

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Egidijus Janavičius

**Veleno tipo detalių plokštumų padėčių  
paklaidų formavimas  
Magistro darbas**

**Vadovas**

doc.dr.J.Rimkus

Šiauliai, 2006

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU  
Katedros vedėjas ,  
\_\_\_\_\_ Z.Ramonas

VELENO TIPO DETALIŲ PLOKŠTUMŲ PADĖČIŲ  
FORMAVIMASIS

Magistro darbas

Vadovas:  
\_\_\_\_\_ doc. J.Rimkus

Recenzentas:  
\_\_\_\_\_ doc.A.Povilionis

MM-4 gr. magistrantas  
\_\_\_\_\_ E.Janavičius

Šiauliai,2006

# TURINYS

|   |    |
|---|----|
| ĮVADAS.....   | 3  |
| 1 . MATMENŲ GRANDINĖS.....  | 4  |
| 1.1. Apdirbamos detalės tikslumas.....                                    | 4  |
| 1.2. Pagrindinės matmenų grandinių sąvokos.....                           | 6  |
| 1.3. Konstrukcinių ir technologinių matmenų grandinių sudarymas.....      | 7  |
| 1.4. Technologinių matmenų grandinių sprendimas grafų pagalba.....        | 9  |
| 1.5. Technologinės paklaidų grandinės.....                                | 11 |
| 2 . DETALĖS PLOKŠTUMŲ PADĖČIŲ PAKLAIDŲ GRAFAI.....                        | 15 |
| 2.1. Tekinimo ir šlifavimo operacijos.....                                | 16 |
| 2.2. Plokštumų padėčių paklaidų nustatymas pagal incidentinę matricą..... | 23 |
| IŠVADOS.....  | 28 |
| REZIUME.....  | 29 |
| SUMMARY.....  | 30 |
| LITERATŪRA.....   | 31 |

## **Ivadas**

Mechaninio apdirbimo metu gaunamos, specifinės detalių plokštumų padėčių paklaidos, kurios priklauso nuo jų konstrukcijos, tai yra nuo paviršių tarpusavio padėties. Ruošiniai, dėl konstruktyvinės formos ypatumo, turintys skirtingą standumą, veikiant pjovimo jėgoms technologinio proceso metu patiria įvairius persislinkimus, kurie iššaukia detalės formos pasikeitimą. Tokios formos paklaidos turi ypatingą reikšmę apdirbant aukšto tikslumo detales, nes šios paklaidos pagal dydį gali būti lygios užduotoms tolerancijoms.

Daugelis uždavinių, susijusių su tikslumu, sprendžiami remiantis matmenų grandinėmis. Apdirbant detales metalo pjovimo staklėmis susidaro sudėtingi matmeniniai ryšiai tarp detalės elementų ( plokštumų ), kurie turi savo specifiką, į kurią būtina atsižvelgti atliekant tiksluminius skaičiavimus. Ilgio matmenų paklaidų grandinės yra jau pakankamai išnagrinėtos, o ryšiai tarp plokštumų padėčių paklaidų mažai ištirti.

Sudarant technologines paklaidų grandines dažnai atsiranda netikslumai dėl to, kad neteisingai surandami grandinių sudarantieji nariai. Norint teisingai nustatyti matmeninius ryšius, kurie susidaro mechaninio apdirbimo metu, reikia pasinaudoti detalės geometrinių elementų padėčių paklaidų grandinėmis. Nors šios paklaidų grandinės nesudaro uždaro kontūro, galima sudaryti uždara grandinę grafo pagalba. Remiantis šiomis grandinėmis galima tiksliai nustatyti dedamuosius ir uždarančiuosius paklaidų grandinių narius.

**Tyrimo objektas.** Detalės plokštumų padėčių paklaidos.

**Tyrimo tikslas.** Veleno tipo detalių plokštumų padėčių paklaidų, susiformuojančių technologinio proceso metu, susidarymas.

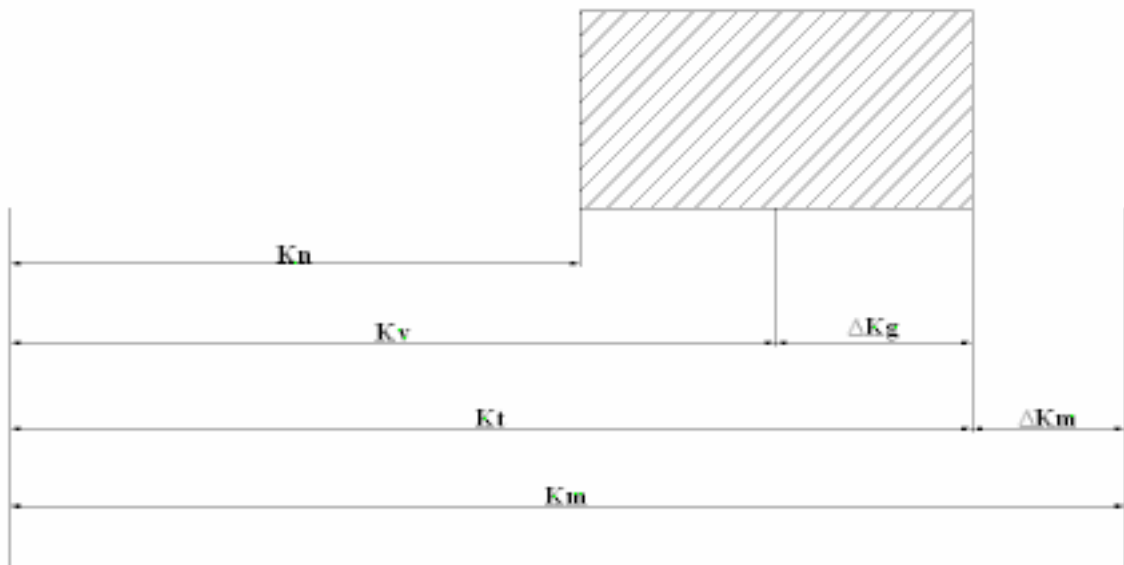
# 1. MATMENŲ GRANDINĖS

## 1.1. Apdirbamos detalės tikslumas

Gamybos procese, kada yra apdirbamos detalės, atsiranda detalių rodiklių paklaidos. Jas sukelia daug atsitiktinių faktorių. Tarp reikalaujamų reikšmių brėžinyje ir pagamintos detalės reikšmių susidaro tam tikras skirtumas, o matuojant bet koki detalės kokybės rodiklį jis nustatomas su tam tikra paklaida.

Skiriami keturi bet kokio rodiklio reikšmių tipai:

- 1) normali ( teorinė )  $K_n$  gauta skaičiavimo metu, nuo jos atidedami nuokrypiai;
- 2) vidurinė  $K_v$  reikšmė, kurią norime gauti gamybos procese, tai gali būti normali arba vidurinė ar kitos reikšmės;
- 3) tikra objektyviai egzistuojanti  $K_t$  reikšmė, gauta atlikus technologinį procesą;
- 4) išmatuota  $K_m$  reikšmė, gauta išmatavus detalę nurodytų tikslumu.

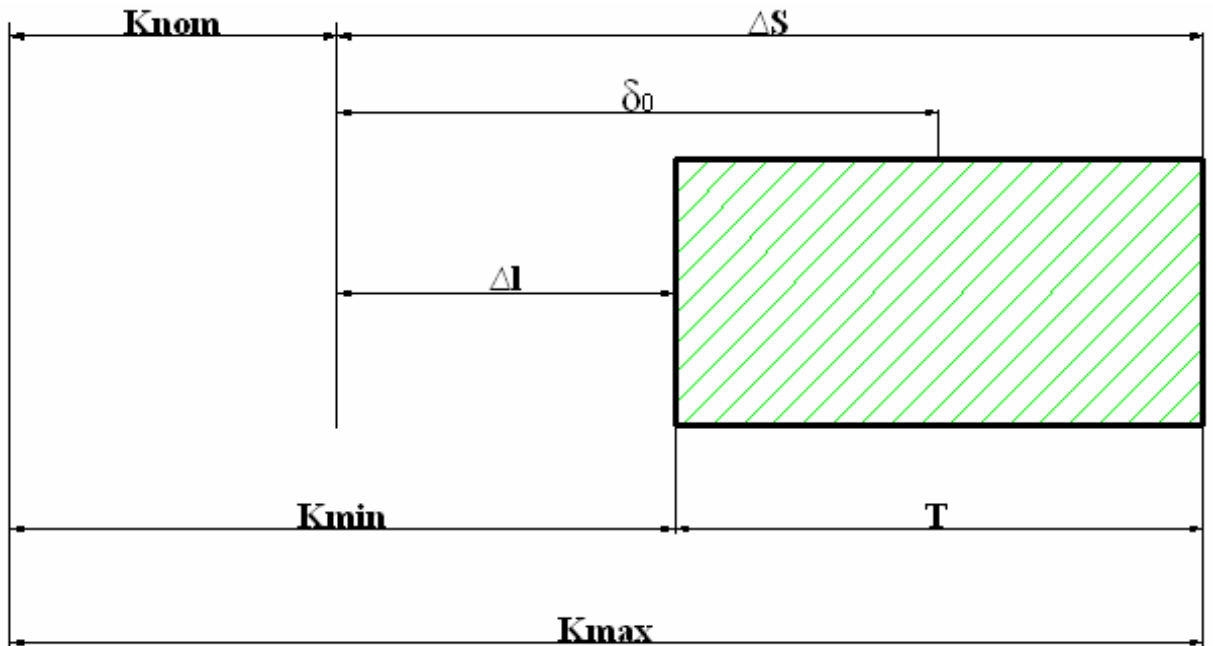


1.1 pav. Rodiklio reikšmių žymėjimas

Rodiklio  $K$  matavimo tikslumas – tai išmatuoto dydžio  $K_m$  priartėjimas prie tikro realaus  $K_t$ . Apdirbant detales neišvengiama paklaidų ir todėl absoliutaus tikslumo pasiekti neįmanoma. Tad detalės kokybės rodiklių reikšmės nustatomos tam tikrais intervalais, kuriems esant detalės pasižymi reikiama kokybe. Nustatyti rodiklių kitimo intervalai vadinami tolerancijomis.

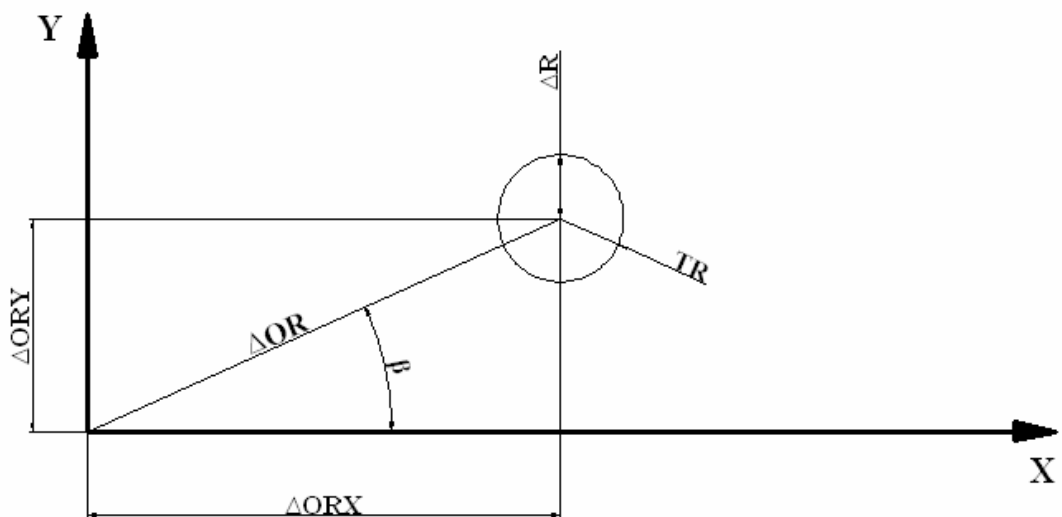
Mašinų gamyboje susiduriama su skaliariniais ir vektoriniais dydžiais. Skaliarinio lauko tolerancijos laukas užduodamas šiais būdais:

- 1) rodiklio viršutinė  $\Delta S$  ir tarpinė  $\Delta I$  nuokrypa;
- 2) tolerancijos lauko  $T$  ir vidurio koordinatės  $\delta_0$ ;
- 3) rodiklio mažiausia  $K_{min}$  ir  $K_{max}$  reikšmės.



1.2 pav. Skaliarinio lauko tolerancijos laukas.

Dvimačio vektoriaus dydžio tolerancija užduodama kokia nors figūra, kurios ribose gali būti atsitiktinio vektoriaus spindulys, tokia figūra vadinama hodografu. Figūros forma ir padėtis priklauso nuo sprendžiamo uždavinio pasirinktoje koordinatinių sistemoje.



1.3 pav. Dvimačio vektoriaus dydžio tolerancija.

Trijų matavimų atsitiktinio vektoriaus paklaidos apibrėžiamos erdvės dalimi, kurios padėtis ir dydis nustatomas tam tikrais dydžiais. Toleranciją galima išplėsti n-matei erdvei.

Tikslumas skirstomas į reikalaujamą ir faktinį. Reikalaujamas mašinos detalių rodiklių tikslumas nustatomas iš mašinų paskirties ir matmenų grandinių uždarančiųjų narių. Faktinis tikslumas gaunamas kaip atitinkamo apdirbimo proceso rezultatas.

Faktinį tikslumą galima apibrėžti trim būdais:

- 1) rodiklio reikšmių didžiausia max ir mažiausia min nuokrypa;
- 2) sklaidos lauko dydžiu ir sklaidos lauko vidurio koordinate;
- 3) didžiausia max ir mažiausia min rodiklio reikšme.

Detalių kokybės geometrinio požiūriu nusakoma šiomis charakteristikomis:

- 1) matmenų tikslumas,
- 2) paviršių geometrinės formos,
- 3) paviršių tarpusavio padėties tikslumas,
- 4) paviršiaus glotnumas.

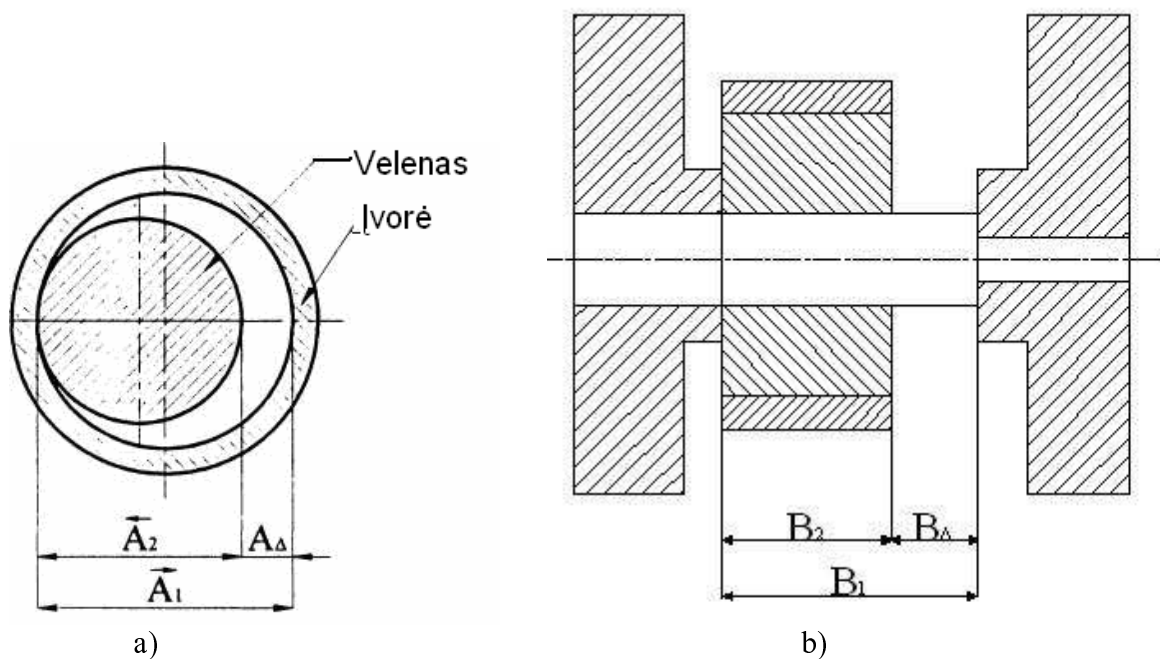
Tarp šių charakteristikų būtina išlaikyti tokį santykį: paviršių tarpusavio padėties paklaidos turi būti mažesnės už matmenų paklaidas, o tarpusavio padėties paklaidų dydį. Jei nebūtų išlaikomas toks dėsningumas, būtų sunku įvertinti aukštesnio rango rodiklio paklaidą.

## 1.2. Pagrindinės matmenų grandinių sąvokos

Projektuojant technologinius procesus, konstruojant mašinas ir prietaisus, parenkant matavimo metodus ir priemones, turi būti analizuojami matmenų ryšiai, nustatomos matmenų tolerancijos ir jų ribinės nuokrypos. Tai nustatoma sprendžiant matmenų grandines. Mašina, be sutrikimų veikia tada, kai ją sudarančios detalės užima reikiamą padėtį. Tai pasiekama tinkamai parinkus detalių matmenis.

Matmenų betarpiškai dalyvaujančių uždavinio sprendime ir sudarančių uždara kontūrą visuma vadinama matmenų grandine. Matmenų grandinių pavyzdžiai parodyti (1.5 pav.). Kiekvienas matmenų grandinės matmuo ir jo tikslumas turi būti parenkamas atsižvelgus į kitus matmenis ir jų tikslumą. Sprendžiant matmenų grandines, galima nustatyti kelių surinktų detalių ašių ir paviršių tarpusavio padėties tikslumą.

Kiekvieną matmenų grandinę sudaro uždarantysis narys ir du ar daugiau sudarančiųjų narių. Uždarantysis narys yra matmuo, kuris gaunamas paskutinis, gaminant detale ar surenkant mašinos dalį (žymimas  $A_0$ ,  $B_0$  arba  $A_\Delta$  ...). Nariai, kurie lieka grandinėje atmetus uždarantįjį narį vadinami sudarančiaisiais (žymimas  $A_1, A_2, \dots, A_{m-1}$ ).



1.5 pav. Matmenų grandinių pavyzdžiai

Priskiriamos tokios matmenų grandinės: konstrukcinės, technologinės, metrologinės.

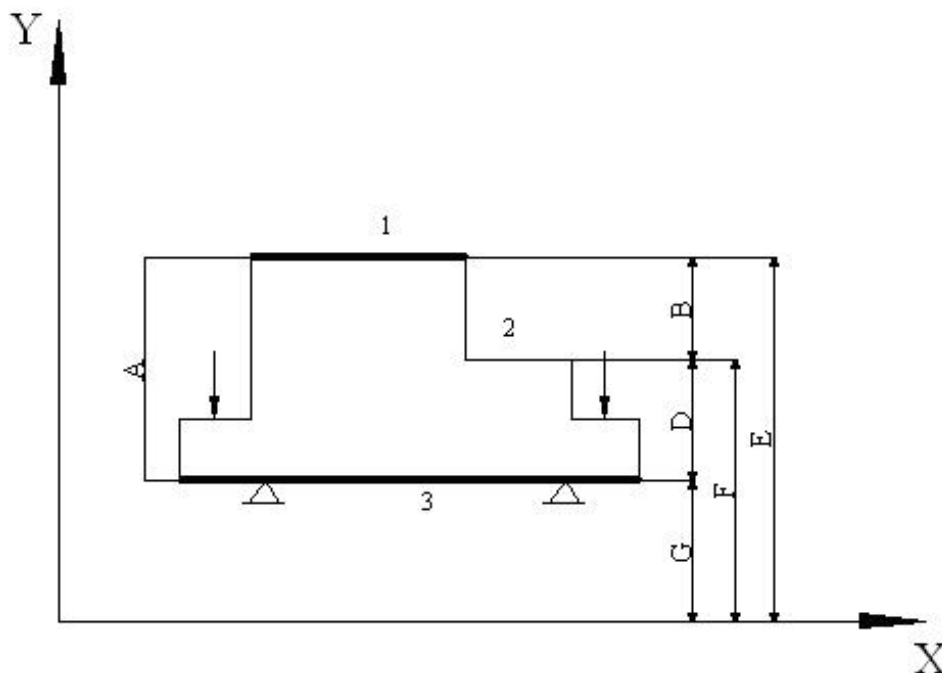
### 1.3. Konstrukcinių ir technologinių matmenų grandinių sudarymas

Konstrukcinių ir technologinių matmenų grandinių dedamieji ir uždarantieji nariai skiriasi savo esme. Konstrukcinių matmenų grandinių dedamieji nariai yra atitinkamų detalių matmenys, o uždarantysis narys- atstumas tarp skirtingų detalių paviršių. Pavyzdžiui (1.5 pav. b), pavaizduota matmenų grandinė, kur  $B_1$  ir  $B_2$  dedamieji nariai, o  $B_\Delta$  - uždarantysis. Daugeliu atveju uždarantieji nariai konstrukcinėse matmenų grandinėse būna tarpeliais tarp dviejų paviršių arba įvaržos dydis.

Technologinėse matmenų grandinėse uždarantieji nariai yra galutiniai detalių matmenys, operaciniai matmenys ir užlaidų dydžiai. Apdirbimo procese keičiasi matmens dydis, kuris paprastai užduodamas tarp 2 plokštumų. Užduoto matmens pasikeitimą nusako abiejų plokštumų, tarp kurių užduotas matmuo padėčių paklaidos.

Paveiksle 1.6 parodytas detalės apdirbimas. Panagrinėsime plokštumų apdirbimą pagal vieną ašį. Šiuo atveju apdirbamos 1, 2 ir 3 plokštumos, taip yra suformuojami  $A$ ,  $B$  ir  $C$  matmenys.





1.6 pav. Detalės apdirbimas pagal vienašį.

Nagrinėjant detalės apdirbimą pagal vieną ašį (1.6 pav.) galima parašyti tris matmenų lygtis:

$$A = D + B;$$

$$D = A - B;$$

$$B = A - D.$$

Nei viena iš šių matmenų lygčių nėra matmenų grandinė, nes nėra uždarančiojo nario. Šiuo atveju visi trys matmenys  $A$ ,  $B$  ir  $D$  yra uždarantieji nariai, nes matmens  $A$  paklaidą sudaro plokštumų  $1$  ir  $3$  padėčių paklaidų suma. Matmens  $B$  paklaida lygi  $1$  ir  $2$  plokštumų padėčių paklaidų sumai, o matmens  $D$  paklaida lygi  $2$  ir  $3$  plokštumų padėčių paklaidų sumai. Sudarant matmenų grandines, dedamuosius narius sudaro, atstumai nuo laisvai pasirinktos koordinatės sistemos ašies  $X$  iki kiekvienos apdirbamos plokštumos  $G$ ,  $F$  ir  $E$ . Gaunamos šios matmenų grandinės.

$$A = E - G;$$

$$B = E - F;$$

$$D = F - G.$$

Matmenų  $G$ ,  $F$  ir  $E$  paklaidos lygios plokštumų atitinkamai  $3$ ,  $2$  ir  $1$  padėčių paklaidoms, nes koordinatės sistemos padėtis yra pastovi:

$$W_A = W_E + W_M = W_1 + W_3$$

$$W_B = W_E + W_F = W_1 + W_2$$

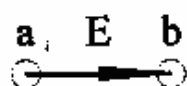
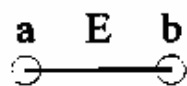
$$W_D = W_F + W_G = W_2 + W_3$$

Kadangi detalės apdirbamos per keletą operacijų, technologinių matmenų grandinę galima rasti pasinaudojus geometrinių elementų (plokštumų, ašių ir kt.) padėčių paklaidų grandinėmis.

## 1.4. Technologinių matmenų grandinių sprendimas grafų pagalba

Grafų teorija — viena iš matematikos disciplinų aiškinančių sudėtingą detalės geometrinę sandarą, susidedančią iš daugelio elementų ir ryšių tarp jų. Detalių apdirbimo procesą galima nagrinėti kaip geometrinę struktūrą, susidedančią iš daugelio paviršių ir ryšių (matmenų) tarp jų. Todėl tokią struktūrą tikslinga nagrinėti grafų pagalba. Grafu vadinama figūra susidedanti iš taškų ir linijų jungiančių tuos taškus. Taškai vadinami viršūnėmis, o linijos - lankais arba grafo briaunomis. Briaunos vadinamos orientuotomis jei yra rodyklė parodanti iš kokios viršūnės ji išeina ir į kurią viršūnę nueina. Jei ant briaunos nėra rodyklės tai ji - neorientuota. Pav. 1.7, a pavaizduotos orientuotos ir neorientuotos briaunos  $E$  pavyzdžiai. Priklausomai nuo briaunų pavadinimo grafas vadinamas orientuotu arba neorientuotu. Briauna yra kartotinė, jei dvi viršūnės sujungtos keletu briaunų (1.7 pav., b). Dvi viena po kitos sekančios briaunos turinčios bendrą viršūnę vadinamos maršrutu  $U$ . Pav. 1.7, c briaunos  $E_1$  ir  $E_2$  turi bendrą viršūnę 2, o briaunos  $E_2$  ir  $E_3$  — 3, taip gaunamas maršrutas:

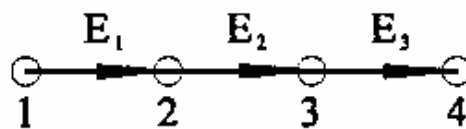
$$U = E_1 + E_2 + E_3$$



a)



b)

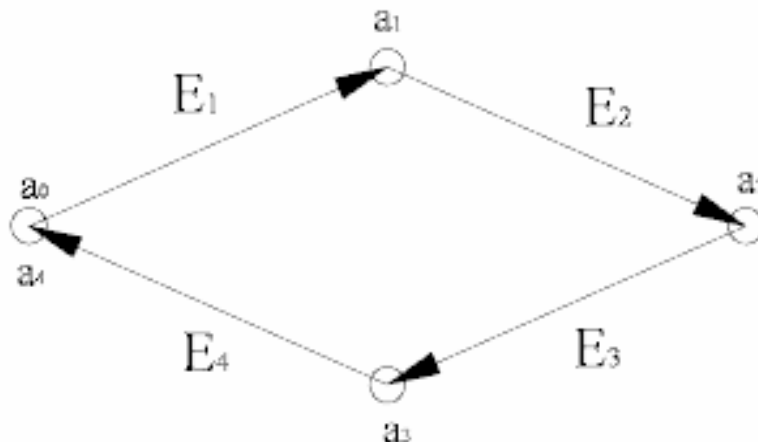


c)

- 1.7 pav. Grafo briaunos:
- a) - neorientuotos ir orientuotos grafo briaunos;
  - b) - kontrolinės briaunos;
  - c) - grafo kelias.

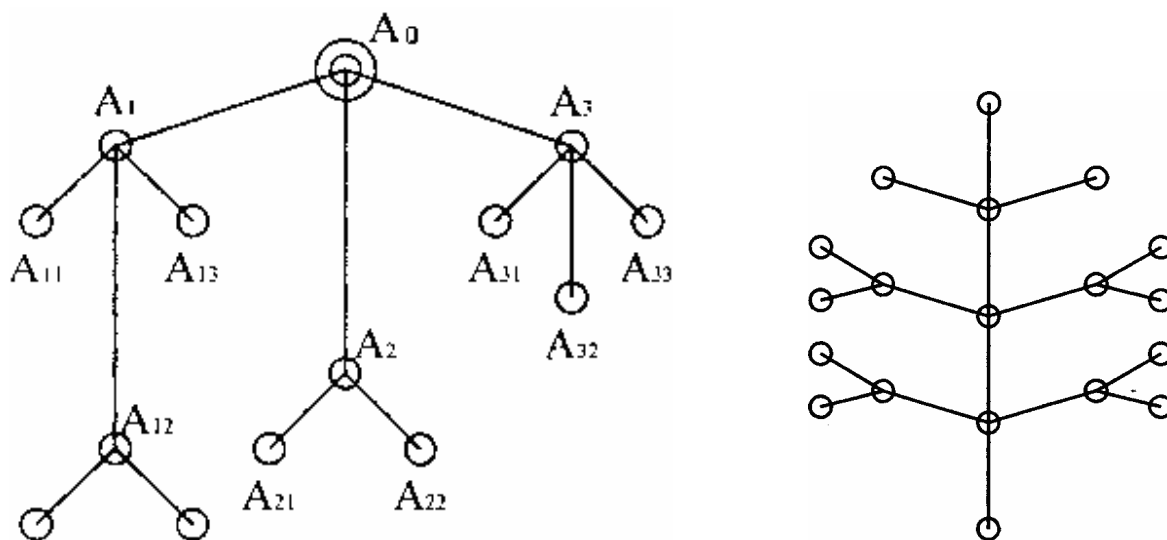
Jei maršruto pradžia ir pabaiga yra vienoje viršūnėje, tai toks kelias vadinamas cikliniu (1.8 pav.), jei kiekvieno maršruto kiekviena briauna susiduria tik po vieną kartą, tai toks maršrutas vadinamas grandine. Jei grandinė uždara, tai yra prasideda ir baigiasi toje pačioje

viršūnėje, tai ji sudaro ciklą. Jei kiekvieną viršūnę galima sujungti su bet kuria kita viršūne, tai grafas vadinamas sujungtu.



1.8 pav. Ciklinio maršruto schema.

Sujungtas grafas nesudarantis ciklą ir neturintis pasikartojančių briaunų vadinamas medžiu. Kiekvienai viršūnių porai egzistuoja vienintelė juos jungianti grandinė. Norint sudaryti medį reikia pasirinkti kokia nors viršūnę  $A_0$  (1.9 pav.) ir iš jos išvesti linijas į viršūnes  $A_1$   $A_2$  ir  $A_3$ , o iš jų išvesti linijas į  $A_{11}$   $A_{12}$  ir  $A_{13}$  ir taip toliau. Pradžioje parinkta viršūnė  $A_3$  vadinama medžio kamieniu. Kiekvieno grafo šaka turi turėti paskutinę briauną iš kurios jau neišeina nei viena šaka. Todėl medis su  $n$  viršūnėmis turi  $(n - 1)$  briauną.



1.9 pav. Dvi grafo-medžio schemas

Jei viršūnės sudaro detalės ir ruošinio paviršiai, tai detalės brėžinį su konstrukciniais ir technologiniais matmenimis galima atvaizduoti dviem medžiais. Sutapdinus šiuos medžius gaunamas sutapdintas grafikas, leidžiantis užkoduota forma atvaizduoti geometrinę technologinio proceso struktūrą apdirbant detales, ir yra jo matematinis modelis. Tokiame grafe technologinės matmenų grandinės iš neaiškių tampa aiškiomis. Galima nenaudoti brėžinio ir visą būtiną informaciją ir skaičiavimus gali suteikti grafas. Bet koks uždaras kontūras sutapdintame grafe susidedančiame iš pradinio ir išvestinio medžio, sudaro technologinę matmenų grandinę.

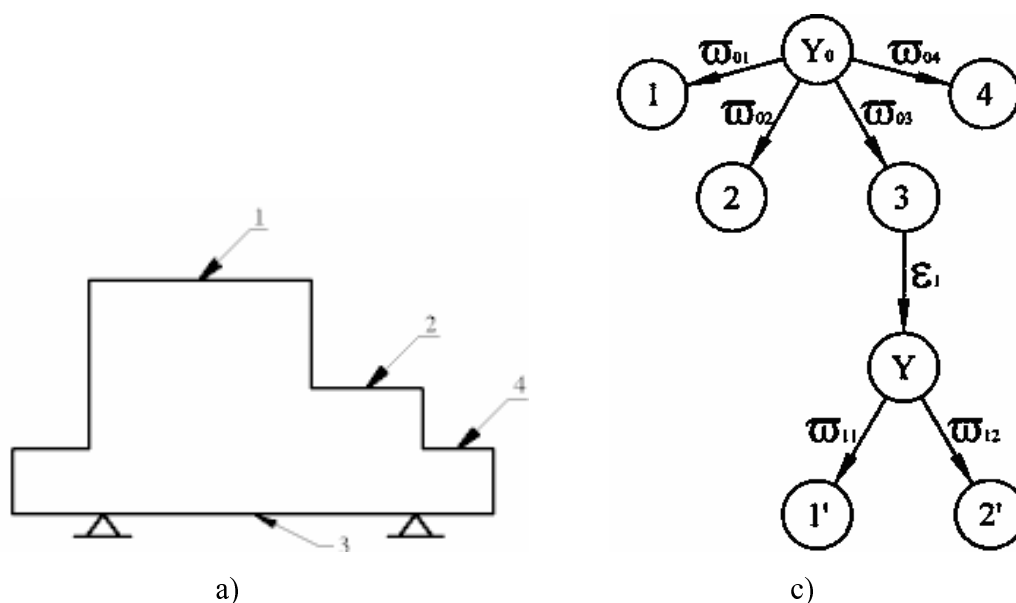
Kiekvienas medis turi atitikti šiuos reikalavimus:

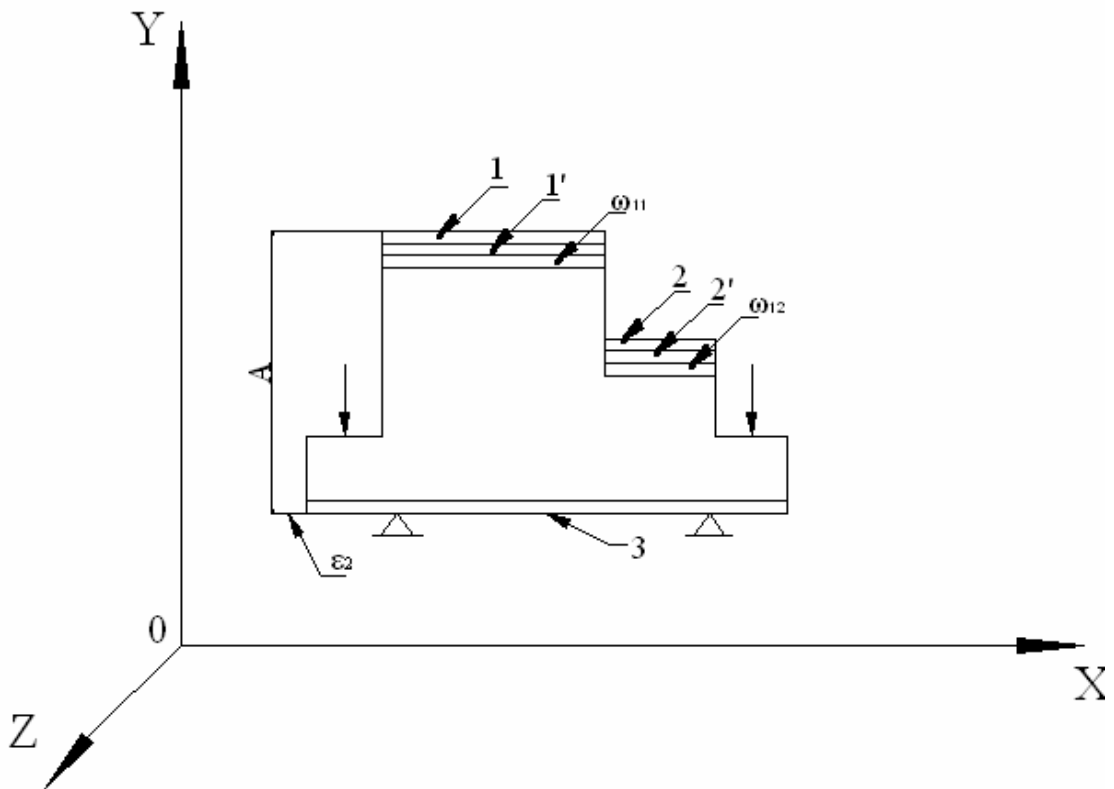
- 1) kiekvieno medžio viršūnių skaičius turi būti lygus paviršių skaičiui technologinio proceso matmenų grandinėse,
- 2) kiekvieno medžio briaunų skaičius turi būti vienodas ir lygus briaunų skaičiui atėmus vieneta,
- 3) į kiekvieną išvesto medžio viršūnę turi ateiti tik viena orientuotos briaunos rodyklė, o viršūnėje-nei vienos rodyklės.
- 4) medžiai negali turėti nutrūkimų ir uždarų kontūrų.

## 1.5. Technologinės paklaidų grandinės

Nors detalės geometrinių elementų (plokštumos) padėčių paklaidų grandinės nesudaro uždaro kontūro, matmenų ir paklaidų grandinę galima sudaryti grafų pagalba. Grafų pagalba galima teisingai nustatyti matmenų grandines ir atlikti jų analizę. Panagrinėsime paklaidų grafo sudarymą.

1.10 pav. parodytas ruošinys, frezavimo operacijos ir detalės apdirbtų plokštumų pasisukimas apie ašį Y paklaidų grafas.





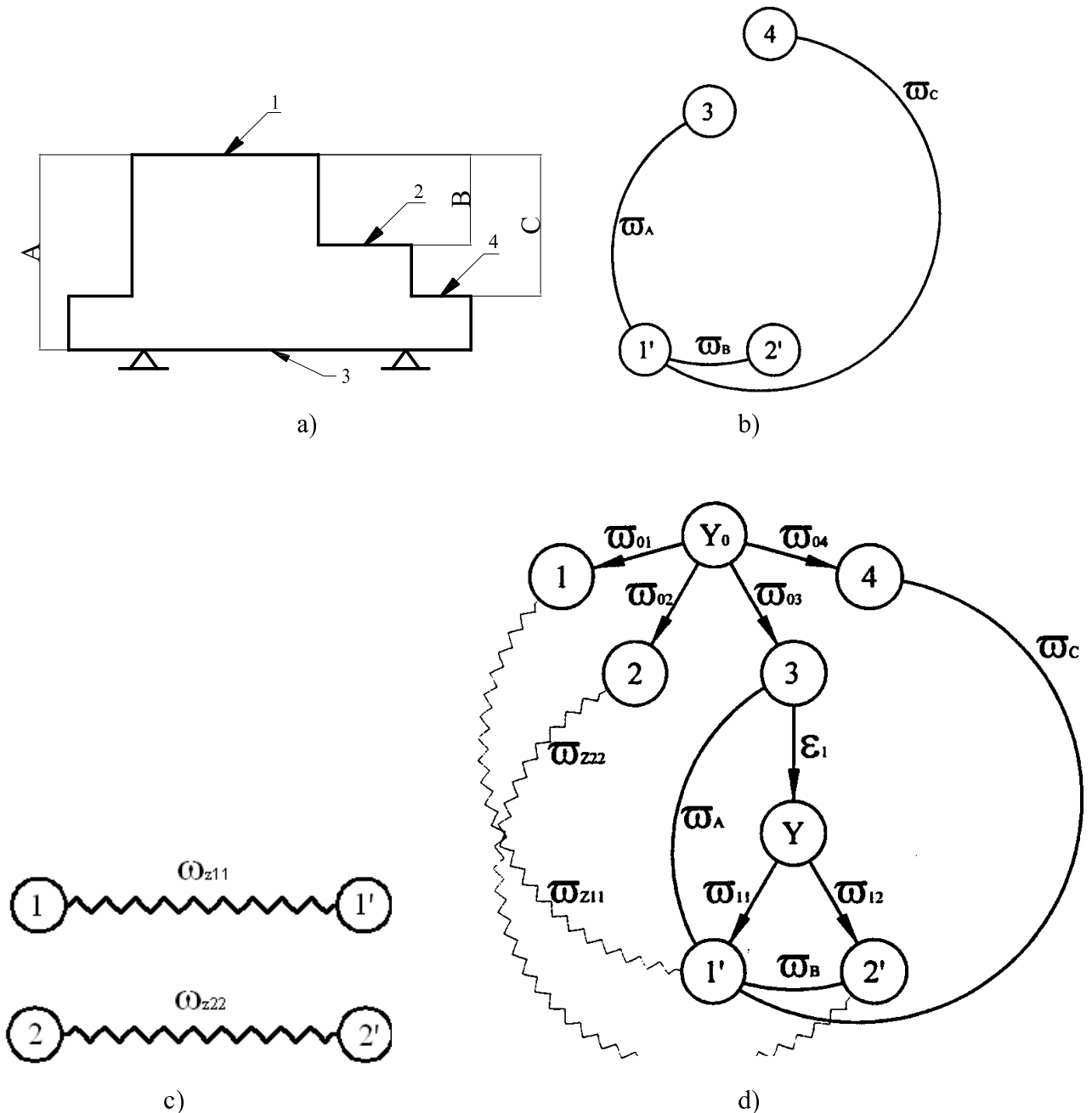
b)

1.10 pav. Ruošinys (a); frezavimo operacijos (b); plokštumų pasisukimo apie ašį  $Y$  paklaidų grafas.

Grafų plane priimtos koordinatinės plokštumos  $YOZ$  atžvilgiu detalės plokštumos keičia savo padėtį pagal ašį  $Y$ . Linijos (rodyklės) jungiančios apskritimus parodo plokštumos padėties paklaidą pagal ašį  $Y$ . Plokštumos padėties paklaida - tai atstumas tarp dviejų ribinių plokštumos padėčių pagal ašį  $Y$ . Iš apskritimo  $Y_0$  vedamos rodyklės iki ruošinio plokštumų **1**, **2**, **3** ir **4**. Rodyklės parodo šių ruošinio plokštumų pasislinkimą pagal ašį  $Y$ , ruošinio formavimo metu.  $W_{ab}$  - plokštumos padėties paklaida po apdirbimo; pirmas indeksas  $a$  parodo operacijos numerį; antras indeksas  $b$  - plokštumos numerį. Toliau iš apskritimo **3** vedama linija iki apskritimo  $Y$ . Ši linija pažymima  $\epsilon_1$  - parodo technologinės bazės **3** pasislinkimą pagal  $Y$  ašį ruošinio tvirtinimo metu, indeksas prie  $\epsilon$  parodo operacijos numerį. Po to iš apskritimo  $Y$  vedamos linijos į du apskritimus  $I'$  ir  $2'$ . Šios linijos parodo apdirbtų ruošinio plokštumų  $I'$  ir  $2'$  pasislinkimą pagal ašį  $Y$ . Apdirbtos plokštumos žymimos  $I'$  ir  $2'$  (skaičiumi su vienu apostrofu). Gautas paklaidų grafas vadinamas medžiu (1.10 pav.). Šiame grafе visos paklaidos (rodyklės) yra technologinių paklaidų grandinių dedamieji nariai. Uždarantieji nariai yra detalės galutinių matmenų ir užlaidų paklaidos, kurios atvaizduojamos grafais.

Detalės matmenų paklaidų grafas sudaromas sekančiai: matmuo  $A$  užduotas tarp **3** ir  $I'$  plokštumos, matmuo  $B$  tarp  $I'$  ir  $2'$  plokštumų, matmuo  $C$  tarp **4** ir  $I'$  plokštumų. Todėl brėžiami

keturi apskritimai, kurie sujungiami linijomis  $W_A$ ,  $W_B$  ir  $W_C$  (1.11 pav., a). Analogiškai sudaromas užlaidų paklaidų grafas, tai yra sujungiami apskritimai tarp  $I$  ir  $I'$  paviršių,  $2$  ir  $2'$  paviršių, o grafas sujungiamas linija atitinkamai  $W_{z11}$ ,  $W_{z22}$  (1.11 pav., c). Norint sudaryti paklaidų grandinę reikia matmenų paklaidų ir užlaidos paklaidų grafus uždėti ant detalės plokštumų padėčių paklaidų grafo. Gaunamas pilnas paklaidų grafas (1.11 pav., d).



1.11 pav. Detalė (a); matmenų paklaidų grafas (b); užlaidų paklaidų grafas (c); pilnas paklaidų grafas (d).

Paklaidų grandinę sudaro kelias grafe, kuri užduoda uždarantysis narys. Uždarantysis narys matmens  $A$  yra paklaida  $W_A$  jungianti apskritimus  $3$  ir  $1'$ , o kelias tarp šių apskritimų  $W_{11}$  ir  $\epsilon_1$ . Uždarantysis narys matmens  $B$  yra paklaida  $W_B$  jungianti apskritimus  $1'$  ir

2', o kelias tarp apskritimų yra lygus  $W_{11}$  ir  $W_{12}$ . Uždarantysis narys matmens  $C$  yra paklaida  $W_c$  jungianti apskritimus  $I'$  ir  $4'$ , o kelias tarp apskritimų yra lygus  $W_{04}$ ,  $W_{03}$ ,  $\varepsilon_1$  ir  $W_{11}$ .

Gaunamos šios paklaidų grandinių lygtys:

$$W_A = \varepsilon_1 + W_{11}$$

$$W_B = W_{11} + W_{12}$$

$$W_B = W_{04} + W_{03} + W_{11} + \varepsilon_1$$

$$W_{z11} = W_{01} + W_{03} + \varepsilon_1 + W_{11}$$

$$W_{z22} = W_{02} + W_{03} + \varepsilon_1 + W_{12}$$

Šios lygtys parodo, kurias dedamąsias reikia įvertinti, kad būtų surasta uždarančio nario reikšmė. Dydžiai  $W_{ab}$  ir  $\varepsilon_a$  sumuojami kaip atsitiktiniai dydžiai, kurie gali turėti tik teigiamas reikšmes.

## 2 . DETALĖS PAVIRŠIŲ PLOKŠTUMŲ PADĖČIŲ PAKLAIDŲ GRAFAI

Nagrinėjant detalių apdirbimo tikslumo klausimus reikalinga išskirti dvi paviršių grupes: pirma – cilindriniai paviršiai ir antra – plokštumos. Cilindrinių paviršių matmenys matuojami tarp dviejų to pačio paviršiaus taškų. Tuo tarpu apdirbant plokštumas matmuo matuojamas tarp dviejų skirtingų plokštumų. Kiekvienai iš plokštumų apdirbimo metu susidaro padėties paklaidos atžvilgiu laisvai pasirinktos koordinatinių sistemos. Todėl, nagrinėjant ilgio matmenų tikslumą, būtina išsiaiškinti atskirai kiekvienos plokštumos padėties paklaidą, t.y. koki „indėlį“ ji įneša į bendrą matmens paklaidą.

Kitas dalykas – užlaidų skaičiavimas. Kadangi užlaidos skaičiuojamos atskirai kiekvienai plokštumai, būtina žinoti atskiros plokštumos padėties paklaidą prieš ir po apdirbimo. Tik tokiu atveju galėsime nustatyti didžiausią užlaidos reikšmę, kuri priimama kaip pjovimo gylis  $t$ .

Išnagrinėsime, kaip formuojasi detalių plokštumų padėčių paklaidos apdirbimo metu, kai apdirbama detalių partija. Paimame veleno tipo detalę (2.1 pav.), kurios ruošinys gaunamas štampuojant. Detalė apdirbama per tris operacijas – dvi tekinimo ir vieną šlifavimo. 2.2 pav. parodytos detalių plokštumų padėčių paklaidų formavimosi schemos.

Kai gaminamas ruošinys, kiekviena plokštuma (1,2 ir 3) formuojasi nepriklausomai viena nuo kitos ir kiekviena iš jų turi savo padėties paklaidą –  $\omega_{10}$ ,  $\omega_{20}$  ir  $\omega_{30}$ .

Priimame, kad tekinimo metu detalės bazuojamos plokštuma **3** (pagal ilgį). Iš pradžių priimame, kad bazavimo metu detalių plokštumos **3** užims pastovią padėtį. Tuomet likusių plokštumų **2** ir **1** padėčių paklaidos susidarys iš savo padėties paklaidos, t.y.  $\omega_{10}$  ir  $\omega_{20}$  ir bazinės plokštumos padėties paklaidos  $\omega_{30}$ , kuri susidaro štampuojant. Vadinasi, bazuojant detales, plokštumos **2** padėties paklaida bus lygi :

$$\omega_2 = \omega_{20} + \omega_{30}$$

, o plokštumos **1** :

$$\omega_1 = \omega_{10} + \omega_{30}$$

Detalės tvirtinimo metu bazinė plokštuma, o kartu ir visa detalė keis savo padėtį tvirtinimo paklaidos  $\varepsilon_1$  dydžiu. Tokiu būdu, po tvirtinimo bazinės plokštumos **3** padėties paklaida bus lygi  $\varepsilon_1$ , plokštumos **2** –  $\omega_{20} + \omega_{30} + \varepsilon_1$  (2.2 c2 pav.)

Po plokštumų **1** ir **4** apdirbimo jų padėties paklaidos bus lygios atitinkamai  $\omega_{11}$  ir  $\omega_{41}$ , t.y. šias paklaidas nusako apdirbimo sąlygos. Plokštumų **2** ir **3** padėčių paklaidos, aišku, palieka tokios pat kaip po detalių užtvirtinimo.



## 2.1 Tekinimo ir šlifavimo operacijos

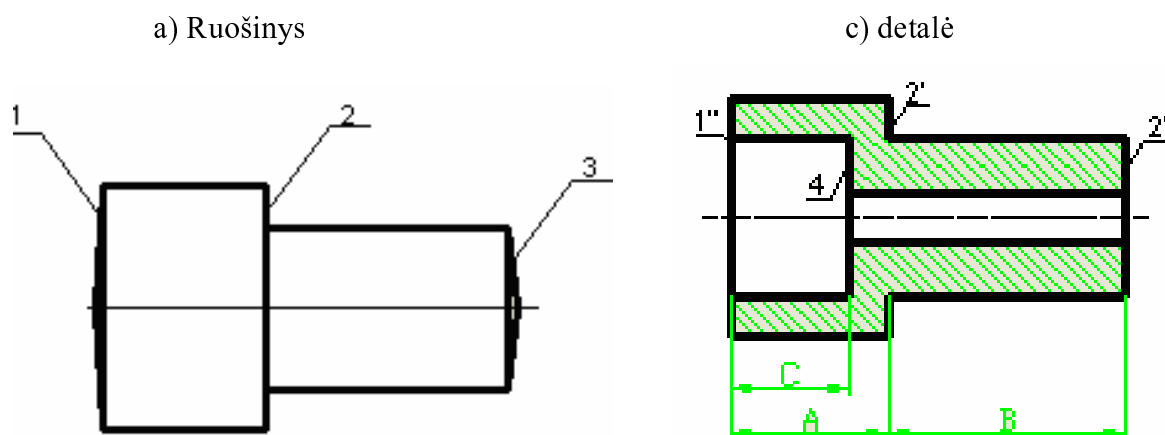
Toliau panagrinėsime kaip plokštumų padėčių paklaidų grafas atspindi paklaidų struktūrą, kuri susidaro mechaninio apdirbimo metu. Iš viso galimi tokie atvejai:

1. Plokštumos padėties paklaida po apdirbimo,
2. Bazinės plokštumos padėties paklaida,
3. Apdirbamos plokštumos (po detalės įtvirtinimo) padėties paklaida,
4. Matmens tarp dviejų apdirbtų plokštumų vienoje operacijoje paklaida,
5. Matmens tarp apdirbtos ir bazinės plokštumos paklaida,
6. Matmens tarp apdirbtos ir bet kurios kitos plokštumos paklaida,
7. Užlaidų paklaidos.

### 1. Plokštumos padėties paklaida po apdirbimo

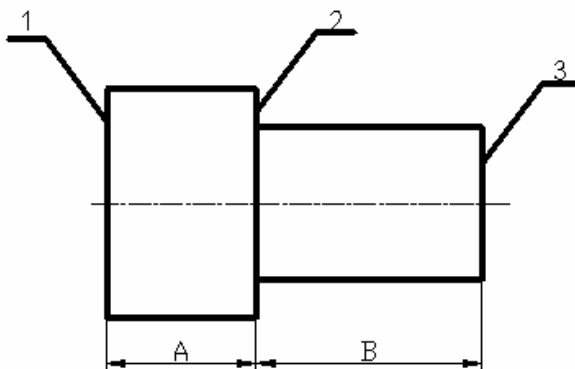
Plokštumos padėties paklaidos dydis po apdirbimo priklauso nuo apdirbimo metodo tikslumo. Ji susideda iš pirminių paklaidų, tokių kaip technologinės sistemos tampriosios deformacijos, pjovimo įrankio dilimas, technologinės sistemos šiluminės deformacijos ir kt. Šiuo atveju apdirbimo tikslumą galima padidinti tik technologinėmis priemonėmis.

Paklaidų grafe šią paklaidą nusako grafo briauna, kuri ateina iš  $x_i$  ( indeksas  $i$  nusako operacijos numerį ) į apdirbamą paviršių. Pavyzdžiui, plokštumos  $I$  padėties paklaidą po šlifavimo nusako briauna, kuri išeina iš  $x_i$  ( trečia operacija ) į  $I''$ , t.y. briauna  $\omega_{I3}$ .

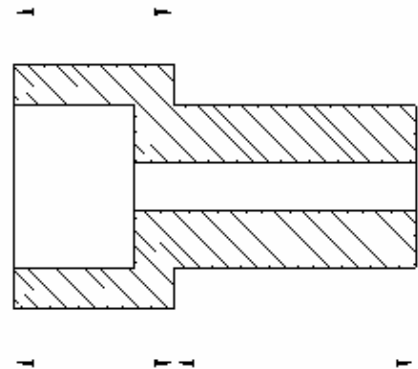




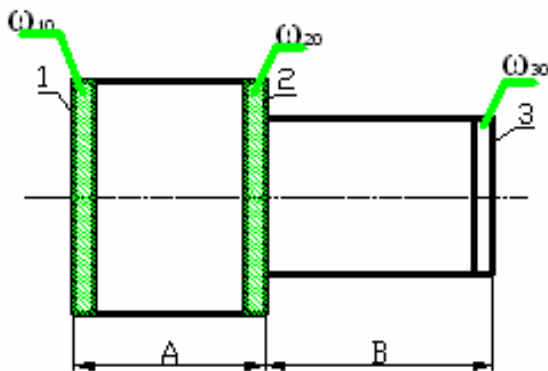
a) ruošinys



detalė

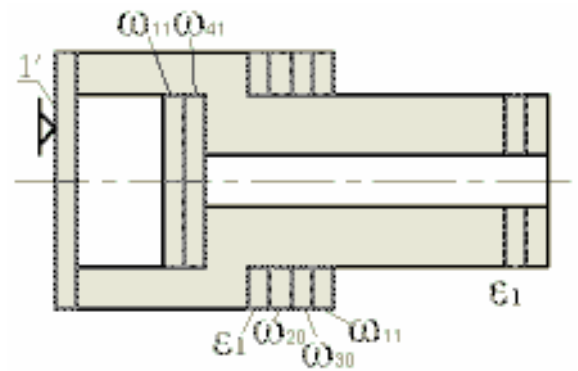


b) Ruošinio plokštumų padėčių paklaidų geometrinė struktūra.



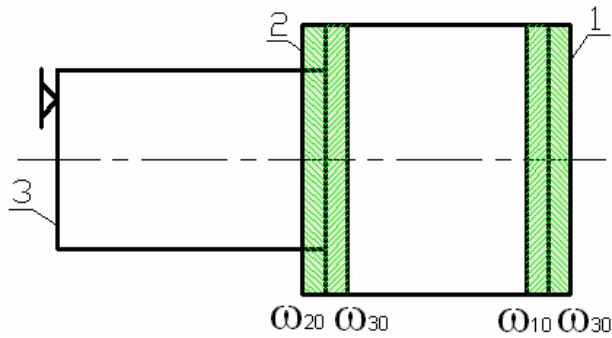
d) Tekinimas

1. Ruošinio plokštumų padėčių paklaidų geometrinė struktūra po bazavimo (neatsižvelgiant į tvirtinimo paklaidą)

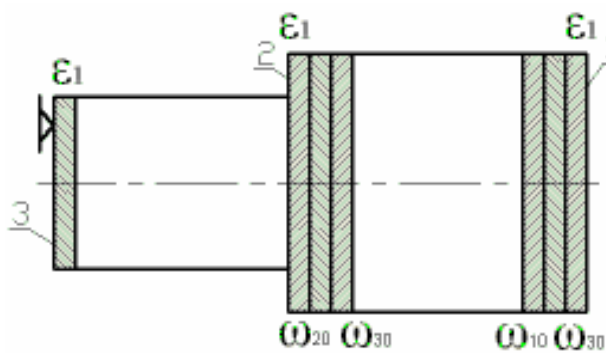


c) Tekinimas.

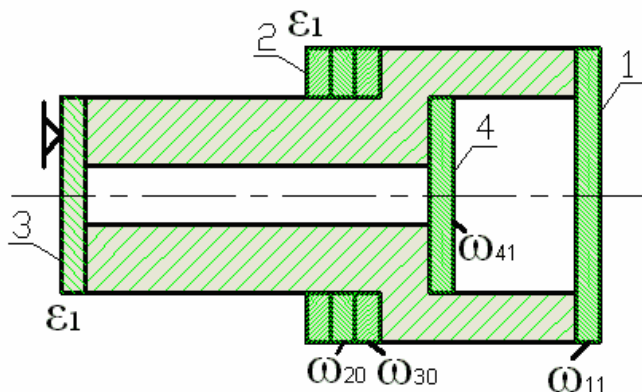
1. Ruošinio plokštumų padėčių paklaidų geometrinė struktūra po bazavimo ( neatsižvelgiant į tvirtinimo paklaidą ).



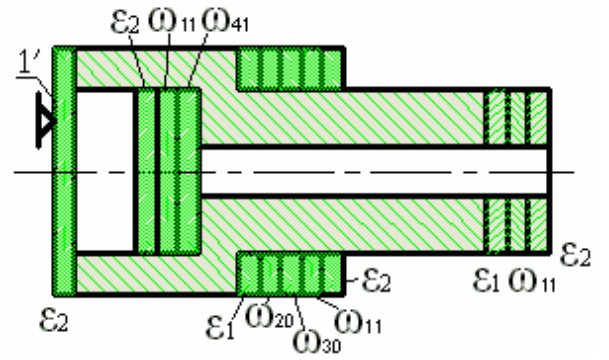
2. Ruošinio plokštumų padėčių paklaidų geometrinė struktūra po ruošinio tvirtinimo.



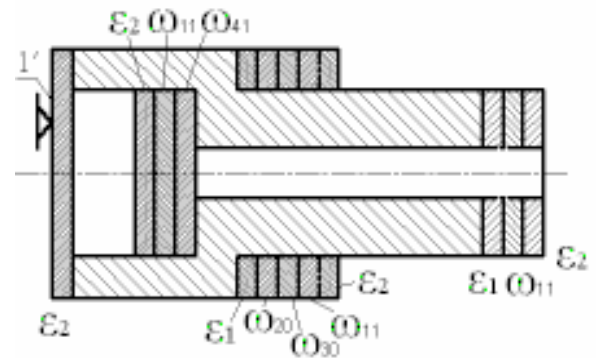
3. Detalė po tekinimo operacijos.



2. Detalės plokštumų padėčių paklaidų geometrinė struktūra po detalės tvirtinimo.



3. Detalės plokštumų padėčių paklaidų geometrinė struktūra po tekinimo operacijos.

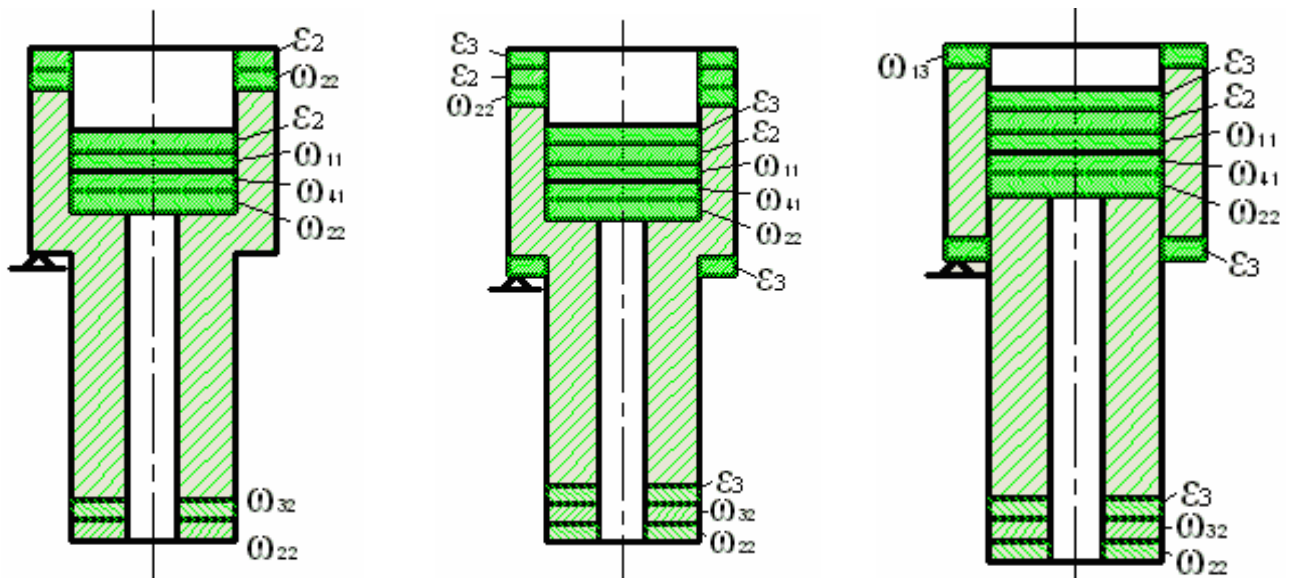


e) Šlifavimas.

1. Ruošinio plokštumų padėčių paklaidų geometrinė struktūra po bazavimo ( be tvirtinimo paklaidos ).

2. Detalės plokštumų padėčių paklaidų geometrinė struktūra po detalės tvirtinimo.

3. Detalės plokštumų padėčių paklaidų geometrinė struktūra po šlifavimo



2.2 pav. Detalės plokštumų padėčių paklaidų geometrinių struktūrų formavimas mechaninio apdirbimo metu.

## 2. Bazinės plokštumos padėties paklaida

Tvirtinant detalę bazinė plokštuma atsiremia į atramą ir šios plokštumos padėties paklaida yra lygi tvirtinimo paklaidai  $\epsilon_i$  ( indeksas  $i$  nurodo operacijos numerį ). Galima išskirti dvi tvirtinimo paklaidų rūšis. Pirma – kai bazinė plokštuma pasislenka dėl kontaktinės deformacijos tarp bazinės plokštumos ir atramos. Šis atvejis gaunasi tuomet, kai užspaudimo jėga veikia statmenai bazinei plokštumai. Antra – kai bazinė plokštuma tvirtinimo metu atsitraukia nuo atramos. Šis atvejis būdingas apdirbant veleno tipo detales, nes jas tvirtinant trijų kumštelių griebtuvuose, bazinė plokštuma ( kartu ir visa detalė ) atsitraukia nuo atramos.

Paklaidų grafe tvirtinimo paklaida pažymėta simboliu  $\epsilon_i$  . Briauna  $\epsilon_i$  išeina iš apskritimo su numeriu, kuriuo pažymėta bazinė plokštuma ir ateina į apskritimą  $x_i$  (  $i$  – operacijos numeris ).

### 3. Apdirbamos plokštumos padėties paklaida po detalės tvirtinimo.

Ši paklaida susidaro iš dviejų sudaromųjų:

- a) paklaida matmens, kuris jungia bazinę plokštumą ir apdirbamą plokštumą.
- b) tvirtinimo paklaida.

Pavyzdžiui, paimame šlifavimo operacijas, detalę įtvirtinus, plokštumos  $I'$  padėties paklaida prieš šlifavimą susidės iš matmens  $K$ , kuris jungia bazinę plokštumą  $2'$  ir apdirbamą paviršių  $I'$  paklaidos ir tvirtinimo paklaidos  $\varepsilon_3$ . Kadangi matmuo  $K$  jungia paviršius  $2'$  ir  $I'$ , iš grafo surandame paklaidų grandinę, kuri jungia plokštumas  $2'$  ir  $I'$ , t.y:

$$\omega_K = \varepsilon_2 + \omega_{22};$$

Tuomet plokštumos  $I'$  padėties paklaida prieš apdirbimą lygi:

$$\omega_1' = \varepsilon_2 + \omega_{22} + \varepsilon_3$$

Ši paklaida įeina į paviršiaus  $I'$  užlaidos paklaidą prieš apdirbimą ir todėl ją, kiek galima, reikia mažinti.

### 4. Matmens tarp dviejų apdirbtų plokštumų paklaida.

Ši paklaida yra lygi vienos ir kitos apdirbtos plokštumos padėčių paklaidų sumai t.y. operacinio matmens paklaidai. Pavyzdžiui, pirmoje tekinimo operacijoje apdirbamos dvi plokštumos: plokštuma  $I'$  – tekinimo peiliu, plokštuma  $4$  – ištekinimo peiliu. Matmens tarp plokštumų  $I'$  ir  $4$  paklaida bus lygi atskirų plokštumų  $I'$  ir  $4$  padėčių paklaidų sumai arba tiesiog šio operacinio matmens paklaidai.

Paklaidų grafe šias paklaidas nusako dvi briaunos, išeinančios iš apskritimo  $X_I$  (pirma operacija) į apskritimus  $I'$  ir  $4$ , t.y. briaunos  $\omega_{I1}$  ir  $\omega_{41}$ .

Vadinasi, matmens tarp plokštumų  $I'$  ir  $4$  paklaida yra lygi:

$$\omega_{I-4} = \omega_{I1} + \omega_{41};$$

### 5. Matmens tarp apdirbtos ir bazinės plokštumos paklaida.

Šio matmens paklaida yra lygi nurodytų plokštumų padėčių paklaidų sumai, t.y. apdirbtos plokštumos padėties paklaidos ir bazinės plokštumos tvirtinimo paklaidos sumai. Toje pačioje pirmojoje operacijoje matmens tarp bazinės plokštumos  $I'$  padėties paklaidos sumai.

Paklaidų grafe briauna, nusakanti tvirtinimo paklaidą, žymima  $\varepsilon_i$ . Nurodytu atveju tvirtinimo paklaida, bazuojant plokštuma **3**, pažymėta  $\varepsilon_1$ , kuri išeina iš apskritimo **3**. Plokštumos padėties paklaidą nusako briauna  $\omega_{11}$ , išeinanti iš apskritimo  $x_1$  į apskritimą **1'**. Vadinasi:

$$\omega_{3-1'} = \varepsilon_1 + \omega_{11}$$

## 6. Matmens tarp apdirbtos ir bet kurios kitos plokštumos paklaida.

Ši paklaida yra lygi apdirbtos plokštumos ir bet kurios kitos plokštumos padėties paklaidos sumai. Pavyzdžiui, panagrinėkime šlifavimo operaciją. Detalę įtvirtinus, plokštumos **1'** padėties paklaidą prieš šlifavimą susidės iš matmens **k**, kuris jungia plokštumą **3'** ir apdirbamą paviršių **1'**. Iš grafo surandame paklaidų grandinę, kuri jungia plokštumas **3'** ir **1'** t.y.

$$\omega_K = \varepsilon_2 + \omega_{32};$$

Tuomet matmens **k**, tarp apdirbtos ir bet kurios kitos plokštumos paklaida lygi:

$$\omega_K = \omega_{32} + \omega_{22} + \varepsilon_3 + \omega_{13};$$

## 7. Užlaidų paklaidos.

Užlaidų paklaidos žymimos  $\omega_{zji}$  kur indeksas **i** – parodo plokštumos numerį, o **j** – operacijos numerį. Paklaidų grafe šią paklaidą nusako grafo tiesė, kuri eina iš apdirbamos plokštumos paviršiaus prieš apdirbimą ir eina į apdirbamos plokštumos paviršių po apdirbimo. Pavyzdžiui norime pasiskaičiuoti kam lygi  $\omega_{z13}$  užlaidos paklaida. Grafe susirandame tarp kurių paviršių ši užlaida yra. Šiuo atveju tai paviršiai **1'** ir **1''**. Tad keliaudami nuo **1'** iki **1''** paviršiaus susumuojame visas paklaidas ir gauname kad  $\omega_{z13}$ :

$$\omega_{z13} = \varepsilon_2 + \omega_{22} + \varepsilon_3 + \omega_{13};$$

## 2.2 Plokštumų padėčių nustatymas pagal incidentinę matricią

Iš plokštumų padėčių paklaidų grafiko galima aiškiai matyti, kad kokių dedamųjų susideda atskiros plokštumos padėties paklaidos, atskirų matmenų ir užlaidų paklaidos. Tačiau šiuo grafu galima pasinaudoti tik rankinio skaičiavimo atveju.

Norint automatizuoti anksčiau nurodytą tikslumo analizę, paklaidų grafą reikia pakeisti incidentine matrica. Šioje matricioje ( 1.3 pav. ) eilutės atitinka grafo viršūnes, o stulpeliai – grafo briaunas. Susikirtimuose, kur briauna išeina iš viršūnės, rašomas -1, o susikirtimuose, kur

briauna ateina į viršūnę, rašomas 1. Panagrinėkime, kaip matricos pagalba surandamas anksčiau nurodytos plokštumų paklaidos.

| Briaunos<br>Viršūnės | $\omega_{20}$ | $\omega_{30}$ | $\omega_{10}$ | $\varepsilon_1$ | $\omega_{11}$ | $\omega_{41}$ | $\varepsilon_2$ | $\omega_{32}$ | $\omega_{22}$ | $\varepsilon_3$ | $\omega_{13}$ |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| $X_0$                | -1            | -1            | -1            |                 |               |               |                 |               |               |                 |               |
| 1                    |               |               | 1             |                 |               |               |                 |               |               |                 |               |
| 2                    | 1             |               |               |                 |               |               |                 |               |               |                 |               |
| 3                    |               | 1             |               | -1              |               |               |                 |               |               |                 |               |
| $X_1$                |               |               |               | 1               | -1            | -1            |                 |               |               |                 |               |
| 1'                   |               |               |               |                 | 1             |               | -1              |               |               |                 |               |
| 4                    |               |               |               |                 |               | 1             |                 |               |               |                 |               |
| $X_2$                |               |               |               |                 |               |               | 1               | -1            | -1            |                 |               |
| 2'                   |               |               |               |                 |               |               |                 |               | 1             | -1              |               |
| 3'                   |               |               |               |                 |               |               |                 | 1             |               |                 |               |
| $X_3$                |               |               |               |                 |               |               |                 |               |               | 1               | -1            |
| 1''                  |               |               |               |                 |               |               |                 |               |               |                 | 1             |

1.3 pav. Incidentinė matrica.

### 1. Plokštumos padėties paklaida po apdirbimo.

Surasti matricos stulpelį, kuris atitinka plokštumos padėties paklaidą po apdirbimo, gana paprasta, kadangi paklaida žymima  $\omega_{ij}$ , kur indeksas  $i$  parodo plokštumos numerį, o  $j$  – operacijos numerį. Pavyzdžiui, pirmos plokštumos padėties paklaidą po trečios ( šlifavimo ) operacijos nusako stulpelis  $\omega_{13}$ .

### 2. Bazinės plokštumos padėties paklaida.

Šios plokštumos padėties paklaidą ( tvirtinimo paklaidą ) surandame panašiai kaip ir pirmu atveju. Tvirtinimo paklaida žymima  $\varepsilon_I$  randame, kai  $-I$  yra penktoje eilutėje, kuri yra pažymėta skaičiumi 3. Čia tik reikalinga surasti, kuri plokštuma yra bazinė atskiroje operacijoje. Tai padaroma tokiu būdu. Stulpelyje  $\varepsilon_I$  ieškome  $-I$ . Toje eilutėje, kur buvo rasta  $-I$ , randame bazinės



plokštumos numerį. Pavyzdžiui, pirmoje operacijoje, stulpelyje  $\varepsilon_1$  randame, kad  $-1$  yra penktoje eilutėje, kuri yra pažymėta skaičiumi  $3$ . Vadinasi, plokštuma  $3$  ir yra bazė pirmoje operacijoje.

### 3. Apdirbamos plokštumos padėties paklaida po įtvirtinimo.

Šios plokštumos padėties paklaida susideda mažiausiai iš dviejų dedamųjų: tai plokštumos padėties paklaida, susidariusi prieš tai buvusiuose apdirbimuose ir kuri, savo ruožtu, gali būti sudėtinė, ir tvirtinimo paklaidos. Pagal matricą ji randama tokiu būdu. Priimame, kad reikia susirasti  $k$  plokštumos padėties paklaidą, kuri prieš apdirbimą bus žymima  $k'$ , o po apdirbimo  $k''$ . Matricoje surandame eilutę su  $k''$  ir einame ta eilute iki  $1$ . Tą stulpelį, kur yra  $1$ , atitinka tam tikra paklaida, priimame  $\omega_{a,b}$ . Šiame stulpelyje ieškome eilutės, kur bus  $-1$ . Toje eilutėje, kur radome  $-1$ , vėl ieškome stulpelio su  $1$ . Priimame, kad stulpelio paklaida yra  $\varepsilon_c$ . Toliau stulpelyje su  $1$  ieškome eilutės su  $-1$  ir t.t. Taip tęsiame paiešką tol, kol patenkame į eilutę su  $k''$ . Priimame, kad paskutinis stulpelis buvo  $\varepsilon_z$ . Tuomet visas surastas briaunas (paklaidas) surašome į eilutę paeiliui:  $\omega_{a,b}, \varepsilon_c, \dots, \varepsilon_z$ . Atmetame pirmąją dedamąją  $\omega_{a,b}$ , o likusios dedamosios sudarys plokštumos padėties paklaidą prieš apdirbimą. Pavyzdžiui, ieškome plokštumos  $I$  padėties paklaidą prieš šlifavimą, t.y. turime, kad prieš šlifavimą yra plokštuma  $I'$ , o po šlifavimo  $-I''$ . Surandame matricoje eilutę su  $I''$  ir einame šia eilute iki  $I$ . Tai yra eilutė  $x_3$ . Šioje eilutėje surandame  $I$ . Atitinkamas stulpelis pažymėtas  $\varepsilon_3$ . Šiame stulpelyje randame  $-1$  ir einame šia eilute iki  $I$ . Šis stulpelis pažymėtas  $\varepsilon_2$ . Eidami šiuo stulpeliu į viršų randame  $-1$ . Ši eilutė pažymėta  $I'$ . Todėl paieška baigiama. Surašome visas paklaidas iš eilės:

$$\omega_{13}, \varepsilon_3, \omega_{22}, \varepsilon_2$$

Atmetame pirmą elementą  $\omega_{13}$  ir tuomet plokštumos  $I$  padėties paklaida  $\omega_1'$  prieš apdirbimą yra lygi:

$$\omega_1' = \varepsilon_3 + \omega_{22} + \varepsilon_2$$

Tą patvirtina ir paklaidų geometrinė struktūra (1.2 pav.). Pirmoji paklaida  $\omega_{13}$  yra plokštumos  $I$  padėties paklaida po apdirbimo.

### 4. Matmens tarp dviejų apdirbtų plokštumų paklaida.

Ši paklaida, kaip jau minėta, lygi dviejų apdirbtų plokštumų padėčių paklaidų sumai t.y. operacinio matmens paklaidai. Pavyzdžiui, antroje tekimo operacijoje apdirbamos  $2'$  ir  $3'$  plokštumos. Matmens tarp šių plokštumų paklaida bus lygi atskirų plokštumų  $2'$  ir  $3'$  padėčių paklaidų sumai. Taigi šios sumos dedamiesiems rasti pasinaudosime incidentine matrica. Pradėsime nuo plokštumos  $3'$  apdirbimo. Matricoje susirandame plokštumą  $3'$  ir eilute keliaujame iki to

stulpelio kuriame yra įrašytas  $I$ . Stulpeliu kuriame įrašytas  $I$ , kylame aukštyn kol randame eilutę su  $-I$ . Nusirašome stulpelio reikšmę  $\varepsilon_3$ . Toliau nuo langelio su reikšme  $-I$  keliaujame į dešinę kol randame langelį su  $I$ . Visa šita procedūra pakartojame kol atkeliaujame iki eilutės kurios reikšmė yra  $x_0$ . Rezultate gauname:

$$\omega_{32}, \varepsilon_2, \omega_{11}, \varepsilon_1, \omega_{30};$$

$$\omega_{22}, \varepsilon_2, \omega_{11}, \varepsilon_1, \omega_{30}$$

Elementai kurie kartojasi atmetame ir tuomet gauname:

$$\omega_B = \omega_{32} + \omega_{22};$$

### 5. Matmens tarp apdirbtos ir bazinės plokštumos paklaida.

Paklaida bus lygi apdirbtos ir bazinės plokštumos padėčių paklaidų sumai, t.y. apdirbtos plokštumos padėties paklaidos ir bazinės plokštumos tvirtinimo paklaidos sumai. Kaip pavyzdį galime imti pirmą tekinimo operaciją. Bazinės plokštumos  $3$  ir apdirbtos plokštumos  $1'$  padėties paklaida yra lygi tvirtinimo paklaidos ir plokštumos  $1'$  padėties paklaidos sumai.

Matricoje susirandame viršūnę  $3$  ir eilutę keliaujame iki  $I$ . Stulpeliu kylame aukštyn iki langelio, kuriame įrašytas  $-I$ . Nusirašome stulpelio reikšmę  $\omega_{30}$ . Sekantis žingsnis – susirandame eilutę su viršūnės reikšme  $1'$ . Eilutę keliaujame iki  $I$ . Tada stulpeliu kylame aukštyn kol randame reikšmę  $-I$ . Nusirašome stulpelio reikšmę  $\omega_{11}$ . Eilutę keliaujame kol randame  $I$ . Kylame stulpeliu aukštyn kol randame reikšmę  $-I$ . Vėl nusirašome stulpelio reikšmę  $-\varepsilon_1$ . Keliaujame stulpeliu kol sutinkame  $I$ . Kylame stulpeliu aukštyn kol sutinkame reikšmę  $-I$ . Šio stulpelio reikšmę užsirašome -  $\omega_{30}$ . Kadangi reikšmės  $\omega_{30}$  kartojasi, jas abi atmetame. Rezultate gauname kad:

$$\omega_{3-1'} = \omega_{11} + \varepsilon_1.$$

### 6. Matmens tarp apdirbtos ir bet kurios kitos plokštumos paklaida.

Ši matmens paklaida taipogi lengvai randama pasinaudojus incidentine matrica. Kaip pavyzdį galime panagrinti šlifavimo operaciją. Detalė tvirtinama paviršiumi  $2'$ , o apdirbamas bus paviršius  $1'$ . Kad sužinotume matmens tarp paminėtų plokštumų paklaidą, turėsime surasti sudarančiuosius narius. Susirandame matricoje plokštumą  $2'$  ir keliaudami link  $x_0$  susirašome dedamuosius narius:

$$\omega_{22} \varepsilon_2 \omega_{11} \varepsilon_1 \omega_{30}$$

Taip pat surandame ir paviršiaus  $I'$  dedamuosius narius:

$$\omega_{11} \varepsilon_1 \omega_{30}$$

Kadangi nariai  $\omega_{11} \varepsilon_1 \omega_{30}$  kartojasi, juos mes išbraukiame ir susirašome likusiuosius narius:

$$\omega_{22} \varepsilon_2$$

Matmens tarp apdirbtos ir bet kurios kitos plokštumos paklaidą susidės iš likusių narių sumos. Tai yra :

$$\omega_{2'1'} = \omega_{22} + \varepsilon_2 ;$$

## 7. Užlaidų paklaidos.

Užlaidų paklaidos tai paklaidų suma kuri susidaro apdirbant viena paviršių. Kaip pavyzdį galime panagrinėti  $\omega_{z11}$  užlaidos paklaidą. Ji susidaro tekinant paviršių  $I$ . Matricoje susirandame paviršių  $I'$  ir keliaudami lentelę susirašome narius:

$$\omega_{11} \varepsilon_1 \omega_{30}$$

Tą patį pakartojame su paviršiumi  $I$  :

$$\omega_{10}$$

Susumavus visas paklaidas sužinome kam lygi užlaidos paklaidą:

$$\omega_{1-1'} = \omega_{11} + \varepsilon_1 + \omega_{30} + \omega_{10} ;$$

## IŠVADOS

1. Gaminant veleno tipo detales ilgio matmenų paklaidoms turi įtakos tvirtinimo paklaida.
2. Pasinaudojus grafais galima rasti optimalų detalės bazavimo variantą, kurio dėka gautume mažiausias plokštumų padėčių paklaidas.
3. Incidentinės matricos pagalba galime paklaidų skaičiavimą pritaikyti elektroniam duomenų apdorojimui.

## REZIUMĖ

Janavičius E., Veleno tipo detalių plokštumų padėčių paklaidų formavimas. Mechanikos inžinerijos magistro tezės / vadovas doc. J. Rimkus; Šiaulių universitetas, Mechanikos technologijos katedra. – Šiauliai, 2006. – 31p.

Tiriamąjį darbą „Veleno tipo detalių plokštumų padėčių paklaidų formavimas“ sudaro 28 iliustracijos, 5 bibliografiniai šaltiniai.

Tyrimo objektas – detalės plokštumų padėčių paklaidos.

Tyrimo tikslas – plokštumų padėčių paklaidų formavimasis apdirbimo proceso metu.

Darbe pateiktos veleno tipo detalės plokštumų padėčių paklaidų formavimasis apdirbimo metu. Plokštumų padėčių paklaidų grandinės sudarytos pasinaudojus grafų pagalba. Detalės apdirbimo procese atsiranda paklaidos, todėl sunku nustatyti kokie galutiniai matmenys gausis pilnai detalę apdirbus. Darbe nagrinėta kokios plokštumų padėčių paklaidos apdirbimo procese susidaro ir išnyksta, o kurios išlieka baigus apdirbimo procesą. Atskiri plokštumų padėčių paklaidų atvejai buvo išnagrinėti pasinaudojus grafais ir incidentine matrica.

## SUMMARY

E. Janavičius „Surface position errors formation for axel type parts”. Mechanical Engineering Master’s Theses / Leader ass.prof J.Rimkus; Siauliai University, Chair of mechanical Technology. – Siauliai, 2006 – 31p.

The investigation work „Surface position errors formation for axle type parts” consists of 28 figures, 5 references.

Subject of investigation is surface position errors of the parts.

Aim of the investigation is formation of surface position errors in manufacturing process.

Axel type parts surface position errors formation during treatment, are presented in the work. The surface position error chains are made with a help of graphs. It is hard to estimate what will be the eventual measurement after the part is fully made, because of the errors that appear in the manufacturing process. In this work were analyzed what surface position errors appears and disappears and witch stays after manufacturing process is over. Using graphs and incidentic matrix were analyzed different surface position errors occasions.

## LITERATŪRA

1. Stasiūnas R. Naginevičienė L., Markšaitis D. Technologinių matavimų pagrindai, tolerancijos ir suleidimai.- Kaunas.: Technologija, 1994.-155p.
2. Солонин И. С., Солонин С.И. расчёт сборочных и технологических размерных цепей. – М.: Машиностроение, 1980.-110с.
3. Размерный анализ технологических процессов/ В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1962.-324с.
4. V. Vetkeris, A .Kasparaitis, S. Stasiūnas, R. Kanapinas. Matavimų teorija ir praktika. Vilnius.: Žiburio leidykla, 2000.-380p.
5. М. Свами. К. Тхуласираман. Графы, сети и алгоритмы.
6. Сайт: Хабаровского института инженеров железнодорожного транспорта  
*[http://www.dvgups.ru/METDOC/ENF/PRMATEM/DISK\\_MATEM/METHOD/](http://www.dvgups.ru/METDOC/ENF/PRMATEM/DISK_MATEM/METHOD/)*