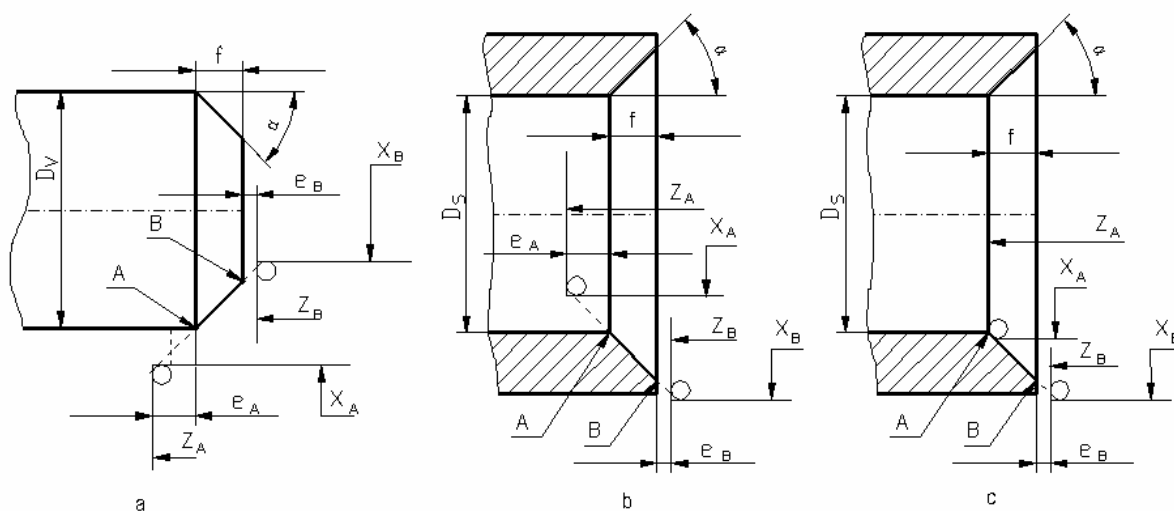
Võtmesõnad: lõiketöötlus, faas, koonus, instrumendi põhimõõdud, ümarusraadius, matemaatiline mudel.

¹ Lühendid NC ja CNC tulevad inglise keelest ja tähendavad vastavalt numbrilist juhtimist ja arvuti vahendusel numbrilist juhtimist. CNC-juhtimine võimaldab kasutada erinevaid programmeerimiskeeli (Siemens Sinumerik, Fanuc).

Objekti kirjeldus

Lihtsa pinnageomeetria töötuse programmeerimiseks vajalike iseloomulike punktide koordinaatide leidmiseks on kasulik koostada arvutusi võimaldavate programmide abil (Mathcad, Excel) vastavad matemaatilised mudelid. Matemaatiliste mudelite põhiliseks eeliseks CAD-programmiga koostatud jooniste ees on nende paindlikkus. Kui detaili mõõdud muutuvad, tuleb iga kord koostada ka uus joonis – matemaatiliste mudelite puhul tuleb muuta ainult algandmeid. Mudelite ülesehitusele esitatavaks põhinõudeks on kohustuslike algandmete vähesus – lõpptulemuse saavutamiseks vajalikud algandmed peavad olema ainult detaili joonisel näidatud. Algandmete määramiseks ei pea eelnevaid arvutusi tegema.

Näitena võib tuua faaside ja igasuguste koonuste töötuseks vajalike koordinaatide arvutamiseks MS Exceli baasil koostatud matemaatilise mudeli. Programmiks valiti MS Excel, sest see kuulub igasse MS Office'i programmipaketti, mis on enamikul tööstusettevõtetest olemas. Ka saab MS Exceli faile ilma moonutusteta avada näiteks vabavara Open Office Calc programmis (Exceli analoog). Antud mudeli puhul on kasutatud Exceli tavaarvutusvalemeid (Mägi, 1994), mis põhinevad lahtritega tehtavatel algebralistel tehetel. Algandmetena kasutatakse joonisel määratavaid suurusi nagu faasi mõõt (faasi pikkus f ja faasi nurk horisontaaliga α°) ja sõltuvalt faasi või kalde asukohast kas völikujulise detaili välisläbimõõt D_V või torukujulise detaili siseläbimõõt D_S , treiterade kataloogist määratav teriku ümarusraadius r ning tehnoloogiliselt määratavad eemalduskaugused e_A ja e_B . Kirjeldatav matemaatiline mudel võimaldab arvutada völikujulise detaili otsa faasi (edaspidi välisfaasi), torukujulise detaili sisefaasi (edaspidi toru sisefaas) ja umbava põhjani ulatuva sisefaasi (edaspidi umbava faas) töötlemiseks vajalikke koordinaate (joonis 2).

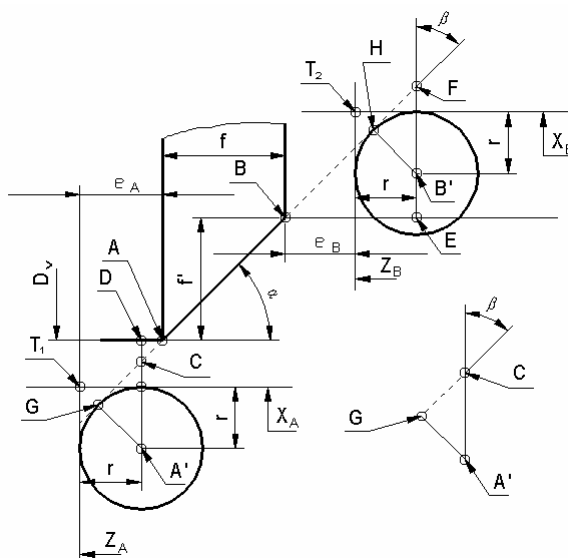


Joonis 2. Arvutatavad faasid: a – välisfaas, b – toru sisefaas, c – umbava faas, A, B – faasi otspunktid, f – faasi pikkus, α – faasi kaldenurk, X_A , Z_A – punkti T_1 koordinaadid, X_B , Z_B – punkti T_2 koordinaadid, D_V – völli välisläbimõõt, D_S – toru siseläbimõõt, e_A , e_B – eemalduskaugused punktides A ja B

Välisfaas

Tehnoloogiliselt on vajalik, et ettenihkeliikumine algaks ja lõpeks detailist teatud kaugusel (Poluhhin jt, 1969). Selle saavutamiseks on algandmete hulgas defineeritud suurused e_A ja e_B , mida võib nimetada faasi otspunktidest (punktid A ja B) eemalduskaugusteks. Arvestades treitera tipu asendit teriku serva suhtes ja suurusi e_A ning e_B , leitakse käesoleva matemaatilise mudeli abil faasi töötuseks vajalikud treitera tipu T koordinaadid punktides T_1 ja T_2 . Treitera tipu T koordinaadid on punktis T_1 X_A ja Z_A ning punktis T_2 X_B ja Z_B (joonis 3).

Koostatud mudeli töö lähteandmeteks on pingi Z-telje suunalised mõõdud, mille järgi leitakse punktide T_1 ja T_2 X- ja Z-koordinaadid. Treitera ei ole otstarbekas täielikult kujutada, sest arvutuste jaoks on vajalik teada ainult selle otsa ümarusraadiuse positsiooni ja numbrilist suurust. Sellepärast kujutatakse nii tehnoloogilistel joonistel kui ka käesolevas artiklis treitera ainult selle tipu ümarusraadiusega võrdse raadiusega ringjoonena. Faas ja selle mõtteline pikendus on ümarusraadiusele puutuja. Põhimõtteliselt on punkti T_1 X-koordinaadi leidmine seda punkti läbiva horisontaalse sirge ja detaili serva vahelise kauguse määramine. Jooniselt 3 on näha, et punkti T_1 läbiv sirge on ka ümarusraadiusele puutuja. Selle kauguse määramiseks tuleks leida ümarusraadiuse puutuja ja punkti C vahelise lõigu pikkus, mis osutuks käesoleva mudeli algandmetele tuginedes matemaatiliselt keerukaks ülesandeks. Konstrueerida tuleks mitu täisnurkset kolmnurka, mis muudaks mudeli aga liialt keerukaks (elementiderohkeks).



Joonis 3. Välisfaas: A, B – faasi otspunktid, A', B' – ümarusraadiuse keskpunktid, C, D, E, F, G – iseloomulike lõikude otspunktid, f – faasi pikkus, f' – faasi kõrgus, r – teriku ümarusraadius, α – faasi kaldenurk, β – iseloomulik nurk, T_1 , T_2 – treitera tipp vastavalt punktis A ja B, X_A , Z_A – punkti T_1 koordinaadid, X_B , Z_B – punkti T_2 koordinaadid, D_v – võlli välisläbimõõt, e_A , e_B – eemalduskaugused punktides A ja B

Põhimõtteliselt samasugused matemaatilised probleemid tuleks lahendada ka punkti T_2 X-koordinaadi määramisel. Sellepärast leitakse nii punkti T_1 kui ka punkti T_2 X-koordinaat kaudsel teel, mis võib esmapilgul tunduda keerukana. Punktide T_1 ja T_2 koordinaatide arvutamise algoritmides kasutatud suurused on kõik puhtgeomeetrisel laadi ning nende tähendus selgub jooniselt 3. Valemid on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Välisfaasi iseloomulike punktide koordinaatide arvutusvalemid

Punkt T_1	Valemi nr	Punkt T_2	Valemi nr
$\beta = \frac{\pi}{2} - \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180^\circ} \right)$	1	$\overline{BE} = e_B + r$	8
$\overline{A'C} = \frac{\overline{A'G}}{\sin \beta}$	2	$\overline{EF} = \overline{BE} \cdot \tan \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180^\circ} \right)$	9
$\overline{AD} = e_A + r$	3	$\overline{B'F} = \frac{\overline{B'H}}{\sin \beta}$	10
$\overline{CD} = \overline{AD} \cdot \tan \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180^\circ} \right)$	4	$\overline{B'E} = \overline{EF} - \overline{B'F}$	11
$\overline{A'D} = \overline{CD} + \overline{A'C}$	5	$f' = f \cdot \tan \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180^\circ} \right)$	12
$X_A = D_v + (\overline{A'D} - r) \cdot 2$	6	$X_B = D_v - (f' + \overline{B'E} + r) \cdot 2$	13
$Z_A = (f + \overline{AD} + r) \cdot (-1)$	7	$Z_B = e_B$	14

Punkti T_1 X- ja Z-koordinaadid leitakse vastavalt valemitega 6 ja 7. Valemis 6 kirjeldab sulgudes olev tehe instrumendi tegeliku serva kaugust detailist. Sulg on korrutatud kahega, sest arvjuhtimisega treipinkide puhul on võimalik detaili läbimõõdu suunalisi ehk X-koordinaate määrata kas raadiuse või läbimõõdu järgi. Programmi kirjutatakse X-koordinaadi arväärtuseks kas raadiuse või diameetriga võrdne arv. Enamasti kasutatakse detaili läbimõõdu järgi programmeerimist, sest siis saab kasutada joonisel näidatud suurusi ning ei ole vaja teha lisaarvutusi.

Valemis 7 on sulg korrutatud -1 -ga, sest detaili koordinaadistiku nullpunkt paigutatakse tavaliselt nii, et kõikide materjalipoolsete punktide Z-telje suunalised koordinaadid oleksid negatiivsed. Kõikide Z-telje suunaliste abiliikumiste ja materjalist eemaldumiste jaoks vajalike punktide koordinaadid on sellise nullpunkti paigutuse tõttu aga positiivsed. Erimärgiliste Z-koordinaatide kasutamine muudab programmid ülevaatlikumaks (Siemens Sinumerik, 2000).

Punkti T_2 X- ja Z-koordinaadid leitakse vastavalt valemitega 13 ja 14. Ka selle punkti X-koordinaadi arvvaartus programmeeritakse läbimõõdu järgi (valem 13). Punkti T_2 Z-koordinaat on võrreldes punktiga T_1 positiivne, sest see asub detaili lauppinnast väljaspool (valem 14).

Sisefaasid

Nii toru sisefaasi (joonis 2, b) kui ka umbava faasi (joonis 2, c) puhul toimub materjalist väljas asuva punkti T_2 X- ja Y-koordinaatide määramine põhimõtteliselt samade valemite alusel (valemid 8 kuni 12 ja 14) nagu välisfaasi samanimelise punkti puhul. Võttes aluseks välisfaasi arvutuseks kasutatud valemite numeratsiooni seisneb ainuke erinevus valemis 14 ehk punkti T_2 X-koordinaadi arvutusvalemis. Mõlema sisefaasi punkti T_2 X-koordinaadi arvutusvalem on järgmine

$$X_B = D_s + (f' + \overline{B'E} + r) \cdot 2 \quad (15)$$

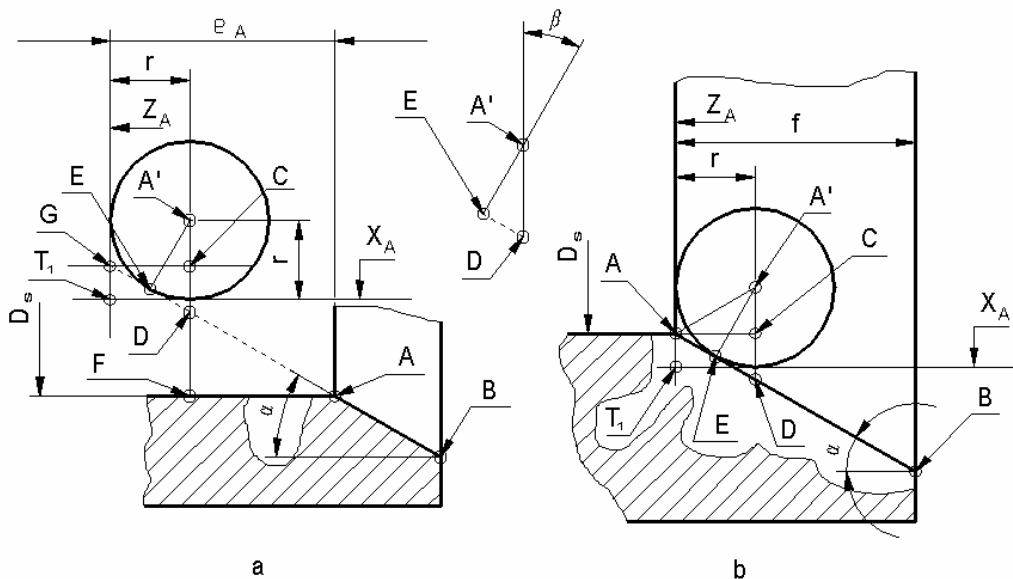
Valemite 14 ja 15 erinevus seisneb faasi kõrgusest f' , eemalduskaugusest e_B ja teriku ümarusraadiusest r sõltuva suuruse kahega korrutamises ja toru siseläbimõõdule D_s liitmises. Välisfaasi puhul lahutatakse see suurus detaili välisläbimõõdust D_v .

Nii umbava faasi kui ka toru sisefaasi punkti T_2 koordinaatide arvutusvalemid kattuvad täielikult, seepärast on tabelis 2 esitatud ainult punkti T_1 valemid.

Tabel 2. Punkti T_1 koordinaatide arvutusvalemid

Umbava faas	Valemi nr	Toru sisefaas	Valemi nr
$\overline{A'D} = \frac{\overline{A'E}}{\sin \beta}$	16	$\overline{DF} = (e_A - r) \cdot \tan \alpha$	21
$\overline{DC} = \overline{AC} \cdot \tan\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180^\circ}\right)$	17	$X_A = [D_s - (\overline{DF} + \overline{DC} + \overline{A'C}) \cdot 2] + 2 \cdot r$	22
$\overline{A'C} = \overline{A'D} - \overline{DC}$	18	$Z_A = (f' + e_A) \cdot (-1)$	23
$X_A = (D_s - 2 \cdot \overline{A'C}) + 2 \cdot r$	19		
$Z_A = f' \cdot (-1)$	20		

Umbava ja toru sisefaasi punkti T_2 koordinaatide arvutusvalemid on teatud osas kattuvad. Nurga β väärtuse arvutusvalem (valem 1) on universaalne – seda saab kasutada nii välisfaasi kui ka mõlema sisefaasi punktide T_1 ja T_2 puhul. Mõlema sisefaasi puhul saab kasutada samu valemiteid ka lõikude $\overline{A'C}$ ning \overline{CD} pikkuste arvutamiseks (valemid 17 ja 18).



Joonis 4. Sisefaasid: a – toru sisefaas, A, B – faasi otspunktid, A' – ümarusraadiuse keskpunktid, C, D, E, F, G – iseloomulike lõikude otspunktid, r – teriku ümarusraadius, α – faasi kaldenurk, β – iseloomulik nurk, T_1 – treitera tipp punktis A, X_A , Z_A – punkti T_1 koordinaadid, D_s – toru siseläbimõõt, e_A – eemalduskaugus punktis A, b – umbava faas, f – faasi pikkus

Sellepärast on matemaatilise mudeli lihtsuse eesmärgil nende suuruste valemid ainult umbava faasi arvutuste jaoks välja kirjutatud. Et umbava faasi puhul punkti T_1 X- ja Z-koordinaadi väärtused ühtivad kas ava põhja või siis faasi lõpp-punkti tegelike koordinaatidega, siis eemalduskauguse e_A väärtus on null (joonis 4). Tavalise sisefaasi puhul on aga võimalik anda eemalduskaugusele e_A sobiv arvuline väärtus. Z-koordinaatide märkide kohta kehtiv põhimõte on mõlema sisefaasi puhul sama mis välisfaasi puhulgi.

Umbava faasi puhul on teriku ümarusraadiusel korraga kaks puutepunkti – üks faasiga ja teine umbava põhjaga. Kahest puutepunktist tingituna tekib umbava põhja ja faasi ülemineku kohta alati ümarusraadiusega võrdse raadiusega ümarus, mis vähendab sisepepingeid. Puudub vajadus eraldi programmeerida ümarusraadiuse töötlust.

Rakendus

Tööjaotust, kus keerukam pinnageomeetria töödeldakse CNC-juhtimisega treipinkidel ja lihtsam NC-juhtimisega, on praktiline kasutada nii põllumajandusmasinaid tootvas kui ka remontivas ettevõttes. Põllumajandusmasinatel esineb palju lihtsa pinnageomeetriaga detaile, mida tuleb korraga suurel hulgal toota. Sellised detailid on näiteks teraviljakombaini haspli piid või mustikakoristi korjekammi piid. Nende detailide lõiketöötlusoperatsioonid tehakse enne survetöötlust (painutamist). Piide lõiketöötlus seisnebki mõlema otsa faasimises, mida on just otstarbekas teha NC-juhtimisega pinkidel.

Kõikide otto- ja diiselmootorite gaasivahetusmehhanismi klappide taldrükute tööpinnad on klapi sümmeetriatelje suhtes teatud nurga all (tavaliselt 45°). Kui tööpinnad on valmistatud kõvasulammaterjalist, siis remondi käigus on neid võimalik töödelda ainult spetsiaalsete kõvasulamist terikutega komplekteeritud treiteradega. Mõlemal juhul on faaside või kallete töötluks vajalike punktide koordinaatide arvutamiseks sobiv kasutada käesolevas artiklis kirjeldatud matemaatilist mudelit.

Kokkuvõte

Kuigi NC-juhtimissüsteem on vananenud, on sellega varustatud pingid tänu lihtsale konstruktsioonile ja suurele töökindlusele Eesti metallitööstusettevõtetes laialt levinud. Kui CNC-juhtimisega pinkide programmeerimiseks saab kasutada CAM-programme, siis NC-pinkide puhul selline võimalus puudub. Sellepärast tekkis vajadus koostada käesolev matemaatiline mudel. Koostatud mudelit saab kasutada kõikide NC31- ja NC81-tüüpi juhtimissüsteemiga pinkide puhul. Mudel võimaldab arvutada igasuguste koonuste (ka sisekoonused) sise- ja välisfaaside töötluks vajalike punktide koordinaate, kusjuures kõik vajalikud algandmed on detaili jooniselt leitavad. Praegust mudelit on võimalik edasi arendada – tavavalemid on asendatavad kompaktsel makroga. Nende koostamiseks kasutatakse MS Exceli keskkonnas programmeerimiskeelt Visual Basic. Makrode kasutamise puhul kasutatakse MS Exceli kuva ainult algandmete sisestamiseks, lõpptulemuste kuvamiseks ja arvutusi tegeva makro käivitamiseks.

Kirjandus

- Mitsubishi Gesamtkatalog 2004–2005. Drehwerkzeuge rotierende Werkzeuge Werkzeugsysteme. Mitsubishi Carbide. – 560 S.
- Mägi, A. 1994. Microsoft Excel 5.0. Tabelitöötluspakett süsteemile Windows. Kiirtutvustus. – RAS Kommunaaltrükikoda, Tallinn, 160 lk.
- Poluhhin, P. I., Grinberg, B. G., Žadan, V. T., Nikonov, B. J. 1969. Metallide tehnoloogia. – Tln: Valgus, 424 lk.
- Siemens Sinumerik. 840D/840i/810D/FM-NC Grundlagen. Programmieranleitung. – Siemens. Ausgabe 10, 2000, 508 S.
- Устройства числового программного управления "Электроника НЦ 31". 1982, 213 с.