

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Marius Nutautas

DETALĖS GEOMETRINIŲ IR KITŲ PAKLAIDŲ ĮTAKA UŽLAIDOMS  
IR TARPINIAMS MATMENIMS

MAGISTRO DARBAS

**DARBO VADOVAS**  
doc. J. Rimkus

ŠIAULIAI, 2007

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

**TVIRTINU**  
Katedros vedėjas  
lekt. Z.Ramonas

2007-

DETALĖS GEOMETRINIŲ IR KITŲ PAKLAIDŲ ĮTAKA UŽLAIDOMS  
IR TARPINIAMS MATMENIMS

MAGISTRO DARBAS

**MAGISTRANTAS** MM-5 gr. stud.  
M. Nutautas

**DARBO VADOVAS** doc. J. Rimkus

**RECENZENTAS** doc. A. Pavilionis

ŠIAULIAI, 2007

Master student M.Nutautas  
Scientific adviser J.Rimkus  
Šiauliai University  
Department of Mechanical Technology  
2007.06.06 Šiauliai

## **SUMMARY**

The subject of the work: The influence of geometric and other errors for overlaps and idle measurement.

The object of the research: The calculation of overlaps constituent and minimal idle measurement.

The aim of the research was to reveal the influence of the geometric and other errors for overlap details and idle measurements. What is the change of the aspect of minimal measurement after manufacturing when the surface of the detail is convex or concave. The research has determined the minimal overlaps, when there are errors of the base and manufactured surface inter – position, also the influence of the cutter decrease and resilience was determined.

# TURINYS

<b>IVADAS</b> .....	<b>5</b>
<b>1. UŽLAIDŲ NUSTATYMO BŪDAI</b> .....	<b>6</b>
1.1 Užlaidos.....	6
1.2 Veiksniai nuo kurių priklauso užlaida.....	8
1.3 Tarpinių užlaidų skaičiavimas.....	8
1.4 Minimali tarpinė užlaida.....	11
1.5 Tarpinių ir pradinių ruošinio matmenų skaičiavimas.....	12
1.6 Paviršiaus banguotumas.....	17
1.7 Paviršiaus šiurkštumas.....	17
1.8 Optimali užlaida .....	18
1.9 Paklaidos dėl tampriųjų deformacijų ir jų mažinimas.....	19
1.10 Paklaidos dėl įrankio dilimo.....	22
<b>2. DETALĖS GEOMETRINIŲ IR KITŲ PAKLAIDŲ ĮTAKA, UŽLAIDOMS IR TARPINIAMS MATMENIMS</b> .....	<b>24</b>
2.1 Prizminių detalių kreivumo įtaka, užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimui.....	24
2.2 Paviršių tarpusavio padėties tikslumo įtaka, užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimui.....	33
2.3 Pjovimo įrankio dilimo ir temperatūrinių deformacijų įtaka, užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimui.....	39
<b>3. IŠVADOS</b> .....	<b>41</b>
<b>LITERATŪRA</b> .....	<b>42</b>

## PAVEIKSLAI

1. Užlaidos struktūros schema.....	7
2. Ruošinio paviršiaus sluoksniai.....	9
3. Erdvinės ir formos nuokrypos.....	9
4. Užlaidų ir tarpinių matmenų schema.....	13
5. Užlaidų ir tarpinių, bei tolerancijų ryšio schema.....	14
6. Paviršiaus banguotumo parametrai.....	17
7. Tampraus poslinkio schema.....	20
8. Formos paklaidų, atsirandančių dėl sistemos nestandumo pavyzdžiai.....	21
9. Paviršiaus dilimo kreivės.....	22
10. Schema minimaliems matmenims nustatyti ( $a_i^{\min}$ arba $a_{i-1}^{\min}$ ), kai išgaubta arba įgaubta tik kreipiamoji bazė.....	25
11. Matmens $a_{i-1}^{\min}$ matmenų grandinė.....	25
12. Prizminių detalių paviršiaus išgaubtumo $\Delta_{is}$ įtaka, operacinių matmenų dydžiui.....	27
13. Schema minimaliems matmenims nustatyti ( $a_i^{\min}$ arba $a_{i-1}^{\min}$ ), kai išgaubta detalė, ją tvirtinant, užima bet kurią iš dviejų galimų padėčių.....	29
14. Schema dydžiams apskaičiuoti, kai išgaubtas arba įgaubtas paviršius yra atraminė bazė.....	30
15. Apdirbamo ir bazinių paviršių tarpusavio padėties paklaidos įtaka minimalios užlaidos ir minimalių tarpinių matmenų skaičiavimui.....	33
16. Apdirbamo ir bazinių paviršių tarpusavio padėties paklaidos įtaka minimalios užlaidos ir minimalių tarpinių matmenų skaičiavimui.....	34
17. Apdirbamo ir bazinių paviršių tarpusavio padėties paklaidos įtaka minimalios užlaidos ir minimalių tarpinių matmenų skaičiavimui.....	35
18. Apdirbamo ir bazinių paviršių tarpusavio padėties paklaidos įtaka minimalios užlaidos ir minimalių tarpinių matmenų skaičiavimui.....	36
19. Minimalių ir maksimalių užlaidų sudaromosios ir tarpiniai matmenys.....	40
20. Paklaidų grandinė.....	40

# ĮVADAS

## Tyrimo aktualumas:

Šiuo metu sparčiai vystantis modernioms technologijoms vis labiau aktualesnis tampa užlaidų ir tarpinių matmenų klausimas. Jau senai žinoma, kad nuo užlaidos dydžio labai priklauso gaminio savikaina ir jo kokybė. Padidinus užlaidą galima pastebėti, kad padidėja visos gaminio savikainos dedamosios, t.y. reikės daugiau medžiagos, nuimant didesnę metalo sluoksnį, greičiau nudils įrankis, bus sunaudota daugiau elektros energijos ir t.t. Taigi jau senai mašinų gamyboje buvo iškeltas uždavinys, kuo tiksliau apskaičiuoti užlaidas, kad sumažinti gamybos kaštus.

Todėl šiame tyriamajame darbe, bandysime panagrinėti, kokią įtaką detalės užlaidoms ir tarpiniams matmenims, turės jos geometrinės ir kitos paklaidos. Kaip keisis minimalaus matmens  $a_i^{\min}$  išraiška po apdirbimo, kai detalės paviršius bus išgaubtas arba įgaubtas. Nustatysime minimalias užlaidas, esant bazinių paviršių ir apdirbamo paviršiaus tarpusavio padėties paklaidoms, taip pat įvertinsime pjovimo įrankio dilimo ir temperatūrinių deformacinių įtaką.

## Darbo problema:

Griežtėjant konkurencinėm sąlygom, bei augant gamybinių išteklių kainom, kaip jau žinome vienas svarbiausių gamybos uždavinių, tapo – savikainos mažinimas. Tinkamai patikslinti užlaidų skaičiavimai mums leis optimaliai rinktis užlaidą ir taip sutaupyti gamybinių išteklių lėšas. Be to užlaida gali įtakoti visą gamybinį procesą. Kuo daugiau operacijų ar pakopų reikės užlaidai pašalinti, tuo bus ilgesnis detalės gamybos ciklas, o tuo pačiu ir didesnė gaminio savikaina.

## Tyrimo objektas:

Užlaidų dedamųjų ir tarpinių matmenų skaičiavimas.

## Tyrimo tikslas:

- Nustatyti ribinių užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimo metodiką esant paviršių įgaubtumui ir išgaubtumui.
- Nustatyti ribinių užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimą esant technologinių bazių ir apdirbamų paviršių tarpusavio padėties tikslumui.
- Išnagrinėti ribinių užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimą, įvertinant pjovimo įrankio dilimą, jo temperatūrines deformacijas bei tampriąsias technologinės sistemos deformacijas dėl ruošinio kietumo kitimo.

# 1. UŽLAIDŲ NUSTATYMO BŪDAI

## 1.1 Užlaidos

Pagrindinis mašinų gamybos uždavinys – užtikrinti gaminių reikalaujamą kokybę esant mažiausioms bendroms sąnaudoms. Iškeltam uždaviniui didelę reikšmę turi optimalių užlaidų nustatymas technologiniam apdirbimui. Nuo jų dydžių priklauso medžiagos panaudojimas ir technologinių operacijų efektyvumas. [3]

Užlaida yra vadinamas medžiagos sluosnis, kurį reikia pašalinti nuo ruošinio, norint gauti nustatytas apdirbamo paviršiaus savybes. Apdirbamo paviršiaus savybė gali būti matmuo, forma, kietumas, šiurkštumas ir t.t.

Užlaida, pašalinama atliekant vieną technologinę operaciją yra vadinama *operacine užlaida*. Operacijos užlaida ne visada pašalinama vienu kartu. Jeigu užlaida pašalinama viena technologijos pakopa, ji vadinama pakopos užlaida, o visų operacijų metu pašalinamų užlaidų visuma, sudaro bendrąją užlaidą (žr. pav. 1.1).

Užlaidos yra matuojamos apdirbamam paviršiui statmena kryptimi. Jos gali būti simetrinės ir nesimetrinės. Jei iš abiejų ruošinio pusių pašalinamas vienodas medžiagos sluoksniu, tokia užlaida vadinama simetrine, o jei nevienodas, – nesimetrine. Užlaidos gali būti nurodytos vienam arba dviem šonams. Simetrinės sukimosi paviršių užlaidos, dažnai nurodomos skersmeniui ir žymimos  $2z$ . Taip pat gali būti nurodomos ir žymimos simetrinės užlaidos dviem priešpriešiais esančiomis plokštumoms [6]:

$$2z = D_{ruoš.} - D_{det} \quad (1.1.1)$$

čia,  $z$  – bendroji užlaida vienam cilindrinio detalės paviršiaus šonui;  $D_{ruoš.}$  - ruošinio skersmuo;  
 $D_{det.}$  - detalės skersmuo;

$$2z = \sum_{i=1}^n 2z_i \quad (1.1.2)$$

čia,  $z_i$  –operacijos užlaida vienam cilindrinės detalės paviršiaus šonui;  $n$  – operacijų skaičius.

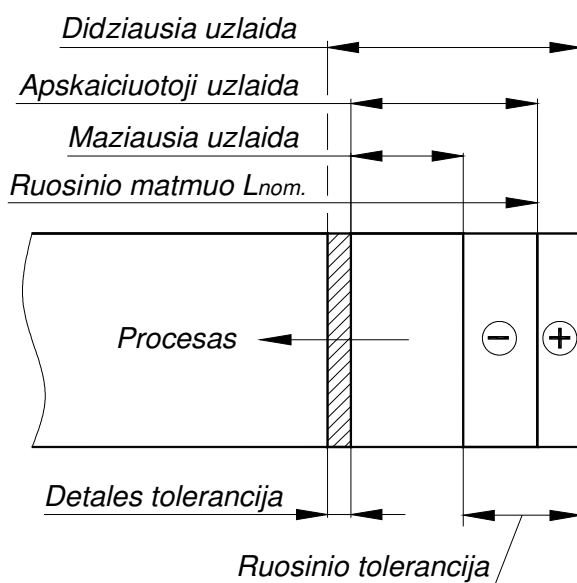
Užlaida reikalinga tam, kad detalės paviršių būtų galima gauti glotnų ir tokių savybių, kokių reikalaujama techninėse sąlygose; nuėmus užlaidą, turi nelikti paruošimo ir tarpinių operacijų metu sugadintų medžiagos sluoksnių, neapdirbtų paviršių. [3]

Užlaidų dydis turi svarbią reikšmę projektuojamam technologijos procesui. Jeigu užlaida yra per didelė, detalei pagaminti sunaudojama daug medžiagos, daromos papildomos technologijos pakopos, papildomai gaištamas laikas, eikvojama energija, dyla pjovimo įrankiai. Todėl padidėja detalės savikaina. Didelės užlaidos pasitaiko vienetinėje gamyboje, kai apdirbami netikslūs ruošiniai. Norint, kad užlaidos būtų mažos, reikia gaminti kuo tikslesnius ruošinius. Nors pradinės paruošimo išlaidos ir padidėja, bet užtat labai paspartėja ir atpinga gamyba.

Jeigu paviršinis ruošinio sluoksnis yra atsparus dilimui, negerai, kai dėl per didelės užlaidos jis yra pašalinamas. Kita vertus, užlaida negali būti per daug maža, nes jos gali neužtekti ruošinio ar ankstesnio apdirbimo paklaidoms ištaisyti, netinkamam paviršiaus sluoksniui pašalinti ir reikiamam mikronelygumų aukščiui gauti. Dėl mažos užlaidos gali susidaryti netinkamos pjovimo įrankio darbo sąlygos, jam pjaunant liejimo plutą arba sukietintą sluoksnį. Per maža užlaida gali būti broko priežastis.

Šios priežastys verčia siekti optimalių užlaidų. Optimalios užlaidos nustatymas siejasi su ruošinio matmenų ir tarpinių ruošinio apdirbimo matmenų ir tolerancijų nustatymu. Ruošinys turi būti kaip galima tikslesnis, ypač jeigu toliau jį numatoma apdirbti automatinio matmenų gavimo būdu, nes netikslų ruošinį sunku tvirtinti įtaisuose ir pasiekti reikiamą apdirbimo tikslumą. Štampams, presformoms, modeliams, gurgdėžėms, įtaisams, specialiems pjovimo ir matavimo įrankiams konstruoti ir įrengimams derinti reikia žinoti ir ruošinio matmenis, ir tarpinius matmenis, gautus po vienos ar kelių operacijų. Turint optimalias užlaidas, galima teisingai apskaičiuoti ruošinių masę, pjovimo režimus, normuoti. [6]

Bendrosios užlaidos schema parodyta 1.1 paveiksle. [3]



Pav. 1.1 Užlaidos struktūros schema



## 1.2 Veiksniai nuo kurių priklauso užlaida

Užlaida priklauso nuo sugadinto detalės paviršiaus sluoksnio storio t.y nuo lietų ruošinio plutos storio; valcuotų gaminių, nuanglinto sluoksnio storio; paviršiaus nelygumų gylio, tuštumų, įtrūkimų ir kitų defektų; nuo neišvengiamų gamybinių ir technologinių paklaidų, priklausančių nuo ruošinio gamybos būdo, jo apdirbimo, staklių paklaidų ir kitų technologinių veiksnių. [5]

Suminė paklaida – tai ruošinio paklaidų, atsirandančių atliekant atskiras technologines operacijas, visuma. Reikia numatyti užlaidą paklaidoms, atsirandančioms atliekant technologines operacijas. Ji turi būti tokio didumo, kad atlikus paskutinę operaciją, būtų gautas reikiamos kokybės ruošinys.

Gamybinės paklaidas sudaro matmenų nuokrypos, geometrinės formos ir tarpusavyje susijusių paviršių padėties nuokrypos, paviršių mikronelygumai, paviršių defektinio sluoksnio storis. Paviršiaus geometrinės formos paklaida (ovalumas, briaunuotumas, kūgiškumas, išgaubtumas, įgaubtumas), neturi būti didesnė už matmens tolerancijos lauko dydį, numatytą leistinoms geometrinėms paklaidoms padengti.

## 1.3 Tarpinių užlaidų skaičiavimas

Tarpinė užlaida turi būti apskaičiuojama taip, kad ją nupjaunant, būtų pašalintas ankstesnėse pakopose atsiradusios apdirbimo paklaidos ir paviršiaus sluoksnio defektai, taip pat ruošinio pastatymo kitai operacijai paklaidos. Svarbu yra tai, kad šio būdo metodikoje įvertinamos konkrečios technologijos proceso sąlygos. Dėl to ir projektuojant naujus technologijos procesus, ir analizuojant jau naudojamus, galima mažinti medžiagų sąnaudas ir darbo imlumą. [6]

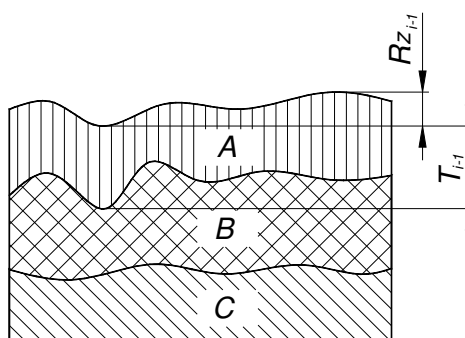
Užlaidos didumas nustatomas dviem metodais: masinėje ir stambiaserijinėje gamyboje – atliekant analitinį skaičiavimą (pagal prof. V.Kovano metodiką), vienetinėje ir serijinėje gamyboje – parenkamos iš lentelių.

*Užlaidos didumą lemia keturi pagrindiniai veiksniai [3]:*

1. Paviršiaus nelygumai  $Rz_{i-1}$ , susidarę ankstesniame apdirbimo etape, pirminiame ruošinyje arba mechaniškai apdirbant. Dabartinė pakopa ar operacija žymima indeksu  $i$ , ankstesnėje –  $i-1$ . Pirmojoje operacijoje skaičiavimams imamas ruošinio mikronelygumų aukštis. Antrojoje operacijoje reikia pašalinti pirmojoje operacijoje atsiradusius mikronelygumus, trečioje – antrojoje operacijoje atsiradusius mikronelygumus ir t.t.

2. Storis  $T$  sugadinto, defektinio sluoksnio, kurį reikia pašalinti, norint gauti reikiamos kokybės paviršių (1.2. pav.). Liejiniuose tai gali būti kietas perlitinis sluoksnis su formavimo

žemės likučiais; kaltinių, šlifuotų ir valcuotų ruošinių paviršiuje - nuanglintas sluoksnis, iš kurio kaitinant išdegė anglis; mechaniškai apdirbtų ruošinių - sukietintas sluoksnis.



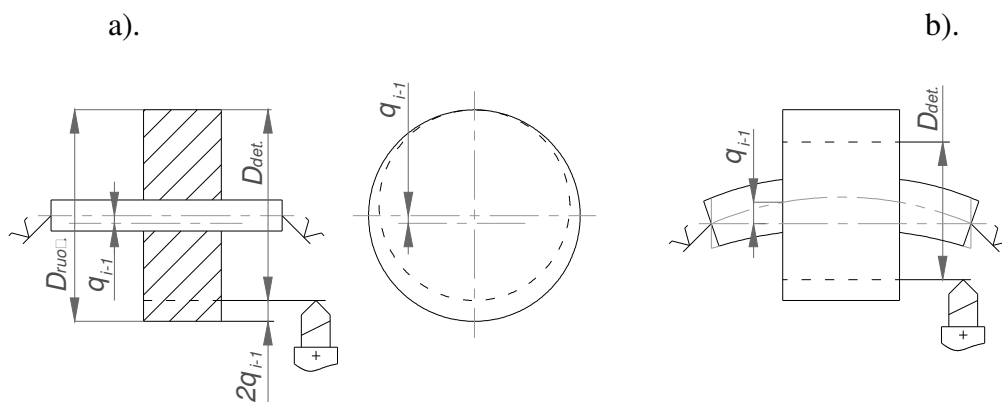
1.2 pav. Ruošinio paviršiaus sluoksniai: A – pašalinamoji paviršiaus sluoksnio dalis;

B – nešalinamoji paviršinio sluoksnio dalis; C – pagrindinė struktūra.

$Rz_{i-1}$  - mikronelygumų aukštis;  $T_{i-1}$  - šalinamo sluoksnio gylis

Dažnai detalės paviršiai, norint sumažinti dilimą, specialiai sukietinami (paviršius grūdinamas, atbalinamas, plastiškai deformuojamas). Tokiais atvejais nuimama tik dalis, kuri būtina šio sluoksnio glotnumui pagerinti. Sukietintas sluoksnis susidaręs po mechaninio apdirbimo piaunant arba šlifuojant, taip pat dažnai yra naudingas – pagerėja apdirbamumas, esti patvaresnis paviršius, todėl stengiamasi jo nepašalinti.

3. Erdvinės nuokrypos, paviršių kampinės ir linijinės nuokrypos  $\rho_{i-1}$  bazavimo paviršių atžvilgiu, paviršių nelygiagretumas ar nestatmenumas baziniams paviršiams, tekinamų kakliukų ekscentricitetas centrų linijos arba bazinių kakliukų atžvilgiu, tekinamo ruošinio įlinkis, plokštumų neplokštumas ir kt. (žr. 1.3 pav.).



1.3 pav. Erdvinės ir formos nuokrypos:

a). ekscentricitetas; b). įlinkis

Į tarpinę minimalią užlaidą neįskaitomas matmenų ir formos nuokrypos, nes išoriniams paviršiams minimali užlaida apskaičiuojama nuo mažiausio ribinio ruošinio matmens, o vidiniams paviršiams – nuo maksimalaus ribinio matmens. Visos šių matmenų nuokrypos didina tikrąją užlaidą. Be to, geometrinės formos paklaidos sudaro tik dalį matmens tolerancijos.

4. Tvirtinimo paklaida  $\varepsilon_y$ . Tarpinės operacijos nustatymo paklaida suprantama, kaip suminė bazavimo  $\varepsilon_b$  ir tvirtinimo  $\varepsilon_{tv}$  paklaida. Dėl tvirtinimo paklaidos gaminamos partijos detalės suderintose (nustatytam matmeniui) staklėse užima skirtingas padėtis. Padėties nepastovumui kompensuoti skiriama papildoma užlaidos dalis. Apdirbamo paviršiaus padėtis gali pasikeisti dėl pačių bazinių paviršių, bazavimo įtaisų ir jų atramų netikslumo arba išdilimo, taip pat, individualiai tvirtinant ir matuojant kiekvieną ruošinį, - dėl nevienodos suspaudimo jėgos. Tvirtinimo paklaidos nebus, jei technologinė sistema bus standi ir jei bazavimo paklaida, statant detalę tiesiog ant staklių stalo, bus lygi nuliui. [3]

Jeigu ruošinio partija yra apdirbama automatinio matmenų gavimo būdu, įtvirtinus įtaise ir prispaudus jėga  $Q$ , kiekvieno ruošinio apdirbamasis paviršius atsidurs skirtingoje padėtyje, nes skirsis jų prispaudimo sąlygos. Dėl prispaudimo jėgos  $Q$  nevienodumo ir dėl skirtingo ruošinio bazavimo paviršiaus kietumo vienas ruošinys bus labiau įspaustas į atramas ir atsidurs žemesnėje, o kitas – mažiau įspaustas – aukštesnėje padėtyje. Ruošinių poslinkis vertikalia kryptimi svyruos nuo  $y_{\max}$  iki  $y_{\min}$ . Tvirtinimo paklaida:

$$\varepsilon_y = y_{\max} - y_{\min} \quad (1.3.1)$$

$\varepsilon_y$  turi būti mažesnė už norimo gauti matmens toleranciją. Jeigu taip nėra, reikia taikyti bandomųjų ėjimų metodą. Jeigu įtaisuose įtvirtinama pneumatiniiais, hidrauliniiais ar kitokiais mechanizuotais įrengimais ir prispaudimo jėga nedaug svyruoja,  $\varepsilon_y$  mažai teturi įtakos užlaidos dydžiui.

Paviršiaus, kuriam skaičiuojama užlaida, formos paklaidos – cilindrinų paviršių ovališkumas, kūgiškumas, statinis pavidalas, plokštumų iškilimai ir įdubimai ir kt. – įtakos užlaidos dydžiui neturi. Taip yra todėl, kad išorinio paviršiaus užlaida matuojama nuo ruošinio mažiausiojo matmens, o vidinio paviršiaus – nuo didžiausiojo. [6]

## 1.4 Minimali tarpinė užlaida

Minimali tarpinė užlaida apskaičiuojama iš šių bendrų formulių:

a). Skaičiuojant minimalią užlaidą vienam detalės paviršiui:

$$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i \quad (1.4.1)$$

b). Užlaida dviem šonams, lygiagrečiai apdirbant priešpriešiais esančias plokštumas:

$$2Z_i^{\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i) \quad (1.4.2)$$

c). užlaida skersmeniui, apdirbant išorinius arba vidinius sukimosi paviršius:

$$2Z_i^{\min} = 2\left(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1} + \varepsilon_i}\right) \quad (1.4.3)$$

Indeksas (i) formulėse reiškia nagrinėjamąjį, skaičiuojamąjį perėjimą, o indeksas (i-1) – ankstesnę operaciją. Kai kada priklausomai nuo operacijos atlikimo aplinkybių vienos ar kitos dedamosios formulėse gali ir nebūti. Pavyzdžiui, plečiant laisvai įtvirtintu plėstuvu arba traukiant skylę pratrauktuvu, skylės ašies padėtis neištaisoma, o nustatymo paklaidos nėra. Tada (1.4.3) formulė suprastėja:

$$2Z_i^{\min} = 2\left(Rz_{i-1} + T_{i-1}\right) \quad (1.4.4)$$

Skaičiuojant grūdintų detalių šlifavimo užlaidą, nereikalingas dėmuo  $T_{i-1}$ .

Prieš apskaičiuojant užlaidas, išnagrinėjamas ruošinio gavimo ir tolesnio apdirbimo pjovimo technologinis procesas. Užlaida neturi būti mažesnė už tokį pjovimo gylį, kuriam esant įrankio darbas tampa nestabilus. Pavyzdžiui, aštriai pagalastas tekinimo peilis gali pjauti  $5 \mu m$  storio drožlę. Tačiau labai greitai pjaunančioji briauna suapvalėja ir peilis pjauna tik  $10...20 \mu m$  drožlę. Dėl tokių ir panašių piežaščių apskaičiuotoji minimali užlaida gali būti padidinama.

Formulėse (1.4.1), (1.4.2) ir (1.4.3) trečiasis dėmuo  $\rho$  yra erdviųjų nuokrypų - vektorių suma  $\rho = \rho_1 + \rho_2$ , ketvirtasis dėmuo  $\varepsilon$  - bazavimo ir tvirtinimo dydžių – vektorių suma:  $\vec{\varepsilon} = \vec{\varepsilon}_b + \vec{\varepsilon}_tv$ . Vektoriai, kurių kryptys sutampa (yra koliniariūs), pavyzdžiui, apdirbant plokštumas, sumuojami aritmetiškai.

Erdvines nuokrypas kartais gali sudaryti net trys dedamosios, kurių kiekviena gali būti vektorius. Pavyzdžiui, apdirbant laiptuotą veleną, viduriniojo kakliuko ašies padėties nuokrypa tuo pat metu gali priklausyti nuo trijų veiksnių: centrų skylių padėties paklaidos, kitų kakliukų ašių nesutapimo ir ruošinio įlinkio (1.3 pav.). Šiuo atveju labiausiai tikima  $\rho_{i-1}$  suminė reikšmė, kai  $\rho_1 \geq \rho_2 \geq \rho_3$ , bus tokia [3]:

$$\rho_{i-1} = (\bar{\rho}_1 + \bar{\rho}_2 + \bar{\rho}_3) = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \rho_3^2} \approx 0.96\rho_1 + 0.39\rho_2 + 0.3\rho_3 \quad (1.4.5)$$

### 1.5 Tarpinių ir pradinių ruošinio matmenų skaičiavimas

Minimalia skaičiuojamąja išorinių paviršių užlaida  $Z^{\min}$  laikomas skirtumas tarp minimalių ruošinio matmenų gretimuose perėjimuose, o vidinių paviršių atvirkščiai – skirtumas tarp maksimalių ruošinio matmenų [3]. Apskaičiavus užlaidas, apskaičiuojami ruošinio matmenys, kurie turi būti gauti po kiekvienos pakopos ar operacijos [6]. Paskutinės operacijos tolerancija turi būti lygi paviršiaus galutinio apdirbimo tolerancijai. Taigi išoriniams paviršiams (1.4 pav.) [3]:

$$Z_i^{\min} = a_{i-1}^{\min} - a_i^{\min} \quad (1.5.1)$$

$$2Z_i^{\min} = d_{i-1}^{\min} - d_i^{\min} \quad (1.5.2)$$

Vidiniams paviršiams atitinkamai:

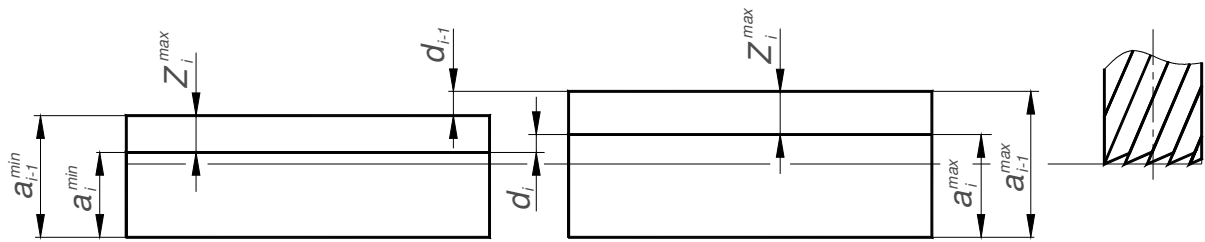
$$Z_i^{\min} = a_i^{\max} - a_{i-1}^{\max} \quad (1.5.3)$$

$$2Z_i^{\min} = D_{i-1}^{\max} - D_i^{\max} \quad (1.5.4)$$

čia, indeksas (i) reiškia skaičiuojamąjį perėjimą, (i-1) – ankstesnįjį perėjimą; a – atskirų paviršių matmenys; d – išoriniai skersmenys; D – vidiniai skersmenys.

Dirbant automatinio matmenų gavimo būdu ir vienu ėjimu nupjaunant užlaidą, dėl tampriųjų sistemos nuspaudimų atsiranda kopijavimo reiškinys. Dėl to, apdirbant mažiausio matmens ruošinį  $a_{i-1}^{\min}$ , esant mažiausiam pjovimo gyliui  $z_i^{\min}$ , įrankis nuo paviršiaus bus atstumiamas mažiausiai ir

gausime mažiausią matmenį  $a_i^{\min}$ . Apdirbant didžiausią ruošinį, kurio matmuo yra  $a_{i-1}^{\max}$ , pjovimo gylis bus didžiausias ir veiks didžiausia, įrankį nuo ruošinio stumianti jėga. Po apdirbimo gausime didžiausią matmenį  $a_i^{\max}$ .



1.4 pav. Užlaidų ir tarpinių matmenų schema:

Didžiausia užlaida yra skirtumas tarp didžiausių ribinių matmenų gretimuose perėjimuose (žr. tą patį 1.4 pav.):

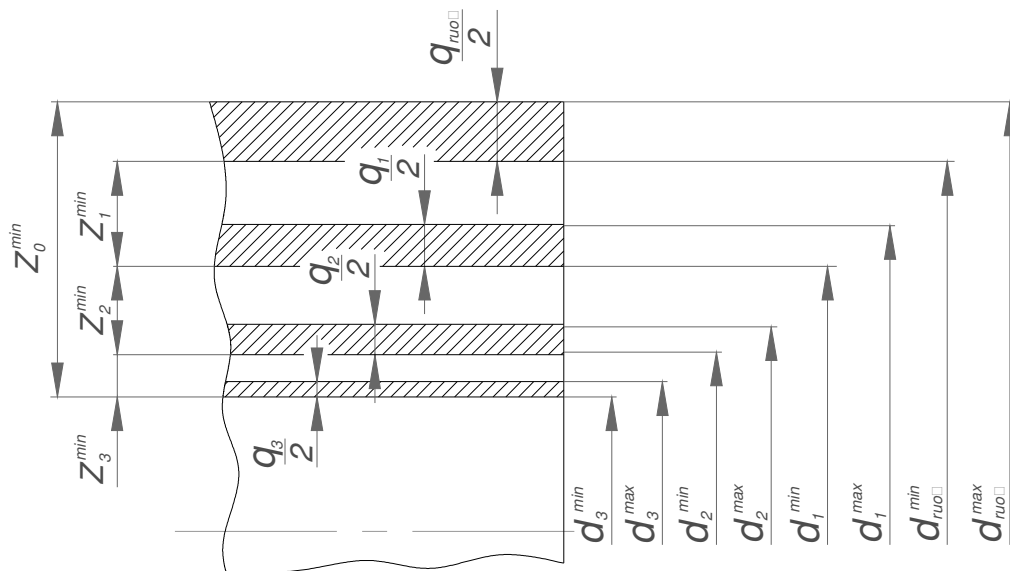
$$Z_i^{\max} = a_{i-1}^{\max} - a_i^{\max} = Z_i^{\min} - \delta_i + \delta_{i-1} \quad (1.5.5)$$

$$2Z_i^{\max} = 2Z_i^{\min} + \delta_{D_{i-1}} - \delta_{D_i} \quad (1.5.6)$$

čia,  $\delta_{i-1}$  ir  $\delta_{D_{i-1}}$  - ruošinio matmens tolerancija ankstesniame perėjime;  $\delta_i$  - skaičiuojamojo perėjimo matmens tolerancija.

Skaičiuojant piovimo režimus, priimama, kad piovimo gylis lygus didžiausiai užlaidai, t.y.  $t \approx Z^{\max}$ . Tas dydis taip pat reikalingas, skaičiuojant piovimui reikalingą galingumą.

Pažiūrėkime, kaip apskaičiuojami tarpiniai apdirbamojo paviršiaus matmenys, apdirbant išorinį cilindrinį paviršių iš anksto numatytomis staklėmis (žr. pav. 1.5). Sakykim, kad detalei iš ruošinio pagaminti reikalingos trys operacijos: rupusis, glotnasis ir tikslusis tekinimas. Indeksas prie matmenų, užlaidų ir tolerancijų žymi operacijas: 1-rupusis tekinimas, 2-glotnasis tekinimas, 3-tikslusis tekinimas [6]. Schema sudaryta, pradedant nuo gatavos detalės ribinių matmenų  $d_3^{\min}$  ir  $d_3^{\max}$ , gautų po paskutinės tikslojo tekinimo operacijos.



1.5 Užlaidų ir tarpinių matmenų, bei tolerancijų ryšio schema

Schema pradeda sudaryti nuo darbo brėžinyje duotų baigtos detalės matmenų  $d_3^{\min}$  ir  $d_3^{\max}$ , kurie gaunami po paskutinės – tikslojo tekinimo – operacijos. Prie mažiausio baigtos detalės matmens  $d_3^{\min}$  pridedama minimali užlaida tikslojo tekinimo operacijai  $Z_3^{\min}$ , ir gaunamas mažiausias matmuo po glotniojo tekinimo operacijos  $d_2^{\min}$ . Prie šio matmens pridėję minimalią užlaidą glotniajam tekinimui  $Z_2^{\min}$ , gausime mažiausią matmenį po rupiojo tekinimo operacijos  $d_1^{\min}$ . Pagaliau, pridėję minimalią užlaidą rupiam tekinimui  $Z_1^{\min}$ , gauname minimalų ruošinio skersmenį  $d_{ruoš}^{\min}$ . Didžiausi ribiniai ruošinio matmenys  $d_{ruoš}^{\max}$ ,  $d_2^{\max}$  ir  $d_1^{\max}$  gaunami, prie atitinkamų mažiausių matmenų pridėjus technologines tolerancijas  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  ir  $\delta_{ruoš}$ .

Susumavus visų operacijų mažiausias užlaidas, gaunama mažiausia bendra užlaida, o susumavus didžiausias, - didžiausia bendra užlaida.

Ši schema būdinga, apdirbant ruošinį iš anksto suderintomis staklėmis (automatiniu matmenų gavimo būdu), kai tarpinė užlaida nupjaunama vienu ėjimu. Jeigu detalė apdirbama, nuimant bandomąsias drožles arba palaispniui priartėjant prie nurodyto matmens, kas pavyzdžiui, gana dažnai būna šlifuojant paviršių, užlaidų ir tolerancijų schema šiek tiek keičiasi. Baigiamosiose operacijose pjovimo jėgos yra mažos, dėl to technologinė sistema nėra deformuojama, o darbininkas, kontroliuodamas matmenį kalibru, stengiasi gauti didžiausią ribinį matmenį. Esant tokioms aplinkybėms, mažiausia tarpinė užlaida yra lygi mažiausio ribinio matmens, gauto ankstesnėje operacijoje, ir didžiausio matmens atliekamoje operacijoje skirtumui. Ši užlaida turi

būti pakankama visiems ankstesnio apdirbimo netikslumams pašalinti, o tai yra ypač svarbu, jei tai paskutinė technologijos proceso operacija. Apdirbimas, siekiant didžiausio galimo matmens paskutinėje stadijoje, pateisinamas ir tuo, kad tada lieka didesnė metalo atsarga nudilimui.

Užlaidų ir tarpinių matmenų, išoriniams (vidiniams) paviršiams skaičiavimo tvarka yra tokia [6]:

1. Vadovaujantis detalės brėžiniu ir mechaninio apdirbimo technologine kortele, į lentelę surašomi apdirbiamieji paviršiai ir jų apdirbimo pakopos, pradedant ruošiniu ir baigiant galutiniu apdirbimu.
2. Užrašomos reikšmės  $Rz$ ,  $\rho$ ,  $\varepsilon$  ir  $T$  vertės.
3. Apskaičiuojamos visų technologinių perėjimų minimalios užlaidos  $Z_i^{\min}$ .
4. Apskaičiuojamas priešpaskutinės pakopos matmuo, pridedant užlaidą  $Z_i^{\min}$  prie mažiausio ribinio detalės matmens pagal brėžinį (jei apdirbama skylė, – iš didžiausio ribinio matmens pagal brėžinį atimant užlaidą  $Z_i^{\min}$ ).
5. Apskaičiuojami kiekvienos ankstesnės pakopos matmenys, pridedant prie skaičiuojamojo matmens (atimant iš skaičiuojamojo matmens) tolesnės pakopos apskaičiuotą užlaidą.
6. Surašomi visų technologijos pakopų ribiniai mažiausi (didžiausi) matmenys, suapvalinant jų vertes iki tiek ženklų po kablelio, kiek jų turi kiekvienos pakopos tolerancija.
7. Apskaičiuojami didžiausi (mažiausi) ribiniai matmenys, pridedant toleranciją prie mažiausio suapvalinto ribinio matmens (atimant toleranciją iš didžiausio suapvalinto ribinio matmens).
8. Užrašomos ribinės užlaidų  $Z^{\max}$  vertės, gautos kaip didžiausių (mažiausių) ribinių verčių skirtumas, ir  $Z^{\min}$ , kaip mažiausių (didžiausių) ankstesniosios ir atliekamosios (atliekamosios ir ankstesniosios) pakopų ribinių verčių skirtumas.
9. Sumuojant tarpines užlaidas, apskaičiuojamos bendrosios užlaidos  $Z_0^{\max}$  ir  $Z_0^{\min}$ .
10. Skaičiavimams patikrinti naudojamos formulės:

$$Z_i^{\max} - Z_i^{\min} = \delta_{i-1} - \delta_i \quad (1.5.7)$$

$$2Z_i^{\max} - 2Z_i^{\min} = \delta_{Di-1} - \delta_{Di} \quad (1.5.8)$$

$$Z_0^{\max} - Z_0^{\min} = \delta_{ruoš} - \delta_{det} \quad (1.5.9)$$



$$2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = \delta_{D_{ruoš}} - \delta_{D_{det}} \quad (1.5.10)$$

Paskutinės apdirbimo pakopos tolerancija ir mikronelygumų aukštis imami iš detalės brėžinio, pasitikrinant žinyuose, ar juos galima pasiekti pasirinktuoju technologijos būdu. Ruošinyje po rupiojo ir pusglotnio apdirbimo, taip pat ir po šiluminio apdorojimo, jei anksčiau jų ir nebuvo, būtina įvertinti erdvinis nuokrypius. Po glotniojo ir baigiamojo apdirbimo jos tiek sumažinamos, kad tampa nereikšmingos.

Užlaidos reikalingos įvairiems technologiniams skaičiavimams. Didžiausia pjovimo jėga, staklių galia, ruošinio įtvirtinimo įtaise jėga apskaičiuojamos pagal didžiausią užlaidą. Pjovimo įrankio patvarumas, skaičiuojant režimus, vertinamas pagal vidutinę užlaidą.

Išnagrinėtas užlaidų ir tarpinių matmenų apskaičiavimo būdas taikomas masinėje stambių ir vidutinių serijų gamyboje. Jis taip pat rekomenduojamas sunkiųjų mašinų gamybai, net ir pavienėms detalėms gaminti. Stambių detalių apdirbimas trunka ilgai, joms reikia daug metalo, dėl to, žinant tikslesnes užlaidas, galima sumažinti darbo imlumą ir metalo sąnaudas.

Skaičiuojant užlaidas pavienėms detalėms, įvertinama jų apdirbimo specifika. Nustatymo paklaida čia dažnai būna ruošinio padėties staklėse išlyginimo paklaida, priklausanti nuo padėties išlyginimo būdo. Erdvinės pavienių laisvuju kalimu kaltų ruošinių nuokrypiai būna įlinkis, velenų laiptų ašių nesutapimas, diskų išorinio paviršiaus ir skylės ašių nesutapimas. Liejinių erdviniai nuokrypiai dažnai atsiranda dėl gurgučių, pagal kuriuos išliejamos skylės ir vidinės ertmės, poslinkių.

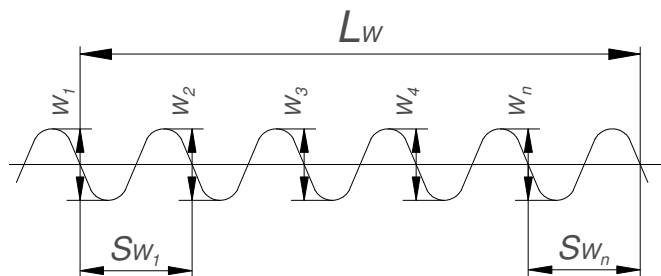
Kartais tenka apdirbti surinktus junginius, pavyzdžiui, ištekinti iš dalių sujungtus reduktorių korpusus, vidaus degimo variklių švaistiklius. Skaičiuojant užlaidas surinktų detalių operacijoms, reikia įvertinti galimus jų poslinkius viena kitos atžvilgiu renkant. Dėl tokių poslinkių padidėja bendrojo apdirbimo užlaidą. [6]

## 1.6 Paviršiaus banguotumas

Paviršiaus banguotumas vadinama visuma periodiškai besikartojančių iškilimų ir įdubimų atstumai tarp kurių yra daug didesni už jų aukštį (1.6 pav.). ISO rekomendacijomis nustatyti šie banguotumo parametrai: banguotumo aukštis  $W_z$  ir vidutinis banguotumo žingsnis  $S_w$ , kurie apskaičiuojami pagal lygtis:

$$W_z = (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5) / 5 \quad (1.6.1)$$

$$S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{w_i} \quad (1.6.2)$$



1.6 pav. Paviršiaus banguotumo parametrai

Bangos forma priklauso nuo priežasčių, sukeliančių banguotumą. Banguotumas užima tarpinę padėtį tarp geometrinės formos nuokrypų ir paviršiaus šiurkštumo. [1]

## 1.7 Paviršiaus šiurkštumas

Paviršiaus šiurkštumas yra vadinamas paviršiaus profilį sudarančių mikromeometrių nelygumų, pasikartojančių mažu žingsniu ir nagrinėjamų bazinio ilgio ribose, visuma. Bazinio ilgio  $l$  skaitinė reikšmė parenkama iš eilės : 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 mm.

Kiekybiškai paviršiaus šiurkštumas vertinamas nelygumų aukštį apibūdinančiais parametrais  $R_z$ ;  $R_a$ ;  $R_{max}$ , nelygumų savybes išilginiame profilyje įvertinančiais parametrais  $S_m$ ,  $S$  ir nelygumų profilio formą apsprendžiančiu parametru  $t_p$ . Šie parametrai apskaičiuojami taip: nuokrypų vidutinis aritmetinis vidurkis  $R_a$  nustatomas kaip nagrinėjamų bazinio ilgio  $l$  ribose absoliutinių nuokrypų aritmetinis vidurkis [1]:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x) dx|; \quad (1.7.1)$$

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|; \quad (1.7.2)$$

Mikronelygumų aukštis  $Rz$ , nustatomas kaip baziniame ilgyje išmatuotų penkių aukščiausių profilio viršūnių taškų ( $y_{pi}$ ) ir penkių giliausių įdubų taškų ( $y_{vi}$ ) absoliutinių vidurkių suma:

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right); \quad (1.7.3)$$

Didžiausias nelygumų aukštis  $R_{max}$  - tai atstumas tarp profilio viršūnių ir įdubų linijų, išmatuotas baziniame ilgyje.

Vidutinis profilio nelygumų žingsnis  $S_m$  baziniame ilgyje išmatuotų profilio žingsnių aritmetinis vidurkis:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i; \quad (1.7.4)$$

Santykinis atraminis profilio ilgis  $t_p$  tai yra atraminio profilio ilgio santykis su baziniu ilgiu [1]:

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l} \cdot 100\%; \quad (1.7.5)$$

## 1.8 Optimali užlaida

Užlaidų dydis turi svarbią reikšmę projektuojamam technologijos procesui. Jeigu užlaida yra per didelė, detalei pagaminti sunaudojama daug medžiagos, daromos papildomos technologijos pakopos, papildomai gaištamas laikas, eikvojama energija, dyla piovimo įrankiai. Todėl padidėja detalės savikaina. Jeigu paviršinis ruošinio sluoksnis yra atsparus dilimui, negerai, kai dėl per didelės užlaidos

jis yra pašalinamas. Kita vertus, užlaida negali būti per daug maža, nes jos gali neužtekti ruošinio ar ankstesnio apdirbimo, paklaidoms ištaisyti, netinkamam paviršiaus sluoksniui pašalinti ir reikiamam mikronelygumų aukščiui gauti. Dėl mažos užlaidos gali susidaryti netinkamos piovimo įrankio darbo sąlygos, jam piaunant liejimo plutą sukietintą sluoksnį. Per maža užlaida gali būti broko priežastis. Didelis užlaidos pasitaiko vienetinėje gamyboje, kai apdirbami netikslūs ruošiniai. Formuluoti technologinį procesą tiksliam ruošiniui gauti vienetinėje gamyboje ne visada ekonomiškai apsimoka, tuo tarpu stambiaserijinėje ar masinėje gamyboje įdėti didesni kaštai ruošinio gavimui turi didelės įtakos savikainai dėl aukščiau išvardintu priežastčių.

Šios priežastys verčia siekti optimalių užlaidų. Optimalios užlaidos nustatymas siejamas su ruošinio matmenų ir tarpinių ruošinio apdirbimo matmenų ir tolerancijų nustatymu. Ruošinys turi būti kaip galima tikslesnis, ypač jeigu toliau jį numatoma apdirbti automatinio matmenų gavimo būdu, nes netikslų ruošinį sunku tvirtinti įtaisuose ir pasiekti reikiamą apdirbimo tikslumą. Štampams, presformoms, modeliams, įtaisams, specialiems piovimo bei matavimo įrankiams konstruoti ir įrengimams derinti reikia žinoti ir ruošinio matmenis, ir tarpinius matmenis, gautus po vienos ar kelių operacijų. Turint optimalias užlaidas, galima teisingai apskaičiuoti ruošinių masę, piovimo režimus, normuoti.

Užlaidos gali būti parenkamos iš lentelių arba apskaičiuojamos sumuojant į jas įeinančius elementus. Tarpinius matmenis, toleranciją patogiu apskaičiuoti naudojantis matmeninės analizės metodika. [3]

### 1.9. Paklaidos dėl tampriųjų deformacijų ir jų mažinimas

Standumo paklaidos  $\Delta Y$  pastovumas, apdirbant kelių partijų detales, priklauso nuo pačios sistemos standumo kitimo ir nuo pjovimo jėgos  $P_y$  kitimo [3]:

$$\Delta Y = Y_{\max} - Y_{\min} = P_{y \max} \cdot W_{\max} - P_{y \min} \cdot W_{\min} \quad (1.9.1)$$

Jei laikysime, kad apdirbant vieną partiją, standumas yra pastovus, paklaida dėl nestandumo priklausys tik nuo pjovimo jėgos kitimo. Apdirbant kelias tų pačių detalių partijas, ribines pjovimo jėgų reikšmes galime išreikšti pjovimo jėgai skaičiuoti taikoma formule:

$$P_y = C_y \cdot t^x \cdot S^y \cdot HB^n \quad (1.9.2)$$

Iš šios formulės matome, kad pjovimo jėgos kitimas priklauso nuo  $C_y$ , t. y. nuo medžiagos savybių (jos kokybės), nuo jos kietumo HB ir nuo pjovimo gylio, t. y. nuo užlaidos didumo ir ypač nuo jos kitimo.

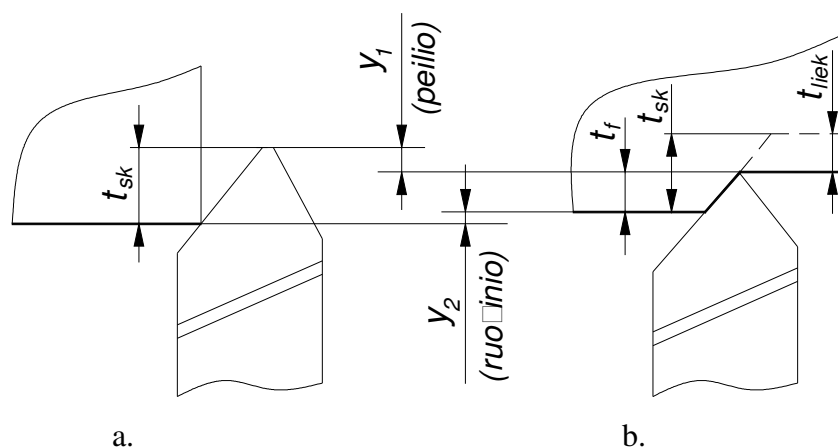
Kai  $HB_{\max}$  ir  $HB_{\min}$  yra ribinės techninės sąlygose nurodytos metalo kietumo reikšmės, apdirbami vieną detalių partiją į šį kietumo svyravimą galime nekreipti dėmesio ir paimti vidutinę jo reikšmę. Tačiau, apdirbant kelias partijas, į šį svyravimą reikia atsižvelgti. Tada ribinės pjovimo jėgos reikšmės bus tokios:

$$P_{y \max} = C_{y \max} \cdot t_{\max}^x \cdot S^y \cdot HB_{\max}^n \quad (1.9.3)$$

$$P_{y \min} = C_{y \min} \cdot t_{\min}^x \cdot S^y \cdot HB_{\min}^n \quad (1.9.4)$$

Medžiagos kokybė, ypač kokybės nepastovumas, turi didelę įtaką pjovimo jėgų didumui ir jų svyravimui. Keičiantis kietumui arba  $\sigma_B$ , pjovimo jėgos taip pat keičiasi. Dėl to, norint sumažinti pjovimo jėgų svyravimą, reikia suvienodinti apdirbamos medžiagos kietumą. Praktiškai elgiamasi taip: sumažinamos leistinos metalo kietumo tolerancijos; ruošiniai apdirbami termiškai arba surūšiuojami sandėlyje pagal kietumą; prieš pradėdant apdirbti kitokio kietumo medžiagą, perderinamos staklės.

Apdirbimo užlaida, ypač užlaidos svyravimas, yra vienas iš pagrindinių veiksnių, turinčių įtakos pjovimo jėgų kitimui ir dinaminės paklaidos didumui. Dėl užlaidos nuokrypų atsiranda visos detalių partijos ir pavienių detalių matmenų bei formos pakitimų. Kuo smarkiau svyruoja užlaida, tuo didesnė matmenų sklaida detalių partijoje. Pavyzdžiui, tekinama detalė (1.7 pav.) Tampriai pasislenka dydžiu  $y_2$ , o įrankis -  $y_1$ .



1.7 pav. Tampraus poslinkio schema:

a – padėtis statinėje būklėje; b – pjovimo gylio pasikeitimas darbo metu

Taigi pasikeičia derinant nustatyta staklių ir įrankio padėtis. Dėl to skaičiuotasis pjovimo gylis  $t_{sk}$  sumažėja iki faktinio dydžio  $t_f$ . Atskiruose apdirbimo ruošinio pjūviuose gaunama liekamoji apdirbimo paklaida (nenuimta užlaidos dalis, neįskaitant įrankio dilimo)  $t_{liek}$ .

$$\Delta Y = t_{liek} = t_{sk} - t_f = y_1 + y_2 \quad (1.9.5)$$

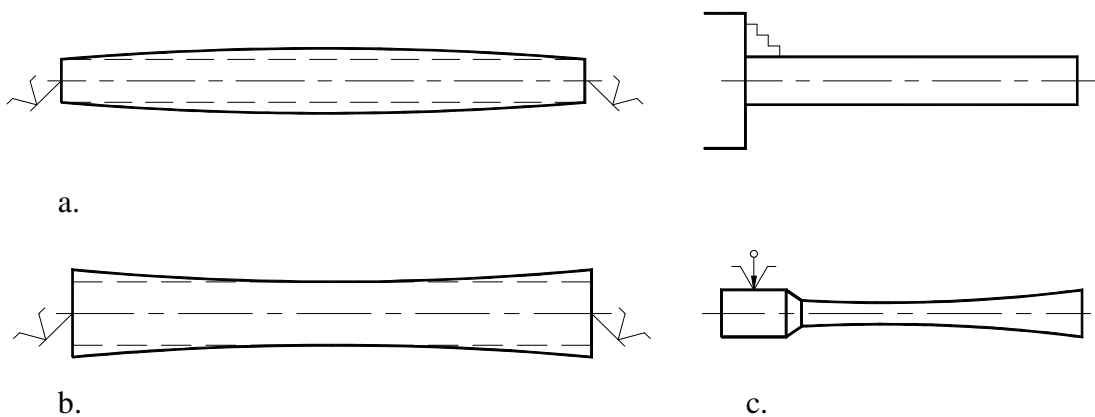
$$y_1 = \frac{P_y}{j_{ir}}; \quad y_2 = \frac{P_y}{j_{ruoš}}; \quad (1.9.6)$$

čia  $j_{ruoš}$  - ruošinio – įtaiso – staklių mazgo sistemos standumas;  $j_{ir}$  - įrankio – įtaiso sistemos standumas;  $P_y$  - radialinė pjovimo jėgos dedamoji.

$$t_{liek} = P_y \left( \frac{1}{j_{ruoš}} + \frac{1}{j_{ir}} \right) = P_y (W_{ruoš} + W_{ir}) \quad (1.9.7)$$

Esant pastoviam technologinės sistemos standumui įvairiuose ruošinio pjūviuose, kai pjovimo gylis  $t$  laipsnio rodiklis lygus vienetui, pjaunant peiliu, kurio kampas plane  $\varphi = 45^\circ$ , į apdirbamą paviršių perkeliama visos ruošinio paklaidos, tik mažesniu masteliu. Turime vadinamąjį formos paklaidų kopijavimą. To nebūna, kai peilio kampas plane  $\varphi = 90^\circ$ .

Kai technologinės sistemos standumas kinta, įvairiose detalėse paviršiaus vietose, nors jos forma yra geometriškai taisyklinga, apdirbimo paklaida  $t_{liek}$  esti skirtinga. Tai iš dalies matėme, nagrinėdami 1.7 paveikslą, ir akivaizdžiai matome 1.8 paveiksle. Ties ilgos, nestandžios detalės viduriu  $t_{liek}$  gaunama galuose, nes centrų atramos yra mažiau standžios, negu pati detalė.



1.8 pav. Formos paklaidų, atsirandančių dėl sistemos nestandumo, pavyzdžiai

Paprastai skirtumas tarp atskirų partijos detalių užlaidų yra didesnis, negu užlaidos svyravimas toje pačioje detalėje.

Norint išvengti matmenų nevienodumo apdirbant arba dinaminių paklaidų, reikia mažinti ne tik medžiagos kietumo svyravimus, bet ir užlaidas, o ypač jų tolerancijas. Šis reikalavimas tinka visų rūšių medžiagoms bei ruošiniams, pradedant nuo valcuotų strypų iki šampuotų, liėtų ruošinių ir mechaniškai apdirbtų pusfabrikačių. Dėl to visada reikia stengtis gaminti kuo tikslesnius ruošinius. Taip pat naudinga surūšiuoti detales ir ruošinius pagal užlaidos didumą į keletą grupių. Be to, labai svarbu taip parinkti nustatymo bazes pirmajai operacijai, kad užlaidos būtų vienodai paskirstytos visiems detalės paviršiams.

Paklaidos, dėl tampriųjų technologinės sistemos deformacijų, mažinamos šiais būdais:

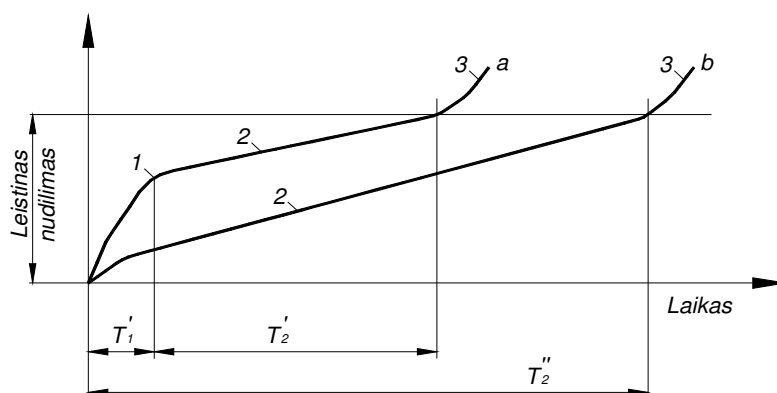
a). mažinant pjovimo jėgų svyravimus: suvienodinamos ruošinių užlaidos, nustatomos joms griežtesnės tolerancijos, taikant terminį apdirbimą suvienodinamas medžiagos kietumas;

b). didinant sistemos standumą: suveržiami staklių bei įtaisų mazgų sujungimai ne tik panaikinant tarpelius, bet ir sudarant pradinę sujungimų įvaržą; konstruojant naujus įrengimus, numatomas didesnis paviršių glotnumas ir kietumas, atsparumas dilimui;

c). paderinant, reguliuojant stakles darbo metu, naudojant aktyvią kontrolę, taikant adaptyvinį staklių valdymą.

### 1.10 Paklaidos dėl įrankio dilimo

Apdirbant detales pjovimu, įrankį trina nupjaunamoji drožlė ir besiliečiantis ruošinio paviršius. Įrankis dyla [6]. Dylant pjovimo įrankiui, kinta apdirbamo ruošinio matmuo, paviršiaus glotnumas ir pjovimojėgos didumas. Įrankio matmuo kinta pagal dėsnį, išreiškiamą kreive, artima dilimo kreivei (1.9 pav.), kai nėra pirminio dilimo. Tokia kreivė gaunama, glotniai išbaigus pjovimo briaunas ir plokštumas.



1.9 pav. Paviršiaus dilimo kreivės

Šiurkštesnis paviršius pirminio dilimo 1 stadijoje per  $T_1'$  laikotarpį dyla daug intensyviau, negu vėliau per ilgesnį normalios eksploatacijos laikotarpį  $T_2'$  (žr. 2.13 pav., kreivė a, ruožas 2). Paskui dilimo kreivė vėl pradeda staigiau kilti (3). Tai paprastai atsitinka, padidėjus tarpams tarp mechanizmo detalių; dėl atsiradusių vibracijų išdilimas pasidaro avarinis. Antruoju laikotarpiu dilimo greitis priklauso tik nuo medžiagos atsparumo dilimui. [3]

Jau po pirminio dilimo laikotarpio padidėja tarpelis tarp suleistų detalių ir sumažėja suleidimo tikslumas. Norint sumažinti detalių dilimą, mikronelygumų viršūnes reikia padaryti plokščias, t.y. tokias, kokios jos pasidaro eksploatuojant. To pasiekama, paviršius pritrinant, honinguojant, superfinišuojant arba apridinant. Eksploatuojant taip apdirbtas detales, nepastebima pirmosios spartaus dilimo stadijos (kreivė b), todėl taip staigiai nebesikeičia naudojamo mechanizmo tikslumas, ilgesnis eksploatacijos laikas  $T_2''$  (kreivės b ruožas 2).

Labai didelę įtaką įrankio dilimui turi jo medžiaga. Mažai dyla įrankiai su deimanto antgaliais, dėl to jie naudojami tekinant tiksliai, daugiausia spalvotuosius lydinius [6]. Įrankio patvarumas priklauso nuo pjovimo greičio ir jo svyravimų, paties įrankio medžiagos rūšies bei kokybės ir nuo virpesių, kurie kyla dėl užlaidos nevienodumo ir kitų priežasčių. Dėl įrankio dilimo susidaro sisteminė dėsningai kintanti apdirbimo paklaida. Jos išvengti arba ją sumažinti galima šiais būdais [3]:

- a). gerinant įrankių medžiagą ir išbaigiant pjovimo briaunas;
- b). parenkant ekonomiškus pjovimo režimus;
- c). stabilizuojant pjovimo jėgas, naudojant ruošinius su mažesniu užlaidų svyravimu ir mažinant virpesius;
- d). laiku pakeičiant įrankius ir paderinant stakles.

Matmeninis įrankio dilimas yra ta svarbiausia priežastis, dėl kurios po tam tikro darbo laiko nebepasiekiamas reikiamas matmenų tikslumas. Apdirbant didelius paviršius, dėl matmeninio įrankio dilimo keičiasi paviršių forma. Pavyzdžiui, vietoj tekinamo ilgo cilindro gaunamas kūgis. Drožiant ilgas ir plačias detales, apdirbamoji plokštuma nėra lygiagreti su bazine [6].



## 2. DETALĖS GEOMETRINIŲ IR KITŲ PAKLAIĐŲ ĮTAKA, UŽLAIMOMS IR TARPINIAMS MATMENIMS

### 2.1 Prizminių detalių kreivumo įtaka, užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimui

Nagrinėjamų prizminių detalių paviršių išgaubtumas arba įgaubtumas, bus laikomas tokia formos paklaida, kai išgaubtumas arba įgaubtumas priešais vienas kitą esančių paviršių, turi vienodą kryptį (išgaubtumas – nuo medžiagos; įgaubtumas – į medžiagą). Esant prizminių detalių išgaubtumui arba įgaubtumui, panagrinėsime šias schemas: I. kai vienas detalės paviršius - išgaubtas; II. kai detalės paviršius - įgaubtas.

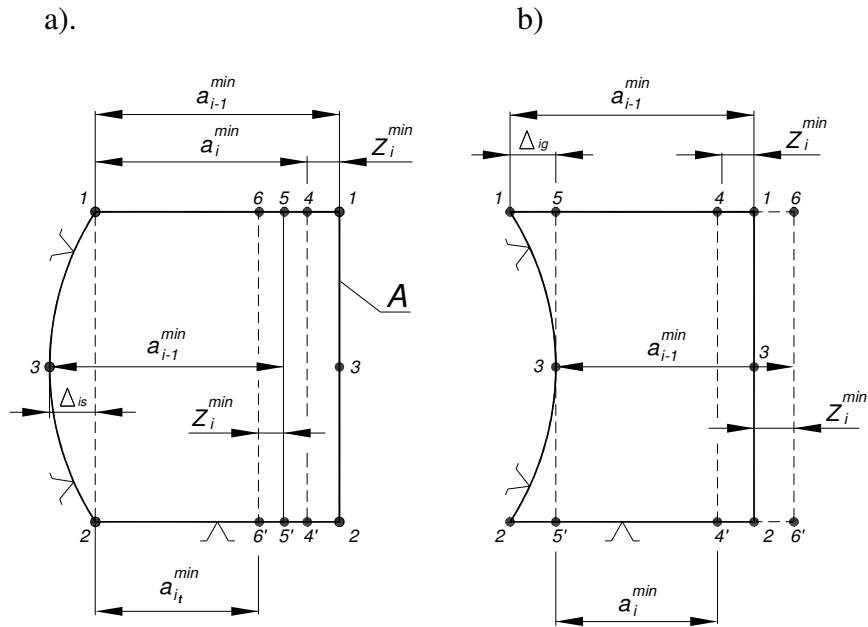
Prizminių detalių technologinių bazių ir apdirbamų paviršių įgaubtumas bei išgaubtumas turi didelės įtakos į užlaidų, o tuo pačiu ir į tarpinių matmenų dydį. Nagrinėjant šių paviršių geometrinių paklaidų įtaką, reikia atsižvelgti ir į tai, kurioje detalės vietoje bus matuojama. Todėl išskiriame du atvejus:

1. Matuojant, detales kraštiniuose paviršių taškuose (taškai 1-1 arba 2-2);
2. Matuojant, detales viduriniuose paviršių taškuose (taškai 3-3);

Siame tyriamajame darbe, aptarsime keletą detalės bazavimo atvejų. Panagrinėsime prizminių detalių paviršiaus išgaubtumo – įgaubtumo, technologinių bazių ir apdirbamų paviršių ir kitų geometrinių paklaidų įtaką, užlaidoms, bei tarpinių matmenų skaičiavimui. Kiekvienam aptartam atvejui pateiksime minimalios užlaidos  $Z_i^{\min}$  ir minimalių matmenų  $a_{i-1}^{\min}$  (prieš apdirbimą) ir  $a_i^{\min}$  (po apdirbimo) išraiškas.

Detalių geometrinių formų nukrypimai, gali gautis liejiniuose, bei šampuotose detalėse, jie taip pat atsiranda ir dėl vidinių įtempimų, kurie iššaukia deformacijas.

Panagrinėsime, kokią įtaką užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimui turi detalių paviršių išgaubtumas ( $\Delta_{i\check{x}}$ ) arba įgaubtumas ( $\Delta_{i\grave{g}}$ ). Pirmiausia aptarsime atveją, kai įgaubta arba išgaubta yra tik kreipiamoji bazė (pav. 2.1):



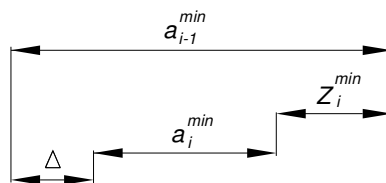
2.1 pav. Schema minimaliems matmenims nustatyti ( $a_i^{\min}$  arba  $a_{i-1}^{\min}$ ), kai išgaubta arba įgaubta tik kreipiamoji bazė

Išnagrinėsime atvejį **a** (pav. 2.1). Priimame, kad detales matuosime kraštiniuose paviršių taškuose 1-1 ir 2-2. Šiuo atveju užlaida  $Z_i^{\min}$  ir minimalūs tarpiniai matmenys ( $a_i^{\min}$  arba  $a_{i-1}^{\min}$ ), bus skaičiuojami pagal įprastas formules. Galime pažymėti, kad užlaida  $Z_i^{\min}$  išliks pastovi per visą detalės apdirbimo ilgį. Minimalų matmenį po apdirbimo  $a_i^{\min}$ , apdirbant paviršių A, gausime einant frezai pagal liniją 4-4'.

Matuodami detales viduriniuose paviršių taškuose 3-3, nustatant minimalią užlaidą  $Z_i^{\min}$ , kuri naudojama tarpinių minimalių matmenų skaičiavimui, nereikės įvertinti kreipiančios technologinės bazės išgaubtumo -  $\Delta_{is}$ :

$$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} \quad (2.1.1)$$

Minimalaus matmens  $a_{i-1}^{\min}$  paskaičiavimui sudarome matmenų grandinę (žr. pav. 2.2):



2.2 pav. Matmens  $a_{i-1}^{\min}$  matmenų grandinė

gauname, kad: 
$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta_{i\bar{x}} \quad (2.1.2)$$

Skaičiuodami minimalią užlaidą  $Z_i^{\min}$ , turime įvertinti paviršiaus nelygumus  $Rz$ ; defektinio sluoksnio storį  $T$ , bei erdvines nuokrypas  $\rho$ . Kadangi mūsų nagrinėjama atvejais, plokštumos padėčiai įtvirtinimo jėga neturi jokios įtakos, tai nereikia įvertinti tvirtinimo paklaidos  $\varepsilon_i$ .

Minimalų matmenį po apdirbimo, gausime einant frezai pagal liniją 6-6'. Tačiau skaičiuodami minimalų matmenį, turime įvertinti ir kreipiančios technologinės bazės išgaubtumą  $-\Delta_{i\bar{x}}$ . Tad tikrasis matmuo  $a_i^{\min}$ , bus tarp linijų 1-2 ir 6-6'.

Atvejas b (pav. 2.1). Matuojant detales kraštiniuose paviršių taškuose 1-1 ir 2-2, minimali užlaida  $Z_i^{\min}$  išliks pastovi per visą detalės apdirbimo ilgį. Skaičiuodami minimalius tarpinius matmenis, turėsime įvertinti detalės paviršiaus įgaubtumo dydį  $-\Delta_{i\bar{g}}$ .

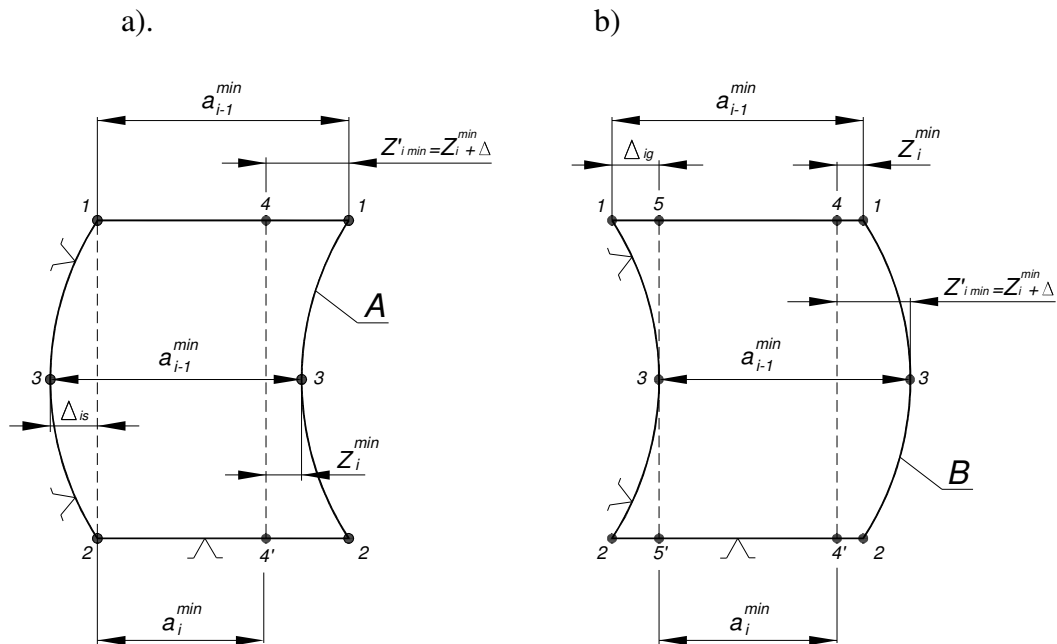
$$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} \quad (2.1.3)$$

Minimalus matmuo, bus:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta_{i\bar{g}} \quad (2.1.4)$$

Priimame, kad detales prieš ir po apdirbimo matuosime viduriniuose paviršių taškuose 3-3. Šiuo atveju užlaida  $Z_i^{\min}$  ir minimalūs tarpiniai matmenys, bus skaičiuojami pagal įprastas formules. Užlaida išliks pastovi per visą detalės apdirbimo ilgį. Minimalus matmuo, bus tarp linijos 4-4', kuri yra tarp išgaubtos kreipimo bazės ribinio taško 3.

Kitas galimas atvejas, kai apdirbamas detalės paviršius, turi įgaubtą, o kreipiančioji bazė išgaubtą paviršių (2.3 pav.).



2.3 pav. Prizminių detalių paviršiaus išgaubtumo  $\Delta_{ig}$  įtaka, operacinių matmenų dydžiui

Išnagrinėsime atveją a (pav. 2.3). Priimame, kad detales prieš ir po apdirbimo matuosime kraštiniuose paviršių taškuose 1-1 ir 2-2. Nustatant minimalią užlaidą  $Z_i^{\min}$ , kuri bus naudojama tarpinių minimalių matmenų skaičiavimui, reikia įvertinti apdirbamos plokštumos A, įgaubtumą -  $\Delta_{ig}$ . Taip pat reikia pažymėti ir tai, kad užlaida  $Z_i^{\min}$  nebus pastovi, ji kils per visą detalės apdirbimo ilgį:

$$Z'_{i \min} = Z_i^{\min} + \Delta = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1} \quad (2.1.5)$$

Minimalus matmuo, bus:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i \min} \quad (2.1.6)$$

Matuodami detales viduriniuose paviršių taškuose 3-3, užlaida  $Z_i^{\min}$  kils per visą detalės apdirbimo ilgį, nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} + \Delta$ . Minimalų matmenį po apdirbimo, gausime einant frezai pagal liniją 4-4'. Tačiau turime įvertinti ir kreipiančios technologinės bazės išgaubtumą -  $\Delta_{is}$ . Tad matmuo  $a_i^{\min}$ , bus tarp linijų 4-4' ir 1-2. Minimalios užlaidos ir tarpinių matmenų išraiškas užrašysime taip :

$$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} \quad (2.1.7)$$

Tuomet:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta_{i\check{x}} \quad (2.1.8)$$

Atvejas b (pav. 2.3). Matuojant detales kraštiniuose paviršių taškuose 1-1 ir 2-2, užlaida  $Z_i^{\min}$  taip pat kis per visą detalės apdirbimo ilgį. Skaičiuodami tarpinius matmenis, turėsime įvertinti detalės įgaubtumo dydį -  $\Delta_{ig}$ .

$$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} \quad (2.1.9)$$

Tuomet:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta_{ig} \quad (2.1.10)$$

Priimame, kad detales matuosime viduriniuose paviršiaus taškuose 3-3. Skaičiuojant minimalią užlaidą pažymime, kad ji kis per visą detalės apdirbimo ilgį nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} + \Delta$ . Minimalius tarpinius matmenis skaičiuosime pagal įprastas formules:

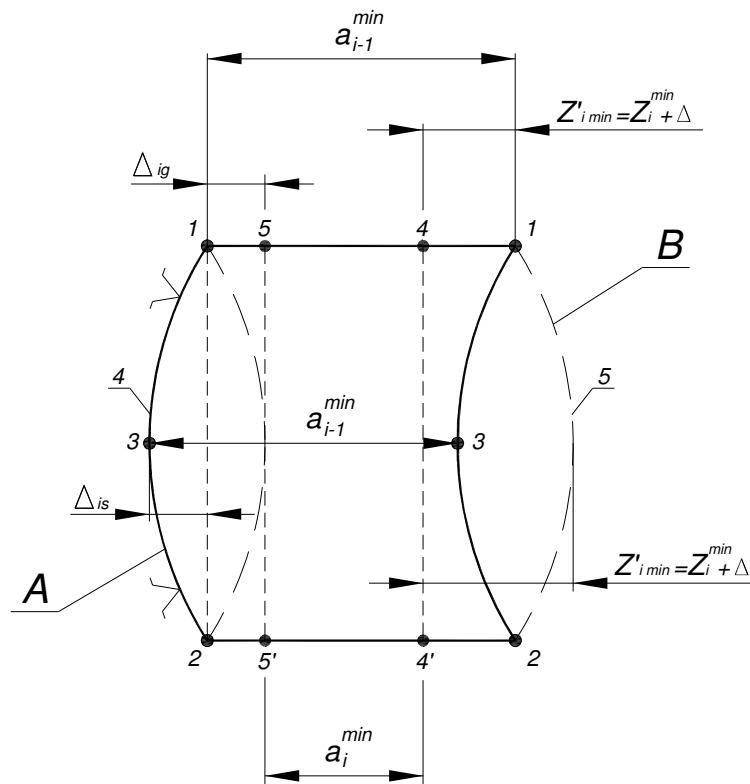
$$Z'_{i\min} = Z_i^{\min} + \Delta = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta \quad (2.1.11)$$

Tuomet:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i\min} \quad (2.1.12)$$

Minimalus matmuo po apdirbimo  $a_i^{\min}$  bus tarp linijos 4-4', kuri yra tarp įgaubtos kreipimo bazės ribinio taško 3. Neįvertinus nurodytos plokštumos įgaubtumo, pradedant apdirbimą ties plokštuma B, minimali užlaida nuolat mažės ir baigiant apdirbimą pagal liniją 4-4', pjovimo įrankis gali visai nesiiekti ruošinio paviršiaus.

Dar apžvelgsime atvejį, kai detalė užima ne vieną pastovią padėtį, o tvirtinant gali užimti, bet kurią iš dviejų galimų padėčių (pav. 2.4).



2.4 pav. Schema minimaliems matmenims nustatyti ( $a_i^{\min}$  arba  $a_{i-1}^{\min}$ ), kai išgaubtas detalės paviršius, ją tvirtinant, užima bet kurią iš dviejų galimų padėčių (A arba B).

Nagrinėdami šių paviršių geometrinių paklaidų įtaką, priimame, kad detalę matuosime kraštiniuose paviršių taškuose 1-1 ir 2-2. Užimant detalei, bet kurią iš dviejų galimų padėčių ir esant pastoviam frezos atstumui nuo detalės atramų (linija 4-4' pav. 2.4), bei įvertinę kreipiamos bazės įgaubtumą  $\Delta_{ig}$ , o taip pat užlaidą, kuri kis per visą detalės apdirbimo ilgį nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} + \Delta$ , sudarydami užlaidos išraišką turėsime įvertinti „dviguba“ išgaubtumą – įgaubtumą.

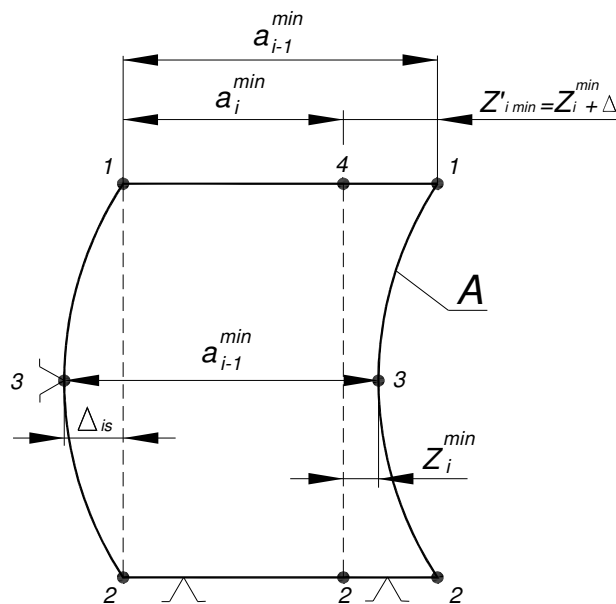
Matuojant detalę, paviršių taškuose 3-3 ir įvertinus tai, kad nagrinėjamu atveju, detalės paviršiaus kreivumas, ją tvirtinant gali užimti bet kurią iš dviejų galimų padėčių, užlaida  $Z_i^{\min}$  kis per visą detalės apdirbimo ilgį nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} + 2\Delta$ . Kad būtų padengtos paklaidos.

$$Z'_{i \min} = Z_i^{\min} + 2\Delta = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + 2\Delta_{i-1} \quad (2.1.13)$$

Sudarydami minimalaus matmens išraišką  $a_i^{\min}$ , turime pažymėti tai, kad įvertiname detalės paviršiaus išgaubtumą  $\Delta_{is}$ . Kadangi šiuo atveju, detalė gali užimti bet kurią iš dviejų galimų padėčių, tai čia turime įvertinti ir detalės paviršiaus įgaubtumą  $\Delta_{ig}$ . Minimaliam matmeniui apskaičiuoti turi būti naudojama tokia formulė:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i\min} + 2\Delta \quad (2.1.14)$$

Atvejas, kai išgaubtas arba įgaubtas išlinkusios detalės paviršius, naudojamas ne kaip nukreipimo, o kaip atraminė bazė (pav. 2.5).



2.5 pav. Schema dydžiams apskaičiuoti, kai išgaubtas arba įgaubtas paviršius yra atraminė bazė.

Detalės matuojame kraštiniuose paviršių taškuose 1-1 ir 2-2. Šaime pavyzdyje, kaip ir ankstesniuose, užlaida  $Z_i^{\min}$  kis per visą detalės apdirbimo ilgį nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} + \Delta$ .

$$Z'_{i\min} = Z_i^{\min} + \Delta = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1} \quad (2.1.15)$$

Minimalus matmuo, bus:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i\min} \quad (2.1.16)$$

Minimalus matmuo po apdirbimo  $a_i^{\min}$  bus tarp linijų 4-4' ir 1-2. Neįvertinus nurodytos plokštumos išgaubtumo, pradedant apdirbimą ties plokštuma A, minimali užlaida nuolat mažės ir baigiant apdirbimą pagal liniją 4-4', pjovimo įrankis gali visai nesiekti ruošinio paviršiaus.

Matuojant detales viduriniuose paviršiaus taškuose 3-3, užlaida  $Z_i^{\min}$ , kuri naudojama tarpinių minimalių matmenų skaičiavimui, išliks pastovi. Jos išraiška bus sudaryta pagal įprastą formulę. Skaičiuojant minimalius tarpinius matmenis, reikia nepamiršti įvertinti kreipiančios technologinės bazės išgaubtumo dydį -  $\Delta_{i\delta}$ :

$$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} \quad (2.1.17)$$

Tuomet:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta_{i\delta} \quad (2.1.18)$$

Minimalų matmenį po apdirbimo  $a_i^{\min}$ , gausime einant frezai pagal liniją 4-4'. Tačiau, kaip jau minėjome turime įvertinti kreipiančios technologinės bazės išgaubtumą, tad tikrasis minimalus matmuo bus tarp linijų 4-4' ir 1-2.



Apibendrinami šią tyrimo dalį, reikalingas formulės  $Z_i^{\min}$  ir  $a_{i-1}^{\min}$  apskaičiuoti, visiems aptartiems atvejams suvedame į lentelę 2.1.1.

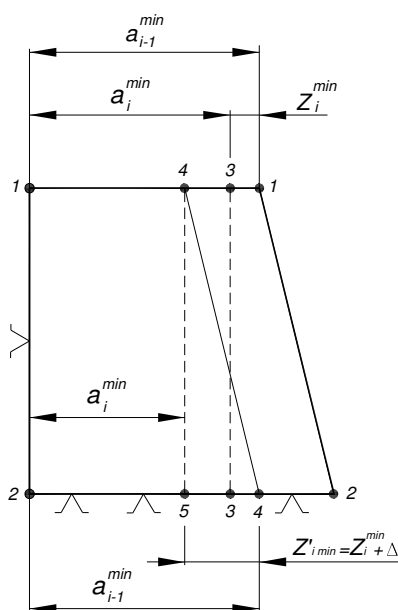
lentelė 2.1.1

Detalės tvirtinimo schema, bei tvirtinimo būdai	Matuojant detalių grupę, kraštiniuose paviršiaus taškuose		Matuojant detalių grupę, viduriniuose paviršiaus taškuose
	Taškai 1-1	Taškai 2-2	Taškai 3-3
Tvirtinant detalę pagal schemą (pav. 2.1 a)	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min}$		$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta_{i\bar{x}}$
	$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}$		
Tvirtinant detalę pagal schemą (pav. 2.1 b)	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta_{ig}$		$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min}$
	$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}$		
Tvirtinant detalę pagal schemą (pav. 2.3 a)	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i\min}$		$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta_{i\bar{x}}$
	$Z'_{i\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1}$		$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}$
Tvirtinant detalę pagal schemą (pav. 2.3 b)	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta_{ig}$		$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i\min}$
	$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}$		$Z'_{i\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1}$
Tvirtinant detalę pagal schemą (pav. 2.4)			$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i\min} + 2\Delta$
			$Z'_{i\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + 2\Delta_{i-1}$
Tvirtinant detalę pagal schemą (pav. 2.5)	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i\min}$		$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta_{i\bar{x}}$
	$Z'_{i\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1}$		$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}$

## 2.2 Paviršių tarpusavio padėties tikslumo įtaka, užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimui

Panagrinėsime, kokią įtaką užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimui turi detalių paviršių tarpusavio padėčių paklaidos. Pirmiausia paimame atveją, kai detalės apdirbamas paviršius nėra statmenas pastatymo technologinei bazei ir tuo pačiu nelygiagretus kreipiančiai technologinei bazei (2.7 pav.).

Pažymime, kad:  $\Delta$  - apdirbamos plokštumos nestatmenumas;  $\Delta'$  - kreipiančiosios bazės nestatmenumas.



2.7 pav. Apdirbamo ir bazinių paviršių tarpusavio padėties paklaidos įtaka minimalios užlaidos ir minimalių tarpinių matmenų skaičiavimui

Priimame, kad detalės prieš ir po apdirbimo bus matuojamos taškuose 1-1 (2.7 pav.). Šiuo atveju minimali užlaida  $Z_i^{\min}$  ir minimalūs tarpiniai matmenys ( $a_i^{\min}$  arba  $a_{i-1}^{\min}$ ), skaičiuojami pagal įprastas formules. Tikslai galima pažymėti, kad minimali užlaida  $Z_i^{\min}$  kis per visą apdirbimo ilgį nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} + \Delta$ . Dėl kopijavimo reiškinio apdirbama plokštuma (linija 1-2), liks nestatmena pastatymo bazei, tik žymiai mažesniu masteliu.

Jeigu detalės bus matuojamos taškuose 2-2, tai nustatant minimalią užlaidą  $Z_i^{\min}$ , kuri bus naudojama tarpinių minimalių matmenų skaičiavimui, reikia įvertinti apdirbamos plokštumos nestatmenumo dydį  $\Delta$ , pastatymo bazei :

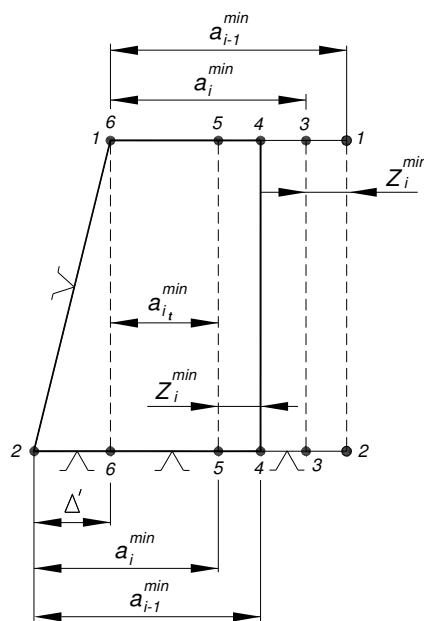
$$Z'_{i \min} = Z_i^{\min} + \Delta = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1} \quad (2.2.1)$$

Tuomet:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i \min} \quad (2.2.2)$$

Neįvertinus nurodytų plokštumų nestatmenumo, minimali užlaida kis nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} - \Delta$ , t. y. pagal liniją 3-3, minimali užlaida visą laiką mažes ir baigiant apdirbimą pagal liniją 4-5, pjovimo įrankis gali iš viso nesiekti ruošinio paviršiaus.

Kitas galimas atvejas, kai kreipiančioji technologinė bazė nelygiagreti apdirbamam paviršiui (2.8 pav.).



2.8 pav. Apdirbamo ir bazinių paviršių tarpusavio padėties paklaidos įtaka minimalios užlaidos ir minimalių tarpinių matmenų skaičiavimui

Priimame, kad detalės minimalūs tarpiniai matmenys, bus matuojami taškuose 1-1 (2.8 pav.). Ir šiuo atveju, užlaida  $Z_i^{\min}$  ir minimalūs matmenys ( $a_i^{\min}$  arba  $a_{i-1}^{\min}$ ), bus skaičiuojami pagal įprastas formules. Pažymėsime ir tai, kad užlaida  $Z_i^{\min}$  išliks pastovi per visą detalės apdirbimo ilgį.

Matuodami detales taškuose 2-2, nustatant minimalią užlaidą  $Z_i^{\min}$ , kuri naudojama tarpinių minimalių matmenų skaičiavimui, nereikės įvertinti apdirbamos plokštumos nestatmenumo  $\Delta$ , kadangi apdirbamas paviršius (linija 1-2) yra statmenas pastatymo technologinei bazei:

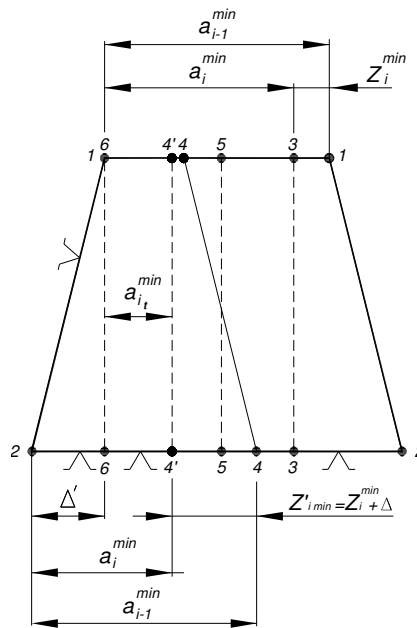
$$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} \quad (2.2.3)$$

Tuomet:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta' \quad (2.2.4)$$

Minimalų matmenį po apdirbimo  $a_i^{\min}$ , gausime einant frezai pagal liniją 5-5. Tačiau turime įvertinti kreipiančios technologinės bazės nestatmenumą  $\Delta'$ , pastatymo bazei. Tad tikrasis minimalus matmuo  $a_i^{\min}$ , bus tarp linijų 6-6 ir 5-5.

Dar vienas atvejis, kai detalės apdirbamas paviršius ir kreipiančioji technologinė bazė yra nestatmeni pastatymo bazei (2.9 pav.).



2.9 pav. Apdirbamo ir bazinių paviršių tarpusavio padėties paklaidos įtaka minimalios užlaidos ir minimalių tarpinių matmenų skaičiavimui

Detalės prieš ir po apdirbimo bus matuojamos taškuose 1-1 (2.9 pav.). Minimali užlaida  $Z_i^{\min}$  ir minimalūs tarpiniai matmenys ( $a_i^{\min}$  arba  $a_{i-1}^{\min}$ ), bus skaičiuojami pagal įprastas formules. Šiame pavyzdyje, kaip ir pirmame pažymėsime, kad minimali užlaida  $Z_i^{\min}$  kis per visą detalės apdirbimo ilgį nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} + \Delta$ . Dėl kopijavimo reiškinio apdirbama plokštuma (linija 1-2) liks nestatmena pastatymo bazei, tik žymiai mažesniu masteliu.

Jeigu detalės bus matuojamos taškuose 2-2, nustatant užlaidą  $Z_i^{\min}$ , kuri bus naudojama tarpinių minimalių matmenų skaičiavimui, reikia įvertinti apdirbamos plokštumos nestatmenumo dydį  $\Delta$ ,

pastatymo bazei. Skaičiuodami minimalius tarpinius matmenis, turime įvertinti kreipiančios technologinės bazės nestatmenumą  $\Delta'$ , pastatymo bazei:

$$Z'_{i \min} = Z_i^{\min} + \Delta = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1} \quad (2.2.5)$$

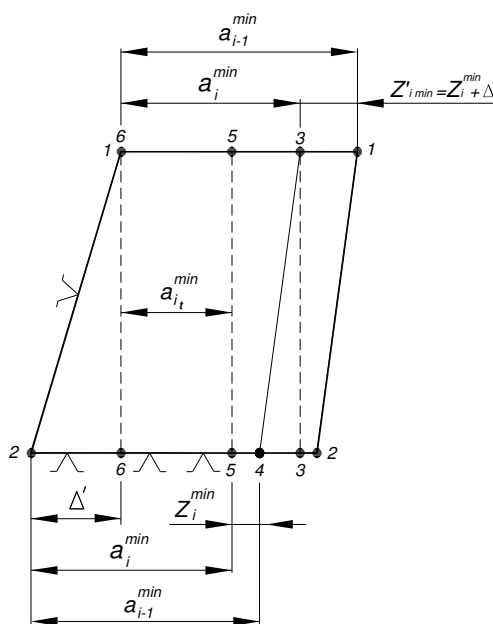
Tuomet:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i \min} + \Delta' \quad (2.2.6)$$

Neįvertinus nurodytų plokštumų nestatmenumo, užlaida kis nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} - \Delta$  t. y. einant pagal liniją 5-5, užlaida visą laiką mažės ir baigiant apdirbimą pagal liniją 4'-4', pjovimo įrankis gali iš viso nesiekti ruošinio apdirbamo paviršiaus.

Šiame pavizdyje, tikrasis minimalus matmuo  $a_{i_t}^{\min}$  po apdirbimo, bus tarp linijų 6-6 ir 4'-4'.

Paskutinis šiame darbe nagrinėjamas atvejas, kai detalės apdirbamas paviršius nėra statmenas pastatymo technologinei bazei ir nėra lygiagretus kreipiančiajai technologinei bazei (2.10 pav.).



2.10 pav. Apdirbamo ir bazinių paviršių tarpusavio padėties paklaidos įtaka minimalios užlaidos ir minimalių tarpinių matmenų skaičiavimui

Priimame, kad detalės bus matuojamos taškuose 1-1 (2.10 pav.). Nustatant minimalią užlaidą  $Z_i^{\min}$ , kuri bus naudojama tarpinių minimalių matmenų skaičiavimui, turime įvertinti apdirbamos

plokštumos nestatmenumo dydį  $\Delta$ , pastatymo bazei. Minimali užlaida kis per visą detalės apdirbimo ilgį, nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} + \Delta$ :

$$Z'_{i\min} = Z_i^{\min} + \Delta = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1} \quad (2.2.7)$$

Tuomet:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i\min} \quad (2.2.8)$$

Neįvertinus nurodytų plokštumų nestatmenumo, užlaida kis nuo  $Z_i^{\min}$  iki  $Z_i^{\min} - \Delta$ , einant nuo linijos 1-1 iki linijos 2-2, ji visą laiką mažės ir baigiant apdirbimą pagal liniją 3-3, pjovimo įrankis gali iš viso nesiekti ruošinio paviršiaus.

Jei matuosime taškuose 2-2, nustatant minimalią užlaidą  $Z_i^{\min}$ , kuri naudojama tarpinių matmenų skaičiavimui, nereikia įvertinti apdirbamos plokštumos nestatmenumo  $\Delta$ . Tačiau skaičiuodami minimalius tarpinius matmenis, turime įvertinti kreipiančios technologinės bazės nestatmenumą  $\Delta'$  pastatymo bazei:

$$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} \quad (2.2.9)$$

Tuomet:

$$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta' \quad (2.2.10)$$

Minimalų matmenį po apdirbimo  $a_i^{\min}$ , gausime einant frezai pagal liniją 5-5. Kaip prieš tai minėjome, turime įvertinti kreipiančios technologinės bazės nestatmenumą  $\Delta'$ , pastatymo bazei. Tad tikrasis minimalus matmuo  $a_i^{\min}$ , bus tarp linijų 6-6 ir 5-5.

Apibendrinami šią tyrimojo darbo dalį, paviršiaus tarpusavio padėties tikslumo įtaką, minimaliai užlaidai  $Z_i^{\min}$  ir minimaliam matmeniui  $a_{i-1}^{\min}$  apskaičiuoti, gautas išraiškas suvedame į lentelę 2.1.2.

lentelė 2.1.2

Detalės tvirtinimo schema, bei tvirtinimo būdai	Matuojant detalių grupę, kraštiniuose paviršiaus taškuose	
	Taškai 1-1	Taškai 2-2
Tvirtinant detalę pagal schemą (pav. 2.7)	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min}$	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i \min}$
	$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}$	$Z'_{i \min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1}$
Tvirtinant detalę pagal schemą (pav. 2.8)	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min}$	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta'$
	$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}$	$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}$
Tvirtinant detalę pagal schemą (pav. 2.9)	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min}$	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i \min} + \Delta'$
	$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}$	$Z'_{i \min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1}$
Tvirtinant detalę pagal schemą (pav. 2.10)	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z'_{i \min}$	$a_{i-1}^{\min} = a_i^{\min} + Z_i^{\min} + \Delta'$
	$Z'_{i \min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{i-1}$	$Z_i^{\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}$

## 2.3 Pjovimo įrankio dilimo ir temperatūrinių deformacijų įtaka, užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimui

Prieš tai aptartuose atvejuose (skyriai 2.1 ir 2.2), skaičiuojant tarpinius matmenis, įvertinome minimalios užlaidos dydį  $Z_i^{\min}$  ir priklausomai nuo nagrinėjamo atvejo pridėjome paviršiaus kreivumą  $\Delta$ . Norint tiksliau apskaičiuoti tarpinius matmenis, turime įvertinti technologinės sistemos tampriąsias deformacijas  $Q_i$ , pjovimo įrankio dilimo  $\Delta d$  ir temperatūrinės technologinės sistemos deformacijas  $\Delta t$ , kurios gaunamos dėl ruošinio matmens kitimo tolerancijos ribose, bei dėl apdirbamos medžiagos kietumo kitimo.

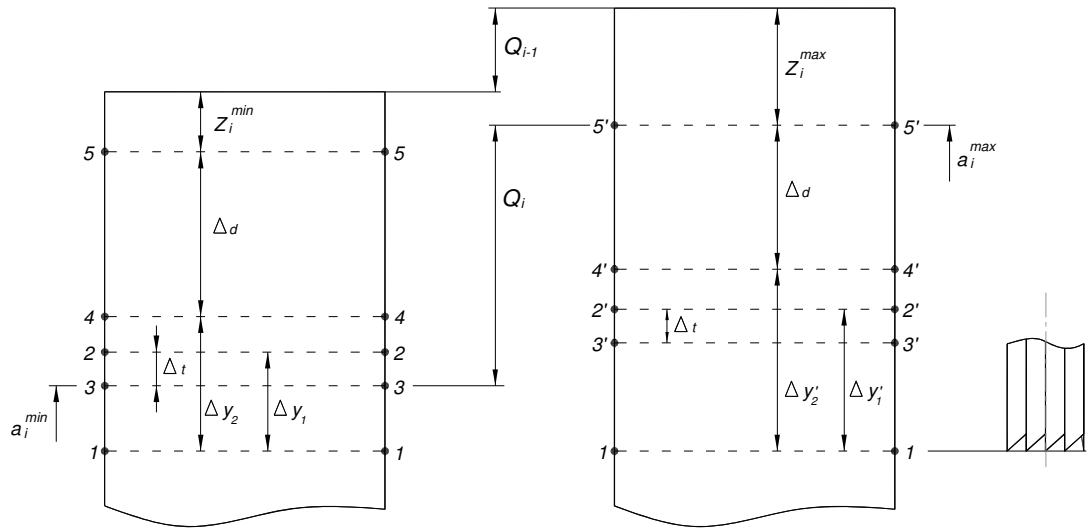
Dirbant automatiniu matmenų gavimo būdu (žr. pav. 2.11) ir vienu ėjimu nupjaunant užlaidą, dėl tampriųjų sistemos nuspaudimų atsiranda kopijavimo reiškinys. Dėl to, apdirbant mažiausio matmens ruošinį  $a_{i-1}^{\min}$ , ir esant mažiausiam pjovimo gyliui  $Z_i^{\min}$ , įrankis nuo paviršiaus bus atitrauktas mažiausiai ir gausime mažiausią matmenį  $a_i^{\min}$ . Apdirbant didžiausią ruošinį, kurio matmuo yra  $a_{i-1}^{\max}$ , pjovimo gylis bus didžiausias ir veiks didžiausią įrankį nuo ruošinio stumianti jėga. Po apdirbimo gausime didžiausią matmenį  $a_i^{\max}$ .

(Pav. 2.11) parodyta įrankio nudilimo ir temperatūrinių deformacijų, gaunamų dėl medžiagos nevienodumo, įtaką užlaidos dydžiui.

Remdamiesi 2.11 pav. galime išreikšti  $Z_i^{\max}$  :

$$\begin{aligned} Z_i^{\max} + Q_i - \Delta t - \Delta d - Z_i^{\min} - Q_{i-1} - (\Delta y_2 - \Delta y_1) &= 0 \\ Z_i^{\max} = Z_i^{\min} + \Delta d + \Delta t - Q_{i-1} + (\Delta y_2 - \Delta y_1) - Q_i &= 0 \end{aligned} \quad (2.3.1)$$





2.11 pav. Minimalių ir maksimalių užlaidų sudaromosios ir tarpiniai matmenys

čia, 1-1 – frezos judesio trajektorija, nustatyta derinant;

2-2 – frezos judesio trajektorija apdirbimo pradžioje, kai įrankis neįkaitęs, pjovimo briaunos nenudilusios, medžiagos kietumas mažiausias;

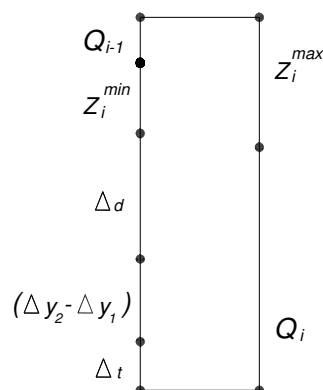
3-3 – frezos judesio trajektorija, kai įrankis įkaista;

4-4 - frezos judesio trajektorija, kai įrankis įkaitęs, o medžiagos kietumas didžiausias;

5-5 - frezos judesio trajektorija, kai įrankis nudilęs, o medžiagos kietumas didžiausias;

2'-2'; 3'-3'; 4'-4'; 5'-5' – linijos gaunamos analogiškai, kaip ir 2-2; 3-3; 4-4; 5-5 tik prie maksimalios užlaidos reikšmės.

Maksimaliai užlaidai išreikšti  $Z_i^{max}$ , sudarome paklaidų grandinę:



2.12 pav. Paklaidų grandinė

### 3. IŠVADOS

1. Tinkamai patikslinti užlaidų skaičiavimai, leis optimaliai rinktis užlaidą ir taip sutaupyti gamybinių išteklių lėšas.
2. Įvertinę apdirbamų detalių, paviršių išgaubtumo ( $\Delta_{ig}$ ) arba įgaubtumo ( $\Delta_{ig}$ ) dydžius, tiksliau apskaičiuosime optimalią užlaidą, bei tarpinius matmenis.
3. Įvertinę bazinių paviršių, bei apdirbamos detalės paviršių tarpusavio padėties paklaidas,  $\Delta$  (apdirbamos plokštumos nestatmenumas) ir  $\Delta'$  (kreipiančios bazės nestatmenumas), sumažinsime minimalios užlaidos reikšmę.
4. Norėdami tiksliau apskaičiuoti minimalios užlaidos reikšmę, turime įvertinti pjovimo įrankio dilimą bei jo temperatūrinės deformacijos.
5. Neįvertinus detalės geometrinių ir kitų paklaidų įtakos, apdirbamam paviršiui, apdirbimo metu užlaida nuolat mažės ir pjovimo įrankis gali visai nesiekti ruošinio paviršiaus.

## LITERATŪRA

1. Technologinių matmenų pagrindai tolerancijos ir suleidimai. / R. Stasiūnas, L. Naginevičienė, D. Maršaitis. Kaunas 1994.
2. Techniniai matavimai ir pakeičiamumo pagrindai. / L. Kumpikas. Vilnius 1972.
3. Mašinių gamybos technologijos pagrindai. / L. Kumpikas. Vilnius 1978.
4. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. / А. Ф. Горбацевич, В. Н. Чеботарев, В. А. Шкрёб. Минск 1975.
5. Mašinių gamybos technologija. Mokomoji knyga. / V. Danilevskis. Vilnius 1981.
6. Mašinių gamybos technologijos pagrindai. / A. J. Bražiūnas. Kaunas 2004.