

# Mogućnosti Laboratorija za precizna mjerenja dužina

---

**Bekić, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2008**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:474778>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

Nikola Bekić

Zagreb, 2008

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

Voditelj rada:  
Dr.sc. Sanjin Mahović

Nikola Bekić

Zagreb, 2008

## Zadatak

Mogućnosti Laboratorija za precizna mjerenja dužina za ispitivanje ravnoće površina alatnih strojeva:

1. Temeljem norme ISO 230-1 1996 godine dati pregled uvjeta ispitivanja geometrijske točnosti alatnih strojeva.
2. Prema preporuci norme odrediti mogućnosti Laboratorija za precizna mjerenja dužina LFSB-a za ispitivanje ravnoće površina alatnih strojeva s obzirom na postojeću opremu.
3. Provesti ispitivanje ravnoće mjerne ploče sa libelom i autokolimatorom.

Na osnovu provedenih mjerenja sa dvije metode dati ocjenu prednosti i nedostataka metoda pri ispitivanju ravnoće površina alatnih strojeva.



## Sažetak

U završnom radu razmatraju se mogućnosti Laboratorija za precizna mjerenja dužina za ispitivanje ravnoće površina alatnih strojeva. U uvodnom dijelu je dan kompletan prijevod norme ISO 230-1 na Hrvatski jezik, koja se sastoji od slijedećih dijelova:

- *Dio 1: Geometrijska točnost strojeva koji rade pod neopterećenjem ili završnim uvjetima*
- *Dio 2: Utvrđivanje točnosti i mogućnosti ponavljanja pozicioniranja osi alata numerički upravljanih alatnih strojeva.*
- *Dio 3: Procjena toplinskih utjecaja*
- *Dio 4: Kružno ispitivanje za numerički upravljane alatne strojeve*
- *Dio 5: Utvrđivanje buke*

U Laboratoriju za precizna mjerenja dužina LFSB-u izvršen je popis postojeće opreme za ispitivanje ravnoće površina alatnih strojeva, prema preporuci norme. Na temelju norme ISO230-1, opisani su uređaji i metode ispitivanja ravnoće površina alatnih strojeva, koje su korištene u eksperimentalnom dijelu.

U eksperimentalnom dijelu su provedena ispitivanja ravnoće mjerne ploče metodom libele i metodom autokolimatora. Rezultati mjerenja koji su dobiveni metodama libele i autokolimatora, obrađeni su pomoću Rank Taylor Hobson programskog alata, te grafički prikazani.

Na osnovu provedenih mjerenja, dane su prednosti i nedostaci metoda pri ispitivanju ravnoće površina alatnih strojeva.

## Popis slika

Slika 1: Utjecaj na kakvoću obrade alatnog stroja.....	8
Slika 2: Krivulja AB za utvrđivanje greške.....	14
Slika 3: Lokalno odstupanje.....	15
Slika 4: Ukupna tolerancija.....	15
Slika 5: Tolerancije položaja.....	16
Slika 6: Kut rotacije osovine.....	16
Slika 7: Tolerancije oblika.....	16
Slika 8: Tolerancije relativnog položaja.....	17
Slika 9: Odstupanje gibanja osovine.....	17
Slika 10: Pravocrtnost linije na plohi.....	21
Slika 11: Pravocrtnost linije u prostoru.....	21
Slika 12: Referenca pravocrtnosti.....	22
Slika 13: Mjerenje mjernom urom u vertikalnoj ravnini.....	23
Slika 14: Mjerenje mjernom urom u horizontalnoj ravnini.....	23
Slika 15: Linije odstupanja E1 i E2.....	24
Slika 16: Mjerenje ravnoće mikroskopom.....	25
Slika 17: Kolimacioni mikroskop.....	26
Slika 18: Metoda kolimacionog lasera.....	26
Slika 19: Laserska interferencijska tehnika.....	26
Slika 20: Metoda bazirana na mjerenju kuta.....	27
Slika 21: Grafičko ucrtavanje parametara.....	28
Slika 22: Libela na nagnutom osloncu.....	28
Slika 23: Metoda autokolimacije.....	28
Slika 24: Metoda laserskog interferometra.....	29
Slika 25: Maksimalno naznačeno odstupanje.....	29
Slika 26: Određivanje tolerancija.....	30
Slika 27: Direktno mjerenje odstupanja.....	30
Slika 28: Prikaz razmaka mjernih točaka.....	30
Slika 29: Kompleksne referentne površine.....	31
Slika 30: Upotreba okrenutog oblika V.....	31
Slika 31: Upotreba cilindra.....	32
Slika 32: Upotreba cilindra i dodatne potporne točke.....	32
Slika 33: Tijelo na četiri bloka leži na cilindru.....	32
Slika 34: Prikaz četiri bloka.....	32
Slika 35: Tijelo na mjernoj površini.....	33
Slika 36: Prikaz dodatnih potpornih točaka.....	33
Slika 37: Odstupanja pravocrtnosti u funkcionalnoj ravnini AB.....	33
Slika 38: Prikaz odstupanja pravocrtnog gibanja.....	34
Slika 39: Linearno odstupanje.....	36
Slika 40: Površina mjerenja položena na mjernu ploču.....	37
Slika 41: Površina mjerenja smještena okomito na mjernu ploču.....	38
Slika 42: Ispitna površina.....	38
Slika 43: Prikaz referentnog lineala.....	39
Slika 44: Referenca za mjerenje.....	39
Slika 45: Provjeravana površina na referentnoj površini.....	40
Slika 46: Reprezentativna ravnina.....	40
Slika 47: Reprezentativna ravnina OABC.....	41
Slika 48: Periferni krugovi i promjeri.....	41
Slika 49: Ekstremne točke kvadrata.....	41

Slika 50: Centar referentne ravnine .....	42
Slika 51: Kolimacioni laser .....	43
Slika 52: Laserski mjerni sustav .....	43
Slika 53: Prikaz izometrije.....	44
Slika 54: Prikaz centriranja osovine .....	46
Slika 55: Prikaz mjerne ure .....	46
Slika 56: Prikaz metode libele .....	47
Slika 57: Prikaz uređaja okomitog na osi kroz koje prolazi ravnina .....	47
Slika 58: Fiksni prilagodljivi pomoćni blok .....	48
Slika 59: Prikaz uređaja pri ispitivanju paralelnosti .....	48
Slika 60: Mjerenje u ekstremnim pozicijama .....	49
Slika 61: Prikaz cilindra koji predstavlja os .....	49
Slika 62: Ugradbeni blok .....	50
Slika 63: Ugradbeni blok i mjerna ura.....	50
Slika 64: Mjerenje se izvodi u okomitim ravninama.....	50
Slika 65: Mjerenje paralelnosti libelom.....	51
Slika 66: Mjerenje pomoću klizača .....	52
Slika 67: Mjerna ura pričvršćena na gibajuću komponentu stroja .....	52
Slika 68: Korištenje kutne poluge i komada odgovarajućeg oblika .....	53
Slika 69: Osovina koja predstavlja os pri mjerenju .....	53
Slika 70: Iгла mjerne ure leži na točki gibajućeg dijela.....	53
Slika 71: Korištenje mjerne ure na dva cilindra .....	54
Slika 72: Prikaz pomoćne ravnine paralelne s ravninom okretanja.....	54
Slika 73: Prikaz prolaska igle uređaja preko cilindra koji predstavlja drugu os .....	56
Slika 74: Prikaz rotirajućeg prstena.....	56
Slika 75: Tolerancija paralelnosti .....	56
Slika 76: Promjer rotacije uređaja .....	57
Slika 77: Prikaz mjernog cilindra .....	58
Slika 78: Kutnik sa prikladnom bazom .....	58
Slika 79: Mjerna ura pričvršćena na osovinu .....	59
Slika 80: Kutnik u kontaktu s cilindrom.....	59
Slika 81: Kutnik u kontaktu s cilindrom.....	59
Slika 82: Prikaz mjerne ure pričvršćene za ruku koja se drži za osovinu.....	60
Slika 83: Kutnik s prikladnom bazom .....	60
Slika 84: Mjerna ura s prikladnom bazom.....	60
Slika 85: Mjerna ura s prikladnom bazom.....	60
Slika 86: Kutnik položen na ravninu .....	61
Slika 87: Kutnik položen na cilindar koji predstavlja os.....	62
Slika 88: Sklop mjernih uređaja .....	62
Slika 89: Primjena optičke metode za ispitivanje okomitosti.....	63
Slika 90: Ekscentričnost .....	64
Slika 91: Prikaz radijalnog bacanja .....	65
Slika 92: Mjerenje osovine pri rotiranju.....	65
Slika 93: Ispitivanje kružnosti u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini .....	66
Slika 94: Prikaz minimalnog aksijalnog gibanja .....	67
Slika 95: Prikaz ispitne osovine okomite na os mjerne ure .....	67
Slika 96: Prikaz ispitne osovine s zaobljenim dijelom .....	67
Slika 97: Postavljanje čelične kugle za ostvarenje kontakta .....	68
Slika 98: Korištenje dvije mjerne ure .....	68
Slika 99: Prikaz grešaka na površini.....	69
Slika 100: Prikaz pomicanja osi .....	69

Slika 101: Greške na osi rotacije .....	69
Slika 102: Radijalno bacanje .....	69
Slika 103: Položaji mjerne ure.....	70
Slika 104: Nazivna i stvarna podjela skale .....	72
Slika 105: Lokalne greške podjele.....	73
Slika 106: Uzastopne greške podjele.....	73
Slika 107: Ukupne greške podjele.....	73
Slika 108: Prikaz odstupanja sjecišta.....	75
Slika 109: Tolerancija kružnosti.....	76
Slika 110: Uređaj rotira oko komada.....	76
Slika 111: Stol s komadom rotira .....	76
Slika 112: Koordinatni mjerni uređaj .....	77
Slika 113: Prikaz profila .....	77
Slika 114: Odstupanje kružnosti mjereno brojčanim indikatorom.....	77
Slika 115: Jednodimenzionalni ispitivač .....	78
Slika 116: Specijalni kružni fiksator .....	78
Slika 117: Dvodimenzionalni ispitivač.....	79
Slika 118: Teleskopska poluga s kuglom .....	79
Slika 119: Tolerancija cilindričnosti.....	80
Slika 120: Skeniranje opsega.....	80
Slika 121: Podudarnost promjera.....	81
Slika 122: Prikaz alatnog stroja .....	81
Slika 123: Mjerilo visine .....	81
Slika 124: Pozicija najboljih potpora za pravokutne poluge.....	84
Slika 125: Trnovi sa Morse-ovim i metričkim konusom.....	87
Slika 126: Ispitni lineali.....	88
Slika 127: Osovina za montiranje između centara .....	90
Slika 128: Osnovni tipovi kutnika.....	91
Slika 129: Mjerenje krutosti kutnika sa dvije ručke .....	92
Slika 130: Podesiva libela.....	94
Slika 131: Elektronska libela.....	94
Slika 132: Mjerna ura .....	95
Slika 133: Pupitas .....	95
Slika 134: Ticalo u obliku metka.....	96
Slika 135: Ticalo u obliku poluge.....	96
Slika 136: Tipična čelična ili lijevana željezna ploča.....	96
Slika 137: Tipična granitna ploča .....	96
Slika 138: Pozicija nogu velike ravne površine.....	97
Slika 139: Mikroskop sa napetom žicom .....	97
Slika 140: Pogled na ukrižene žice, metu i mikrometarski brojčanik .....	98
Slika 141: Kolimator montiran na horizontalnu bazu.....	99
Slika 142: Mjerenje pravocrtnosti mjernim pomicanjem od linije vidljivosti.....	100
Slika 143: LURD princip.....	100
Slika 144: Autokolimator .....	100
Slika 145: Postavke optičkog kutnika.....	101
Slika 146: Greška mrtvi hod.....	102
Slika 147: Greška kosinusa.....	103
Slika 148: Abbe-ova greška odmaka .....	104
Slika 149: Koincidentna libela.....	107
Slika 150: Mjerenje pravocrtnosti libelom .....	107
Slika 151: Libela.....	108

---

Slika 152: Elektronička libela.....	110
Slika 153: Princip autokolimacije.....	111
Slika 154: Autokolimator .....	112
Slika 155: Dijagonalna ili "Union Jack" metoda.....	113
Slika 156: Mjerna ploča.....	113
Slika 157: Mjerna ploča.....	114
Slika 158: Koincidentna libela.....	114
Slika 159: Grafički prikaz površine mjerne ploče, mjerenje libelom.....	115
Slika 160: Autokolimator .....	117
Slika 161: Grafički prikaz površine mjerne ploče, mjerenje autokolimatorom.....	117

## Popis tablica

TABLICA 1: Lineali.....	85
TABLICA 2: Zahtjevi točnosti koji se odnose na pet lineala u tablici 1.....	86
TABLICA 3: Ispitne osovine – Vrijednosti deformacije .....	88
TABLICA 4: Trnovi – Cilindrični dijelovi od 7/24 konusnih držača .....	89
TABLICA 5: Trnovi – Zahtjevi.....	89
TABLICA 6: Tipovi cilindara .....	91
TABLICA 7: Popis opreme LFSB-a .....	105
TABLICA 8: Prikaz rezultata mjerenja libelom.....	116
TABLICA 9: Prikaz rezultata mjerenja autokolimatorom .....	118

## Popis oznaka i mjernih jedinica fizikalnih veličina

- D vanjski promjer, mm
- d unutarnji promjer, mm
- E modul elastičnosti, kN/ mm<sup>2</sup>
- L radna duljina, mm
- L<sub>Lms</sub> udaljenost mjerena pomoću laserskog mjernog sustava, mm
- l mjerna duljina, mm
- M masa, kg
- T<sub>lokalno</sub> lokalna tolerancija, mm
- T<sub>totalno</sub> ukupna tolerancija, mm
- T tolerancija koaksijalnosti, mm
- T' tolerancija paralelnosti, mm
- f progib, mm
- F sila, N
- G težina, N
- p tlak, Pa
- α mjereni kut, °
- mjerno područje, mm/m, m, °, ', ", MHz
- podjela skale, "
- nazivno odstupanje, mm

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad radio samostalno, koristeći navedenu literaturu i znanje stečeno tijekom dosadašnjeg dijela studija. Posebno se zahvaljujem voditelju rada Dr.sc. Sanjinu Mahoviću koji mi je pomagao stručnim savjetima i prijedlozima u izradi ovog zadatka.

Nikola Bekić

---



# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Područje primjene norme ISO 230-1 .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>NORMA ISO 230-1.....</b>	<b>11</b>
3.1	Generalna razmatranja .....	11
3.1.1	Definicije vezane za ne geometrijsko ispitivanje .....	11
3.1.2	Ispitne metode i uporaba mjernih uređaja .....	12
3.1.3	Tolerancije .....	12
3.1.3.1	Tolerancije mjerenja kada se vrši ispitivanje stroja.....	12
3.1.3.1.1	Jedinice mjerenja i mjerno područje.....	12
3.1.3.1.2	Pravila koja se tiču tolerancija.....	13
3.1.3.2	Podrazred tolerancija .....	13
3.1.3.2.1	Tolerancije koje su primjenjive na ispitne dijelove i na individualne komponente stroja .....	13
3.1.3.2.1.1	Tolerancije dimenzija .....	13
3.1.3.2.1.2	Tolerancije oblika .....	13
3.1.3.2.1.3	Tolerancije položaja.....	14
3.1.3.2.1.4	Utjecaj grešaka oblika na utvrđivanje grešaka položaja.....	14
3.1.3.2.1.5	Lokalne tolerancije .....	14
3.1.3.2.2	Primjenjivost tolerancija na pomak komponenata alatnog stroja .....	15
3.1.3.2.2.1	Tolerancije položaja.....	16
3.1.3.2.2.1.1	Tolerancije ponovljivosti .....	16
3.1.3.2.2.2	Tolerancije oblika .....	16
3.1.3.2.2.3	Tolerancije relativnog položaja (Slika 8) .....	17
3.1.3.2.2.4	Lokalne tolerancije u kretanju komponenata.....	17
3.1.3.2.3	Sveobuhvatne ili zaključne tolerancije .....	17
3.1.3.2.4	Simboli i pozicije tolerancije za relativne kutne pozicije osi kliznih vodilica, itd... 17	
3.1.3.2.5	Uobičajene definicije osi i kretanja .....	18
3.2	Pripreme radnje.....	18
3.2.1	Montaža stroja prije ispitivanja .....	18
3.2.1.1	Niveliranje .....	18
3.2.2	Stanje stroja prije ispitivanja .....	18
3.2.2.1	Demontaža određenih komponenata.....	18
3.2.2.2	Temperaturni uvjeti određenih komponenata prethodno ispitu.....	18
3.2.2.3	Funkcija i punjenje .....	18
3.3	Ispitivanje obradom .....	19
3.3.1	Ispitivanje .....	19
3.4	Geometrijska ispitivanja .....	20
3.4.1	Opće.....	20
3.4.2	Pravocrtost .....	20
3.4.2.1	Pravocrtost linije na plohi ili u prostoru .....	21
3.4.2.1.1	Definicija .....	21
3.4.2.1.1.1	Pravocrtost linije na plohi (Slika 10).....	21
3.4.2.1.1.2	Pravocrtost linije u prostoru (Slika 11).....	21
3.4.2.1.2	Metode mjerenja pravocrtosti .....	21
3.4.2.1.2.1	Metode bazirane na mjerenju dužine.....	22
3.4.2.1.2.1.1	Metoda s linealom.....	22
3.4.2.1.2.1.1.1	Mjerenja u vertikalnoj ravnini .....	22
3.4.2.1.2.1.1.2	Mjerenja u horizontalnoj ravnini .....	23

3.4.2.1.2.1.2	Napeta žica i mikroskopska metoda .....	24
3.4.2.1.2.1.3	Kolimaciona metoda.....	25
3.4.2.1.2.1.4	Metoda kolimacionog lasera (Slika 19).....	25
3.4.2.1.2.1.5	Laserska interferencijska tehnika (Slika 20).....	26
3.4.2.1.2.2	Metode bazirane na mjerenju kuta.....	26
3.4.2.1.2.2.1	Metoda preciznog niveliranja .....	27
3.4.2.1.2.2.2	Metoda „autokolimacije“ .....	28
3.4.2.1.2.2.3	Metoda laserskog interferometra (mjerenje kuta) (Slika 25).....	29
3.4.2.1.3	Tolerancija .....	29
3.4.2.1.3.1	Definicija .....	29
3.4.2.1.3.2	Određivanje tolerancija.....	29
3.4.2.2	Pravocrtost komponenti .....	30
3.4.2.2.1	Definicija .....	30
3.4.2.2.2	Metode mjerenja pravocrtosti.....	30
3.4.2.2.2.1	Referentni žljebovi ili referentne površine stolova.....	30
3.4.2.2.2.2	Vodilice.....	31
3.4.2.2.2.2.1	Površine u obliku slova V.....	31
3.4.2.2.2.2.2	Cilindrična površina.....	32
3.4.2.2.2.2.3	Jednostavne vertikalne površine .....	33
3.4.2.2.2.2.4	Konfiguracija nagnute osnove .....	33
3.4.2.2.2.3	Tolerancije .....	34
3.4.2.3	Pravocrtno gibanje .....	34
3.4.2.3.1	Definicije (Slika 39) .....	34
3.4.2.3.1.1	Položajna odstupanja .....	34
3.4.2.3.1.2	Linearna odstupanja.....	34
3.4.2.3.1.3	Kutna odstupanja .....	35
3.4.2.3.2	Metode mjerenja .....	35
3.4.2.3.2.1	Metode mjerenja linearnog odstupanja.....	35
3.4.2.3.2.1.1	Metode sa linealom i mjernom urom (vidi 3.4.212.112).....	35
3.4.2.3.2.1.2	Metode sa mikroskopom i napetom žicom (vidi 3.4.212.12).....	35
3.4.2.3.2.1.3	Metode sa korištenjem kolimacionog mikroskopa (vidi 3.4.212.13) .....	35
3.4.2.3.2.1.4	Metode korištenja kolimacionog mikroskopa (vidi 3.4.212.14 i 3.4.212.15) ..	35
3.4.2.3.2.1.5	Metode korištenja kutnog mjerenja (vidi 3.4.212.2 i 3.4.232.2) .....	35
3.4.2.3.2.2	Metode mjerenja kutnih odstupanja.....	36
3.4.2.3.2.2.1	Metoda korištenjem libele (vidi 3.4.212.2) .....	36
3.4.2.3.2.2.2	Metoda korištenja autokolimatora (vidi 3.4.212.22) .....	36
3.4.2.3.2.2.3	Metoda korištenja lasera (vidi 3.4.212.23) .....	36
3.4.2.3.3	Tolerancije .....	36
3.4.2.3.3.1	Tolerancije linearnog odstupanja pravocrtnog gibanja.....	36
3.4.2.3.3.2	Tolerancije kutnog odstupanja pravocrtnog gibanja.....	36
3.4.3	Ravnost .....	37
3.4.3.1	Definicija .....	37
3.4.3.2	Metode mjerenja .....	37
3.4.3.2.1	Mjerenje ravnosti pomoću mjerne ploče .....	37
3.4.3.2.1.1	Mjerenje ravnosti pomoću mjerne ploče i mjerne ure .....	37
3.4.3.2.2	Mjerenje ravnosti pomoću mjernih blokova.....	38
3.4.3.2.2.1	Mjerenje ravnosti pomoću familije pravocrtnih linija pomicanjem mjernog bloka .....	38
3.4.3.2.2.2	Mjerenje ravnosti pomoću preciznih lineala i mjernih ura.....	39
3.4.3.2.3	Mjerenje ravnosti pomoću libela .....	40
3.4.3.2.3.1	Mjerenje pravokutnih površina.....	40

3.4.3.2.3.2	Mjerenje ravnih površina sa kružnom konturom.....	41
3.4.3.2.4	Mjerenje ravnosti optičkim metodama .....	42
3.4.3.2.4.1	Mjerenje pomoću autokolimatora.....	42
3.4.3.2.4.2	Mjerenje pomoću optičkog kutnika .....	42
3.4.3.2.4.3	Mjerenje pomoću kolimacionog lasera.....	42
3.4.3.2.4.4	Mjerenje pomoću laserskog mjernog sustava.....	43
3.4.3.2.4.5	Mjerenje pomoću koordinatnog mjernog uređaja.....	44
3.4.3.3	Tolerancije .....	44
3.4.4	Paralelnost, ekvidistantnost i koincidencija.....	45
3.4.4.1	Paralelnost linija i ravnina .....	45
3.4.4.1.1	Definicije .....	45
3.4.4.1.2	Metode mjerenja .....	45
3.4.4.1.2.1	Općenito, za osi .....	45
3.4.4.1.2.2	Paralelnost dvije ravnine.....	46
3.4.4.1.2.2.1	Lineal i mjerna ura.....	46
3.4.4.1.2.2.2	Metoda sa libelom.....	47
3.4.4.1.2.3	Paralelnost dvije osi.....	47
3.4.4.1.2.3.1	Ravnina prolazi kroz dvije osi <sup>2)</sup> .....	47
3.4.4.1.2.3.2	Druga ravnina okomita na prvu .....	48
3.4.4.1.2.4	Paralelnost osi prema ravnini .....	48
3.4.4.1.2.5	Paralelnost osi prema sjecištu dviju ravnina.....	49
3.4.4.1.2.6	Paralelnost sjecišta dviju ravnina prema trećoj ravnini .....	50
3.4.4.1.2.7	Paralelnost između dvije pravocrtne linije, svaka formirana sjecištem dviju ravnina .....	50
3.4.4.1.3	Tolerancije .....	51
3.4.4.2	Paralelnost gibanja.....	51
3.4.4.2.1	Definicija .....	51
3.4.4.2.2	Metode mjerenja .....	51
3.4.4.2.2.1	Općenito.....	51
3.4.4.2.2.2	Paralelnost između trajektorije i ravnine .....	52
3.4.4.2.2.2.1	Ravnina je na samoj gibajućoj komponenti.....	52
3.4.4.2.2.2.2	Ravnina nije na samoj gibajućoj komponenti.....	52
3.4.4.2.2.3	Paralelnost trajektorije prema osi .....	53
3.4.4.2.2.4	Paralelnost trajektorija na sjecištu dviju ravnina.....	53
3.4.4.2.2.5	Paralelnost između dviju trajektorija .....	53
3.4.4.2.3	Tolerancija .....	54
3.4.4.3	Ekvidistanca.....	54
3.4.4.3.1	Definicija .....	54
3.4.4.3.2	Metode mjerenja .....	54
3.4.4.3.2.1	Općenito.....	54
3.4.4.3.2.2	Specijalni slučaj ekvidistance dviju osi iz ravnine okretne jedne od osi.....	54
3.4.4.3.3	Tolerancija .....	55
3.4.4.4	Koaksijalnost, koincidencija ili poravnanje <sup>3)</sup> .....	55
3.4.4.4.1	Definicija .....	55
3.4.4.4.2	Metode mjerenja .....	55
3.4.4.4.3	Tolerancije .....	56
3.4.5	Pravokutnost ili okomitost.....	56
3.4.5.1	Pravokutnost pravocrtnih linija i ravnina .....	57
3.4.5.1.1	Definicija .....	57
3.4.5.1.2	Metode mjerenja .....	57
3.4.5.1.2.1	Općenito.....	57

3.4.5.1.2.2	Dvije ravnine pod $90^\circ$ jedna prema drugoj.....	58
3.4.5.1.2.3	Dvije osi pod $90^\circ$ jedna prema drugoj.....	58
3.4.5.1.2.3.1	Obje osi su fiksne osi.....	58
3.4.5.1.2.3.2	Jedna od osi je os rotacije.....	58
3.4.5.1.2.4	Os i ravnina pod $90^\circ$ jedna prema drugoj.....	59
3.4.5.1.2.4.1	Fiksne osi.....	59
3.4.5.1.2.4.2	Osi rotacije.....	59
3.4.5.1.2.5	Osi pod $90^\circ$ na sjecištu dviju ravnina.....	59
3.4.5.1.2.5.1	Fiksne osi.....	59
3.4.5.1.2.5.2	Osi Rotacije.....	59
3.4.5.1.2.6	Kada je sjecište dviju ravnina pod $90^\circ$ prema drugoj ravnini.....	60
3.4.5.1.2.7	Kada dvije pravocrtne linije, svaka formirana presjecištem dviju ravnina, su pod $90^\circ$ jedna prema drugoj.....	60
3.4.5.1.3	Tolerancija.....	61
3.4.5.2	Okomitost gibanja.....	61
3.4.5.2.1	Definicija.....	61
3.4.5.2.2	Metode mjerenja.....	61
3.4.5.2.2.1	Općenito.....	61
3.4.5.2.2.2	Okomitost između trajektorija točke i ravnine.....	61
3.4.5.2.2.3	Trajektorija točke pod $90^\circ$ na os.....	62
3.4.5.2.2.4	Dvije trajektorije okomite jedna na drugu.....	62
3.4.5.2.3	Tolerancija.....	63
3.4.6	Rotacija.....	63
3.4.6.1	Gibanje kolebanja.....	63
3.4.6.1.1	Definicija.....	63
3.4.6.1.1.1	Odstupanje od kružnosti.....	63
3.4.6.1.1.2	Ekscentričnost (Slika 90).....	64
3.4.6.1.1.3	Radijalno skretanje osi na danoj točki.....	64
3.4.6.1.1.4	Odstupanje od kružnosti komponenata na zadanom presjeku.....	64
3.4.6.1.2	Metode mjerenja.....	65
3.4.6.1.2.1	Mjere opreza prije ispitivanja (vidi 3.2.22.).....	65
3.4.6.1.2.2	Vanjska površina.....	65
3.4.6.1.2.3	Unutrašnja površina.....	66
3.4.6.1.3	Tolerancije.....	66
3.4.6.2	Periodičko aksijalno klizanje.....	67
3.4.6.2.1	Definicija.....	67
3.4.6.2.1.1	Minimalna vrijednost aksijalnog gibanja.....	67
3.4.6.2.1.2	Periodičko aksijalno klizanje.....	67
3.4.6.2.2	Metode mjerenja.....	67
3.4.6.2.2.1	Općenito.....	67
3.4.6.2.2.2	Primjene.....	68
3.4.6.2.3	Tolerancije.....	68
3.4.6.3	Pomicanje osi.....	69
3.4.6.3.1	Definicija.....	69
3.4.6.3.2	Metode mjerenja.....	69
3.4.6.3.3	Tolerancija.....	70
3.5	Specijalna ispitivanja.....	71
3.5.1	Podjela.....	71
3.5.1.1	Definicije grešaka.....	71
3.5.1.1.1	Pojedinačne greške podjele.....	71
3.5.1.1.2	Uzastopne greške podjele.....	71

3.5.1.1.3	Lokalne greške podjele .....	71
3.5.1.1.4	Kumulativne greške podjele .....	71
3.5.1.1.5	Ukupne greške podjele .....	72
3.5.1.1.6	Grafički prikaz tih grešaka.....	72
3.5.1.2	Metode mjerenja .....	73
3.5.1.3	Tolerancija .....	73
3.5.2	Određivanje odstupanja linearnog pozicioniranja komponenti sa navojnim vretenom..	74
3.5.3	Kutni pomak .....	74
3.5.3.1	Definicija .....	74
3.5.3.2	Metode mjerenja (ispitivanje uređaja/komponente za podjelu).....	74
3.5.3.3	Tolerancija .....	74
3.5.4	Ponavljanje uređaja sa kutnim podjelama .....	75
3.5.4.1	Definicija .....	75
3.5.4.2	Metode mjerenja .....	75
3.5.4.3	Tolerancija .....	75
3.5.5	Sjecište osi .....	75
3.5.5.1	Definicija .....	75
3.5.5.2	Metode mjerenja .....	75
3.5.5.2.1	Direktno mjerenje .....	75
3.5.5.2.2	Indirektno mjerenje.....	76
3.5.5.3	Tolerancija .....	76
3.5.6	Kružnost.....	76
3.5.6.1	Definicija .....	76
3.5.6.2	Metode mjerenja na ispitnim komadima .....	76
3.5.6.2.1	Mjerni uređaj za kružnost sa rotirajućim primateljem ili rotirajućim stolom.....	76
3.5.6.2.2	Koordinatni mjerni uređaj.....	77
3.5.6.2.3	Prikaz profila .....	77
3.5.6.2.4	Metoda prizmi.....	77
3.5.6.3	Mjerenja numerički upravljanih (NC) kružnih pokreta .....	78
3.5.6.3.1	Rotirajuće jednodimenzionalno ticalo .....	78
3.5.6.3.2	Kružni etalon i dvodimenzionalno ticalo.....	78
3.5.6.3.3	Teleskopska poluga sa kuglom.....	79
3.5.7	Cilindričnost .....	80
3.5.7.1	Definicija .....	80
3.5.7.2	Metode mjerenja .....	80
3.5.7.2.1	Koordinatni mjerni uređaj.....	80
3.5.7.2.2	Stroj za mjerenje kružnosti sa rotirajućim ticalpm i rotirajućim stolom .....	80
3.5.7.2.3	Metoda sa blokom u obliku slova V .....	81
3.5.8	Podudarnost obrađenih promjera.....	81
3.5.8.1	Definicija .....	81
3.5.8.2	Metode mjerenja .....	81
3.5.8.2.1	Mikrometri ili sličan dvo kontakti mjerni uređaj.....	81
3.5.8.2.2	Visinomjer .....	81
3.6	DODATAK općenito.....	82
3.7	Lineali .....	82
3.7.1	Opis.....	82
3.7.2	Točnost .....	82
3.7.2.1	Dozvoljene deformacije.....	83
3.7.2.2	Ravnost i pravocrtost radnih površina .....	83
3.7.2.3	Paralelnost mjernih površina .....	83
3.7.2.4	Pravocrtost bočnih površina, u milimetrima.....	83

3.7.2.5	Paralelnost bočnih površina, u milimetrima	83
3.7.2.6	Pravokutnost bočnih površina u odnosu na mjerne površine	84
3.7.2.7	Završna obrada površine radnih lica	84
3.7.2.8	Širina lineala	84
3.7.2.9	Mjere opreza pri korištenju	84
3.8	Trnovi sa konusnom drškom	85
3.8.1	Opis	86
3.8.2	Točnost	87
3.8.3	Mjere opreza pri korištenju	89
3.9	Trnovi između centara	90
3.9.1	Opis	90
3.9.2	Točnost	90
3.9.3	Mjere opreza pri korištenju	91
3.10	Kutnici	91
3.10.1	Opis	92
3.10.2	Točnost	92
3.10.2.1	Tolerancije ravnosti i pravocrtnosti	92
3.10.2.2	Tolerancije pravokutnosti	92
3.10.2.3	Završna obrada radne površine	92
3.10.2.4	Tolerancija krutosti kutnika sa dva kraka	92
3.10.3	Mjere opreza pri korištenju	93
3.11	Libele	93
3.11.1	Libela sa tekućinom i mjehurićem	93
3.11.1.1	Opis	93
3.11.1.2	Točnost	93
3.11.1.3	Mjere opreza pri korištenju	93
3.11.2	Elektroničke libele	94
3.11.2.1	Opis i točnost	94
3.11.2.2	Mjere opreza pri korištenju	94
3.12	Ticala linearnog gibanja	95
3.12.1	Mjerne ure	95
3.12.2	Elektronski komparator	95
3.12.3	Mjere opreza pri upotrebi	96
3.13	Mjerne ploče	96
3.13.1	Opis	96
3.13.2	Mjere opreza pri korištenju	97
3.14	Mikroskopi sa zategnutom žicom	97
3.14.1	Opis	97
3.14.2	Preciznost	98
3.14.3	Mjere opreza pri korištenju	98
3.15	Kolimatori	98
3.15.1	Opis	98
3.15.2	Preciznost	98
3.15.3	Mjere opreza pri korištenju	99
3.16	Autokolimator	99
3.16.1	Opis	99
3.16.2	Točnost	99
3.16.3	Mjere opreza pri upotrebi	99
3.17	Optički kutnik (vidi 3.4. 324)	100
3.17.1	Opis	100
3.17.2	Točnost	100

3.17.3	Mjere opreza pri korištenju.....	100
3.18	Laserski interfometri.....	101
3.18.1	Opis.....	101
3.18.2	Točnost .....	101
3.18.3	Mjere opreza pri korištenju.....	103
<b>4</b>	<b>Oprema za ispitivanje ravnoće površina .....</b>	<b>105</b>
4.1	Popis opreme za ispitivanje ravnoće površina alatnih strojeva LFSSB-a.....	105
4.2	Opis mjernih uređaja libele i autokolimatora .....	106
4.2.1	Libela .....	106
4.2.1.1	Koincidentne libele.....	106
4.2.1.2	Tehničke libele.....	108
4.2.1.3	Kutne libele.....	109
4.2.1.4	Elektroničke libele.....	110
4.2.2	Autokolimatori.....	111
<b>5</b>	<b>Ekperimentalni dio .....</b>	<b>113</b>
5.1	Opis eksperimentalnog dijela .....	113
5.2	Metoda libele .....	114
5.3	Metoda autokolimatora.....	117
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>119</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>120</b>

# 1 Uvod

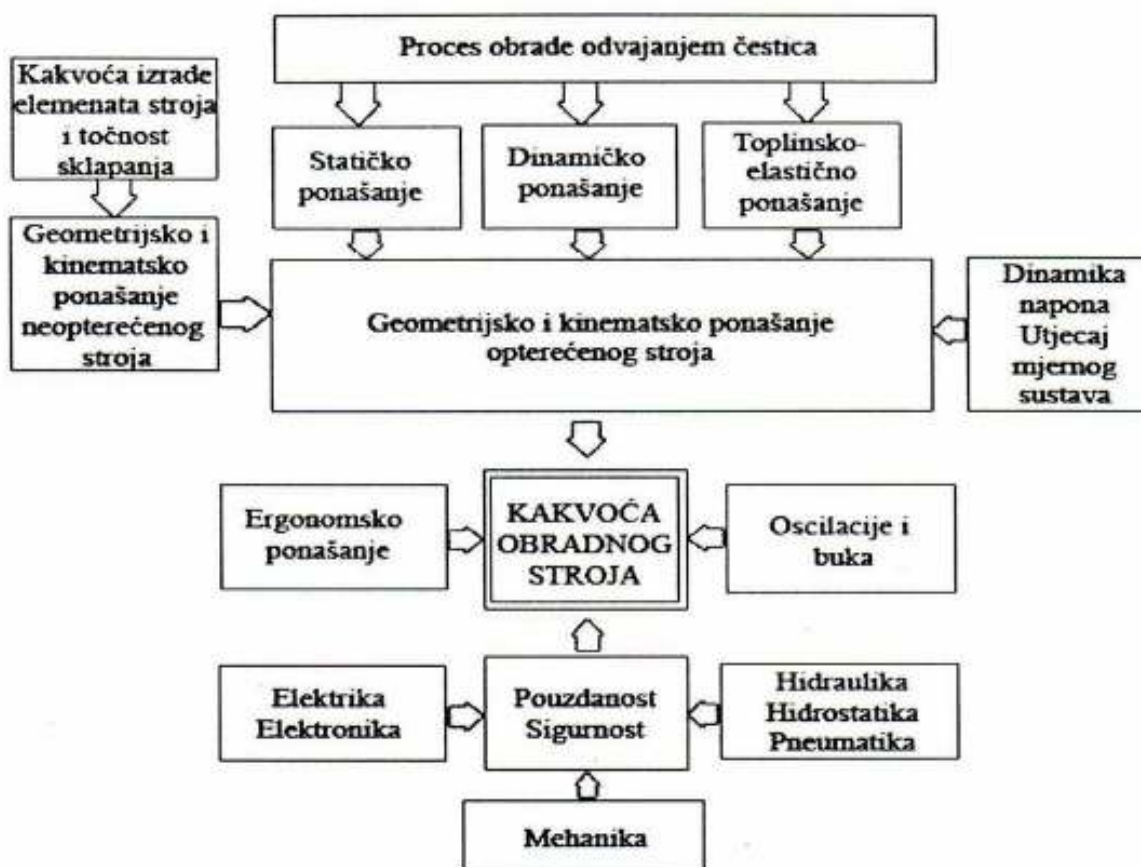
Ispitivanje alatnih strojeva se obavlja u statičkim i dinamičkim uvjetima rada, koji dokazuju dostizivu točnost obrade. Ispitivanje točnosti i pouzdanosti rada alatnih strojeva ima za cilj dokazivanje mogućnosti funkcionalnog rada alatnog stroja u skladu sa projektiranim parametrima. Točnost obrade i pouzdanost rada alatnog stroja ima veliki utjecaj na kvalitetu obrađenih obradaka.

Za ispitivanje točnosti gibanja numerički upravljanih osi koriste se ispitivanja točnosti pozicioniranja, a za ispitivanje točnosti obrade i numeričkog upravljanja koriste se dinamička ispitivanja na određenom standardnom uzorku.

Točnost obrade se očituje u geometrijskim odstupanjima izmjera izratka, koja ovise o sljedećim utjecajnim veličinama:

- odstupanje geometrije alata
- odstupanje zbog istrošenja ili loma rezne oštrice alata
- odstupanje zbog elastičnih deformacija stroja, pribora, naprava i steznih elemenata
- odstupanje od zadanog relativnog gibanja između rezne oštrice alata i obrađivane površine, uključujući elastične deformacije strukture alatnog stroja uvjetovane opterećenjem

Slika 1 prikazuje utjecaj na kakvoću obrade alatnog stroja.



Slika 1: Utjecaj na kakvoću obrade alatnog stroja



Pored geometrijskih i kinematičkih karakteristika neopterećenog alatnog stroja, koje su određene odstupanjem, kakvoćom izrade sastavnih elemenata, bitni su utjecaji parametara opterećenja uzrokovani procesom obrade.

Ovdje značajnu ulogu imaju svojstva statičkih i dinamičkih elastičnih deformacija stroja, a koji ovise o statičkoj i dinamičkoj krutosti strukture alatnog stroja te njegovih sklopova i elemenata. Posebnu, a ponekad i presudnu ulogu u postizanju potrebne točnosti alatnog stroja ima toplinsko-elastična deformacija strukture alatnog stroja koja ovisi o toplinskoj ravnoteži i uvjetima radnog stroja.

Ocjenjivanje kakvoće alatnog stroja trebalo bi se obavljati prema slijedećim smjernicama:

- definiranje, odnosno općeniti opis potrebnih sredstava alatnog stroja, zadano projektom ili ugovorom o kupnji
- ispitivanje kakvoće, mjerenjem prema standardima, normama i preporukama
- ispitivanje ponovljivosti
- analiza rezultata ispitivanja
- ocjenjivanje kakvoće stroja u odnosu na zadana svojstva

Općenito se može reći, da se kakvoća alatnog stroja treba ocjenjivati na temelju stupnja ispunjavanja zahtjeva procesa obrade odvajanjem čestica. Pogreške koje se uočavaju nakon izvršenog mjerenja mogu se podijeliti na sistematske i slučajne.

Sistematske pogreške su kod sličnih rubnih uvjeta ponovljive, tj. slične su za svaku mjernu točku po veličini i predznaku i mijenjaju se po određenim zakonitostima. U sistematske pogreške se ubrajaju:

- pogreške mjernog sustava
- geometrijska netočnost vodilica
- geometrijska netočnost uležištenja glavnog vretena

Slučajne pogreške se ne mijenjaju po nekim zakonitostima, a mogu biti uzrokovane trenjem, veličinom opterećenja, veličinom predopterećenja i zračnošću u ležajevima uležištenja vretena i vodilica.

Ispitivanje točnosti i pouzdanosti rada alatnih strojeva i obradnih sustava se radi s ciljem dokazivanja točnosti i pouzdanosti u statičkim i kinematičkim uvjetima rada.

Čimbenici točnosti alatnih strojeva i sustava su: geometrijske i kinematičke pogreške, toplinski utjecaji na stroj, alat i obradak, istrošenje alata i pogreške zbog statičkog opterećenja.

Ispitivanje statičke točnosti alatnih strojeva i obradnih sustava obavlja se prigodom:

- sklapanja novog stroja
- predpreuzimanja
- završnog preuzimanja
- u tijeku garantnog roka
- u tijeku eksploatacije
- poslije remonta

Ispitivanje dinamičke točnosti obavlja se prigodom predpreuzimanja i završnog preuzimanja.

Ispitivanja točnosti i pouzdanosti rada alatnih strojeva i obradnih sustava su:

- ispitivanja geometrijske točnosti
- ispitivanja točnosti i ponovljivosti pozicioniranja
- ispitivanja tehnološke točnosti

Pored navedenih ispitivanja, još se ispituju razne funkcije alatnog stroja kao i snaga glavnog vretena.

Neka od osnovnih ispitivanja geometrijske točnosti su:

- ispitivanje cilindričnosti dijelova
- ispitivanje okruglosti tokarenih dijelova
- ispitivanje paralelnosti radne osi i vodilica
- ispitivanje paralelnosti konusa pinole i vodilica
- ispitivanje okomitosti poprečnog suporta na os glavnog vretena
- ispitivanje ravnoće planski obrađenih površina

## 2 Područje primjene norme ISO 230-1

Cilj ovog dijela ISO-a 230 je da standardizira metode ispitivanja točnosti alatnih strojeva koji rade ili pod neopterećenjem ili bez završne obrade, geometrijskim ispitivanjima i ispitivanjima obrade. Metode se također mogu primijeniti na ostale tipove industrijskih strojeva gdje su uključena geometrijska ispitivanja i ispitivanja obrade.

Ovaj dio ISO-a 230 pokriva strojeve pokretane mehaničkom snagom koji nisu pokretljivi rukom za vrijeme rada, koji se mogu koristiti za obradu metala, drveta, itd. skidanjem komadića ili strugotine ili plastičnom deformacijom.

Ovaj dio ISO-a 230 se odnosi samo na ispitivanje geometrijske točnosti. Konkretno, on se ne bavi operacijskim ispitivanjem alata na stroju (vibracijama, gibanje zbog dodira komponenata, itd.) niti sa provjeravanjem karakteristika (brzinama, napajanjem) jer su se te provjere u normalnome trebale napraviti u prethodnom ispitivanju točnosti alatnih strojeva.

Kada mjerna metoda nije opisana u ovoj normi, a može ponuditi ekvivalent ili bolje pogodnosti za mjerenje atributa koji će se analizirati, takva metoda se može koristiti.

## 3 NORMA ISO 230-1

### 3.1 Generalna razmatranja

#### 3.1.1 Definicije vezane za ne geometrijsko ispitivanje

Razlika bi se trebala napraviti između geometrijskih definicija i onih naznačenih u ovom dijelu ISO-a 230 kao metrolozijske definicije.

Geometrijske definicije su apstraktne i vezane su samo na zamišljene linije i površine. Iz toga izlazi da geometrijske definicije ponekad ne mogu biti primijenjene u praksi.

One ne uzimaju u obzir stvarnost konstrukcije ili praktičnost geometrijske provjere.

Mjeriteljske definicije su stvarne, jer one uzimaju u obzir stvarne linije i površine koje su dostupne mjerenju. One u jednom rezultatu pokrivaju sva mikro- i makro- geometrijska odstupanja. One omogućavaju da se postigne rezultat pokrivajući sve uzročnike grešaka, bez da pravi razliku među njima. Takvo razlikovanje bi trebalo biti ostavljeno proizvođaču.

Svejedno, u nekim slučajevima, geometrijske definicije (npr. definicija odmaka od pravog gibanja, periodičkog aksijalnog iskliznuća) su zadržane u ovom dijelu ISO-a 230, kako bi se eliminirale bilo kakve konfuzije i da se razjasni jezik koji se koristi. Ipak, kada se opisuju ispitne metode, mjerni uređaji i tolerancije, mjeriteljske definicije su uzete kao osnova.

### 3.1.2 Ispitne metode i uporaba mjernih uređaja

Tijekom ispitivanja alatnih strojeva, ukoliko metoda mjerenja dozvoljava samo potvrdu da tolerancije nisu prijeđene (npr. granične mjere), ili ukoliko se stvarno odstupanje može utvrditi samo visoko preciznim uređajima za koje je potrebno mnogo vremena, dovoljno je, umjesto mjerenja, osigurati da nisu prijeđena ograničenja tolerancije.

Trebalo bi naglasiti da netočnost mjerenja zbog uređaja, kao i zbog korištene metode, treba uzeti u obzir tijekom ispitivanja. Mjerni uređaj ne bi trebao uzrokovati neku pogrešku ili mjerenje koje prelazi zadani dio tolerancije koja se provjerava. Pošto točnost uređaja koji se koristi varira od jednog laboratorija do drugog, kalibracijski obrazac bi trebao biti dostupan za svaki uređaj.

Strojevi koji se ispituju i mjerni pribor, bi trebali biti zaštićeni od propuha i jakog svjetla, ili izloženosti vrućini (sunčeva svjetlost, prevelika blizina električne svjetiljke, itd.) i temperatura mjernih uređaja bi trebala biti stabilizirana prije mjerenja. Stroj sam po sebi će biti prikladno zaštićen od utjecaja varijacije vanjskih temperatura.

Preferira se da bi dano mjerenje trebalo biti ponovljeno, rezultat ispitivanja se dobiva uzimanjem prosjeka mjerenja. Iako, različito mjerenje ne bi trebalo pokazivati prevelika odstupanja jedan od drugoga, ukoliko pokazuju, uzrok bi trebalo potražiti u metodi mjerenja, mjernom uređaju, ili u samom stroju.

Za preciznije indikacije vidi dodatak.

### 3.1.3 Tolerancije

#### 3.1.3.1 Tolerancije mjerenja kada se vrši ispitivanje stroja

Tolerancije, koje ograničavaju devijacije vrijednosti koje ne smiju biti prijeđene, su povezane sa veličinama, oblicima, pozicijama i kretanjima koji su ključni za točnost rada i postavljanja alata, važnih komponenata i dodatnih dijelova. Postoje također i tolerancije koje se primjenjuju samo na ispitne dijelove.

##### 3.1.3.1.1 Jedinice mjerenja i mjerno područje

Kada se utvrđuju tolerancije, važno je napomenuti:

- jedinicu mjere koja se koristi
- referentna baza, veličina tolerancije i njezina lokacija prema referentnoj bazi;
- vrijednost preko koje se radi mjerenje

Tolerancija i mjerna vrijednost će biti iskazana u istom sustavu jedinica. Tolerancije, posebno tolerancije veličina, će biti iskazane samo kada ih je nemoguće definirati jednostavnom referencom na Internacionalne norme za komponente stroja. One povezane sa kutovima, će biti izražene ili u jedinicama kuta (stupnjevi, minuta, sekunda), ili kao tangenta (milimetri po milimetri).

Tada je tolerancija poznata za zadanu vrijednost, tolerancija za drugu vrijednost usporednu prvoj vrijednosti, će biti određena zakonom proporcije. Za vrijednosti uvelike različite od referentnih vrijednosti, zakon proporcije se ne može primijeniti: tolerancije će biti šire za male vrijednosti i uže za veće vrijednosti, od onih koje bi dobili primjenjivanjem tog zakona.

### 3.1.3.1.2 Pravila koja se tiču tolerancija

Tolerancije uključuju netočnosti prisutne u mjernim uređajima i korištenim mjernim metodama. Netočnosti mjerenja bi se stoga trebale uzeti u obzir u dozvoljenim tolerancijama (vidi poglavlje 3.1.2)

#### PRIMJER

Tolerancija gibanja kolebanja:  $x$  mm

Netočnost uređaja, greške pri mjerenju:  $y$  mm

Maksimalna dopuštena razlika u očitanjima tijekom testa:  $(x-y)$  mm

Greške zbog netočnosti koje izlaze iz usporednih laboratorijskih mjerenja, netočnosti oblika dijelova stroja koji se koriste kao referentne površine, uključujući i površine skrivene od ispitne igle ili potpornih točaka mjernih uređaja, trebaju se uzeti u obzir.

Stvarno odstupanje bi trebalo biti srednja vrijednost nekoliko ponovljenih očitavanja, zbog gornjih uzročnika grešaka.

Linije i površine koje su odabrane kao referentna baza bi trebale biti direktno povezane sa alatnim strojem. Smjer tolerancije će biti definiran prema pravilima navedenim u 3.1.3.2.4.

### 3.1.3.2 Podrazred tolerancija

#### 3.1.3.2.1 Tolerancije koje su primjenjive na ispitne dijelove i na individualne komponente stroja

Treba biti zabilježeno da se pravila za indikaciju geometrijskih tolerancija na crteže dane u ISO 1101, odnose na geometrijsku točnost individualnih dijelova. Ta pravila bi se trebala odnositi na proizvodne nacрте.

##### 3.1.3.2.1.1 Tolerancije dimenzija

Tolerancije dimenzija naznačene u ovom dijelu ISO-a 230 se isključivo odnose na dimenzije ispitnih dijelova za strojarske ispite i za dimenzije alata za rezanje i na mjerne uređaje koji se mogu montirati na alatni stroj (osovina, konus, obrtni boreri). Oni konstituiraju limite dozvoljenih odstupanja od minimalnih dimenzija. Oni će biti izraženi u jedinicama duljine (npr. odstupanja ležaja i promjera svrdla, za namještanje i centriranje alata).

Odstupanja bi trebala biti naznačena numerički ili zadanim simbolima iz ISO-a 286-1.

#### PRIMJER

$80_{-0,007}^{+0,012}$  ili 80j6

##### 3.1.3.2.1.2 Tolerancije oblika

Tolerancije oblika ograničavaju dozvoljena odstupanja teorijskih geometrijskih oblika (npr. odstupanja koja se odnose na plohu, ravnu liniju, cilindar, profila navoja ili zuba zupčanika). One će biti izražene u jedinicama duljine ili kuta. Zbog dimenzija oblika ispitne igle, ili referentne površine, samo dio greške oblika se može detektirati. Stoga, gdje je potrebna izuzetna točnost, područje površine koja je pokrivena ispitnom iglom će biti navedena.

Površina i oblik ispitne igle bi trebale biti pogodne za mikrogeometriju površina koje će biti mjerene (površinska ploča i stol teškog stroja za planiranje nisu mjerene sa istim oblikom ispitne igle).

### 3.1.3.2.1.3 Tolerancije položaja

Tolerancije položaja ograničavaju dozvoljena odstupanja koja se odnose na položaj komponente vezane na liniju, plohu, ili neku drugu komponentu stroja (npr. odstupanje paralelizma, okomitosti, poravnanja, itd.) One su izražene u jedinicama dužine ili kuta.

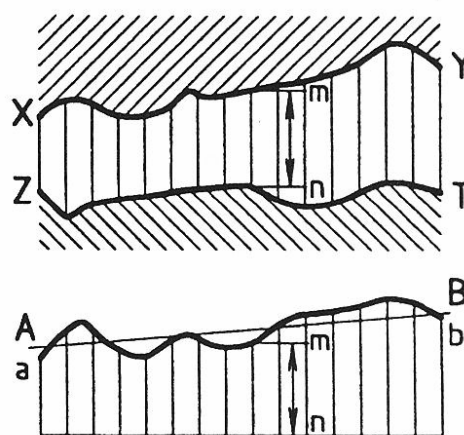
Kada je definirana tolerancija položaja, dva mjerenja napravljena na dvije različite ploče, tolerancija treba biti određena za svaku ploču, kada odstupanja tih dviju ploča ne utječu na radnu točnost alatnog stroja na isti način.

NAPOMENA 1 Kada je utvrđen položaj koji je u vezi sa površinama koje pokazuju grešku oblika, te greške bi trebale biti uzete u obzir kada se određuje tolerancija položaja.

### 3.1.3.2.1.4 Utjecaj grešaka oblika na utvrđivanje grešaka položaja

Kada se utvrđuju relativne greške položaja dviju površina ili dviju linija (Slika 2, linije XY i ZT), očitavanja mjernog uređaja automatski uključuju neke greške oblika. To će biti postavljeno kao princip koji će provjera primijeniti samo na ukupnu grešku, uključujući greške oblika dviju površina ili dviju linija. Stoga, tolerancija će uzeti u obzir toleranciju oblika površina koje su uključene. (Ako se smatra korisnim, preliminarnе provjere mogu ustanoviti greške oblika, linija i površina, od kojih se povezani položaji trebaju utvrditi).

Kada se prikaže u grafu (Slika 2), različita očitavanja mn mjernog uređaja rezultiraju krivuljom, kao što je ab. Treba prihvatiti, kao pravilo, da se greška utvrđuje koristeći liniju AB, umjesto te krivulje, kao što je navedeno u 3.4.2.1.1.1

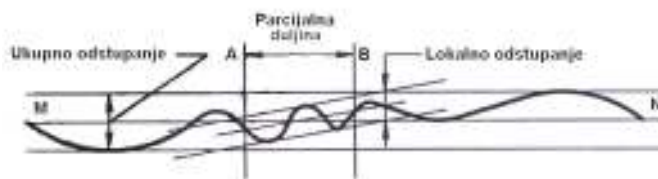


Slika 2: Krivulja AB za utvrđivanje greške

### 3.1.3.2.1.5 Lokalne tolerancije

Tolerancije oblika i položaja su najčešće povezane sa oblicima ili položajem kao cjelinom (npr. 0,03 na 1 000 pravocrtnost ili ravnoća). Iako, bilo bi poželjno ograničiti dopuštena odstupanja preko dijela duljine na drugačiju vrijednost. To se postiže utvrđivanjem lokalne tolerancije povezane sa dijelom ukupne duljine.

Lokalno odstupanje je udaljenost između dviju linija paralelnih sa glavnim smjerom dijela linije ili trajektorije dijela koje sadrže maksimalna odstupanja paralelnih dužina (Slika 3).

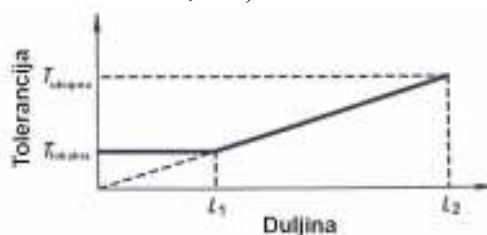


**Slika 3: Lokalno odstupanje**

Vrijednost lokalne tolerancije ( $T_{\text{lokalno}}$ ) bi trebala biti ustanovljena:

- od norme vezane za alatni stroj i za svaki pojedinačni ispit, ili
- kao proporcija ukupne tolerancije ( $T_{\text{totalno}}$ ) kojoj je omogućeno da ne padne ispod minimalne vrijednosti (u normalnome 0,001 mm) (Slika 4).

U praksi, lokalni nedostaci su uglavnom neprimjetni, jer su prekriveni ispitivanom površinom mjernog uređaja. Iako, kada su površine relativno male (ispitna igla na broječaniku mjerača ili mikro-indikator), mjerni uređaj bi trebao biti takav da ispitna igla slijedi površinu visoke točnosti (ravni rub, ispitna osovina/vreteno, itd.).



**Slika 4: Ukupna tolerancija**

$$T_{\text{lokalno}} = \frac{T_{\text{totalno}}}{L_2} \times L_1$$

PRIMJER

$$\begin{aligned} T_{\text{totalno}} &= 0,03 \text{ mm} \\ L_2 &= 1000 \text{ mm} \\ L_1 &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tada je:

$$T_{\text{lokalno}} = \frac{0,03}{1000} \times 100$$

$$T_{\text{lokalno}} = 0,003 \text{ mm}$$

### 3.1.3.2.2 Primjenjivost tolerancija na pomak komponenata alatnog stroja

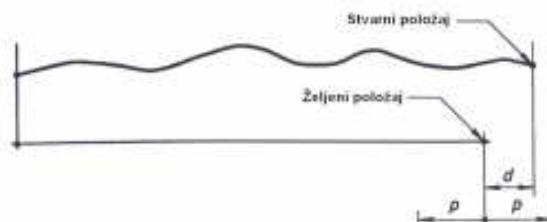
NAPOMENA 2 Pozicioniranje točnosti i ponovljivosti za numerički kontrolirane alatne strojeve će biti dani u ISO 230-2.

### 3.1.3.2.2.1 Tolerancije položaja

Tolerancije položaja ograničavaju dozvoljena odstupanja položaja koja se postižu točkom na pomičnom dijelu od njegove ciljane pozicije nakon pomicanja.

PRIMJER 1 (Slika 5)

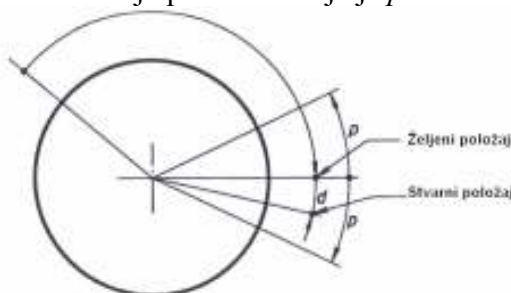
Na kraju putanje devijacija,  $d$  je udaljenost između stvarne postignute pozicije i ciljane pozicije. Tolerancija pozicije je  $p$ .



Slika 5: Tolerancije položaja

PRIMJER 2

Kut rotacije osovine koja je povezana sa kutnim pomicanjem razdijeljene ploče koja je spregnuta na nju (Slika 6). Tolerancija pozicioniranja je  $p$ .



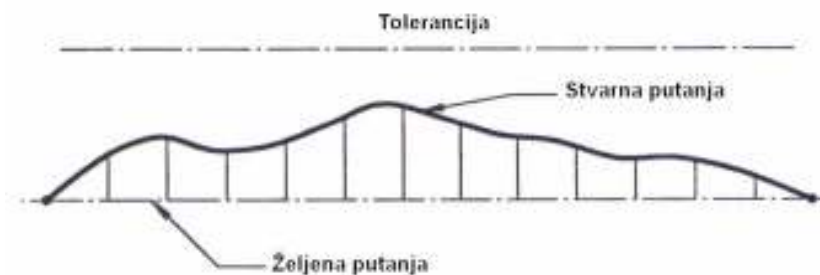
Slika 6: Kut rotacije osovine

#### 3.1.3.2.2.1.1 Tolerancije ponovljivosti

Tolerancije mogućnosti ponavljanja ograničavaju širenje odstupanja, kada se ponovljeni pomaci približavaju cilju istim ili suprotnim smjerom.

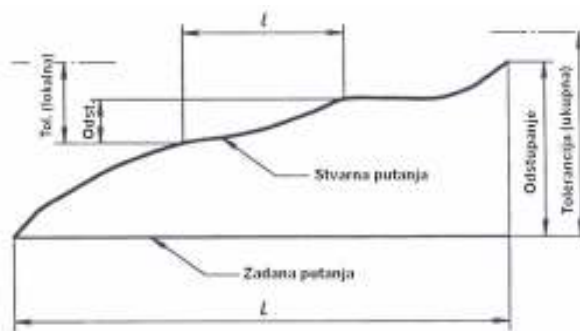
#### 3.1.3.2.2.2 Tolerancije oblika

Tolerancije oblika ograničavaju devijaciju stvarne točke na pokretnoj komponenti povezane sa geometrijskim oblikom (vidi sliku 6). One će biti iskazane u jedinicama dužine.



Slika 7: Tolerancije oblika





Slika 8: Tolerancije relativnog položaja

### 3.1.3.2.2.3 Tolerancije relativnog položaja (Slika 8)

Kretanja ravne linije ograničavaju dopuštena odstupanja između putanje točke na pokretnoj komponenti i propisani smjer (npr. devijacija paralelizma ili, okomitosti između putanje i linije, ili površine). One su izražene u jedinicama dužine za ukupnu dužinu  $L$  ili bilo koju mjernu dužinu  $l$ -a.

### 3.1.3.2.2.4 Lokalne tolerancije u kretanju komponenata

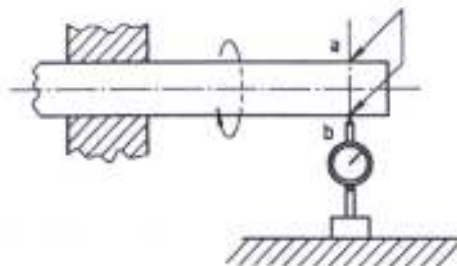
Tolerancije pozicioniranja, oblika putanje i smjera kretanja ravne linije su također povezane sa ukupnom dužinom pomicanja komponente. Kada je lokalna tolerancija potrebna, definicija i usvajanje vrijednosti lokalne tolerancije su slične 3.1.3.2.1.5

### 3.1.3.2.3 Sveobuhvatne ili zaključne tolerancije

Sveobuhvatne tolerancije su namijenjene da ograničavaju rezultiranje nekoliko odstupanja koje se mogu utvrditi jednim mjerenjem, bez da je potrebno znati svako odstupanje.

#### PRIMJER (Slika 9)

Odstupanje gibanja kolebanja osovine je zbroj odstupanja oblika (odstupanje od idealne zaobljenosti opsega  $ab$  sa kojim je ispitna igla u kontaktu) odstupanje položaja (geometrijske osi i osi rotacije osovine se ne podudaraju) i odstupanje od idealne zaobljenosti provrta na ležaju.



Slika 9: Odstupanje gibanja osovine

### 3.1.3.2.4 Simboli i pozicije tolerancije za relativne kutne pozicije osi kliznih vodilica, itd.

Kada je pozicija tolerancije u odnosu na nominalan položaj simetrična, znak  $\pm$  se može koristiti. Ukoliko je pozicija asimetrična, biti će precizno navedeno, riječima, ili vezano na stroj, ili na jednu od komponenata stroja.

### **3.1.3.2.5 Uobičajene definicije osi i kretanja**

Kako bi se izbjeglo korištenje izraza poprečan, uzdužan, itd., koji su podložni stvaranju konfuzije, osi pomicanja i rotacije dijelova stroja su određeni slovima (npr. X, Y, Z, itd.) i znakovima, u skladu sa ISO 841.

## **3.2 Pripreme radnje**

### **3.2.1 Montaža stroja prije ispitivanja**

Prije pristupanja ispitivanju alatnog stroja, bitno je instalirati stroj na pogodnu podlogu i uravnotežiti ga u skladu sa uputstvom proizvođača.

#### **3.2.1.1 Niveliranje**

Pripremna montaža stroja će uključivati (vidi 3.2.1) njegovo niveliranje i pozicioniranje prema prvobitno određenim strojem. Cilj niveliranja je da se zadrži položaj statične stabilnosti stroja što će omogućiti daljnja mjerenja, pogotovo ona vezana na ravninu određenih komponenata.

### **3.2.2 Stanje stroja prije ispitivanja**

#### **3.2.2.1 Demontaža određenih komponenata**

Nakon obavljenog ispitivanja, u principu, na kompletno sastavljenom stroju, demontiranje određenih komponenata bi se trebalo obaviti samo u iznimnim okolnostima, u skladu sa instrukcijama proizvođača (npr. demontaža stola stroja da bi se provjerile vodilice)

#### **3.2.2.2 Temperaturni uvjeti određenih komponenata prethodno ispitu**

Cilj je ocijeniti točnost stroja pod uvjetima, što je moguće bližim onima kod normalnog rada, kao što su podmazivanje i zagrijavanje. Tijekom geometrijskog i praktičnog ispitivanja, komponente kao što su osovine, koje se lako zagrijavaju i kao posljedica mijenjaja položaja ili oblika, bi trebale biti dovedene na ispravnu temperaturu tako da stroj radi u praznom hodu u skladu sa uvjetima korištenja i instrukcijama proizvođača.

Posebni uvjeti se mogu primijeniti na visoko precizne strojeve i neke numerički kontrolirane strojeve kod kojih promjena temperature ima utjecaj na točnost.

Potrebno je uzeti u obzir koliko stroj mijenja u dimenziji tijekom normalnog ciklusa rada od ambijenta do radne temperature. Preliminarne sekvence zagrijavanja i temperatura prostora na kojoj će se stroj ispitivati bi trebale biti tema dogovora između proizvođača i korisnika.

Glavna područja gdje termalno iskrivljenje može izazvati brigu su:

- strukturno (uključujući osovinu) pomaknuće, pogotovo kod primarnih i osnih ploha.
- osni pogon i pozicioniranje potpornih sistema koji su važni kada točnost pozicioniranja ovisi o vijku koji pretvara rotacijsko u translatorno gibanje.

#### **3.2.2.3 Funkcija i punjenje**

Geometrijski ispit će biti napravljen, ili kada je stroj u mirovanju ili kada radi u praznom hodu. Kada proizvođač to specificira, na primjer kao u slučaju strojeva za teške zadatke, stroj će biti napunjen sa jednim ili više ispitnih komada.

### **3.3 Ispitivanje obradom**

#### **3.3.1 Ispitivanje**

Strojarski ispit će se napraviti na standardnom ispitnom komadu ili ispitnim komadima koje je dobavio korisnik. Izvršenje tih strojarskih ispita neće zahtijevati operacije osim onih za koje je stroj napravljen. Ispitivanje obradom će obuhvatiti završne operacije za koje je stroj dizajniran.

Broj radnih komada ili, kao što može biti slučaj, broj rezanja koje treba napraviti na danom radnom komadu, će biti takvi da omoguće utvrđivanje nominalne točnosti. Ako je potrebno, istrošenost alata za rezanje koji se koriste bi se također trebalo uzeti u obzir.

Osobina radnih komada koji će se napraviti, njihov materijal, njihove dimenzije, stupanj točnosti koji trebamo zadržati i uvjeti pri rezanju će biti dogovoreni između proizvođača i korisnika, ukoliko ISO specifikacije već ne postoje.

#### **Provjera radnih komada u ispitu**

Provjera radnih komada u ispitu će biti napravljena mjerenim uređajima odabranima za tu vrstu mjerenja koje će se izvoditi i stupanj točnosti koji se traži.

Tolerancije navedene u 3.1.3.2.1, posebno u 3.1.3.2.1.1 i 3.1.3.2.1.2 se trebaju koristiti za te provjere.

U određenim slučajevima, ispiti mogu biti zamijenjeni ili dopunjeni specijalnim ispitima koji su definirani u Internacionalnim normama (npr. ispiti generiranja pod opterećenjem, kinematski test, itd.)

## 3.4 Geometrijska ispitivanja

### 3.4.1 Opće

Za svako geometrijsko ispitivanje su dane karakteristike oblika, pozicija ili pravocrtnost ili površina stroja kao što su:

- pravocrtnost (vidi 3.4.2)
- ravnost(vidi 3.4.3)
- paralelnost, ekvidistanca i koincidencija (vidi 3.4.4)
- okomitost(vidi 3.4.5)
- rotacija (vidi 3.4.6)

Definicija, metode mjerenja i način utvrđivanja tolerancije su dati.

Za svaki ispit navedena je najmanje jedna metoda mjerenja i prikazane su samo načelne i pomoćne koje se koriste.

Kada se koriste druge metode mjerenja, njihova točnost će biti najmanje jednaka točnosti onima u ovom djelu ISO-a 230.

Iako, zbog jednostavnosti, metode mjerenja su odabirane sistematski od onih koje uključuju samo osnovne mjerne uređaje, kao što su pravokutne poluge, kutnici, trnovi, mjerni cilindri, libele i etaloni s podjelom. Treba primijetiti da ostale metode, ponajprije one koje koriste optičke naprave, su u biti generalno korištene u izradi alatnih strojeva i u odjelima za provjeru. Ispitivanje komponenata alatnih strojeva velikih dimenzija često zahtjeva upotrebu posebnih naprava zbog pogodnosti i brzine.

### 3.4.2 Pravocrtnost

Geometrijske provjere koje se odnose na pravocrtnost su slijedeće:

- pravocrtnost linije na plohi ili u prostoru, vidi 3.4.2.1
- pravocrtnost komponenata, vidi 3.4.2.2;
- pravocrtnost kretanja, vidi 3.4.2.3

### 3.4.2.1 Pravocrtnost linije na plohi ili u prostoru

#### 3.4.2.1.1 Definicija

##### 3.4.2.1.1.1 Pravocrtnost linije na plohi (Slika 10)

Linija koja se nalazi na plohi se smatra da je pravocrtna preko dane duljine kada su sve njene točke sadržane između dvije ravne linije, paralelne na glavni smjer linije, čija relativna udaljenost je jednaka toleranciji.

Generalni smjer linije, ili reprezentativne linije, će biti definiran tako da se minimalizira odstupanje u ravnini. Može biti dogovorom definirano ili:

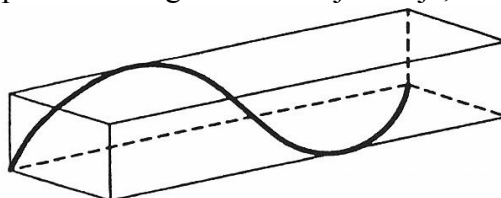
- prikladno odabranim dvjema točkama blizu završetka linije koje će se provjeravati (u većini slučajeva dijelovi bliže krajevima se mogu zanemariti, jer oni najčešće predstavljaju nevažne lokalne defekte), ili
- ravnom linijom izračunatom od iscrtanih točaka (npr. metoda najmanjih kvadrata)



Slika 10: Pravocrtnost linije na plohi

##### 3.4.2.1.1.2 Pravocrtnost linije u prostoru (Slika 11)

Smatra se da je linija u prostoru ravna preko danih duljina, kada je svaka od njenih projekcija na dvije dane okomite plohe paralelna na generalan smjer linije, ravna. ( vidi 3.4.2.1.1.1)



Slika 11: Pravocrtnost linije u prostoru

NAPOMENA3. Tolerancija može biti drugačija kod svake plohe

#### 3.4.2.1.2 Metode mjerenja pravocrtnosti

Postoje dvije metode za mjerenje pravocrtnosti koje su bazirane na:

- mjerenje duljine
- ili
- mjerenje kutova

Praktična referenca za ravninu može biti fizikalna (lineal, zategnuta žica) ili usporedbom referenci linije određena pomoću libele svjetlosne zrake, itd.

Preporučeni uređaji:

- a) za dužine ispod 1600 mm: libela ili fizička referenca (npr. lineal)
- b) za dužine iznad 1600 mm: referentna linija, libela, optički uređaj ili eventualno zategnuta žica

### 3.4.2.1.2.1 Metode bazirane na mjerenju dužine

Praktičan referentni element (ravna referenca) će biti postavljen na podesnu poziciju relativno u odnosu na liniju koja se provjerava (Slika 12), kako bi dopustila upotrebu odgovarajućeg mjernog uređaja.

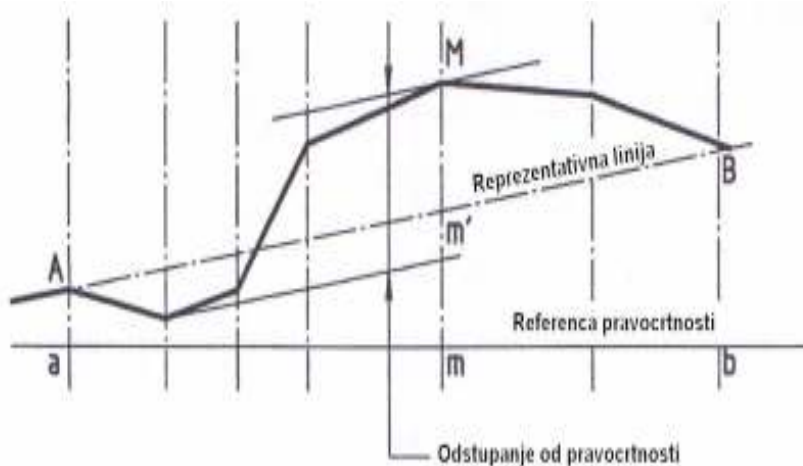
Uređaj daje očitavanje odstupanja provjeravane linije u odnosu na ravnu referencu; očitavanja se mogu dobiti na različitim točkama (ravnomjerno ili nasumice raspoređenih) preko cijele dužine provjeravane linije (razmak odabranih točaka neovisan je o odabranom uređaju).

Preporučeno je da se ravna referenca postavi na takav način da su očitavanja na oba kraja otprilike jednaka. Očitavanja se tada izravno iscertavaju koristeći odgovarajuće mjerilo.

Rezultati su procesuirani definiranjem reprezentativne linije (vidi 3.4.2.1.1.1). Ispravljena odstupanja odgovaraju vrijednostima predstavljenim pomoću segmenta  $Mm'$ .

Odstupanje od ravne linije je definirano kao udaljenost između dvije ravne linije, paralelne sa reprezentativnom linijom, koje diraju gornje i donje ekstreme odstupanja.

NAPOMENA 4. Kada je nagib reprezentativne linije visok potrebno je uzeti u obzir vertikalno povećanje.



Slika 12: Referenca pravocrtnosti

#### 3.4.2.1.2.1.1 Metoda s linealom

##### 3.4.2.1.2.1.1.1 Mjerenja u vertikalnoj ravnini

Lineal bi trebao biti smješten na dva bloka, ako je moguće, na točke koje odgovaraju minimalnoj deformaciji zbog gravitacije (za optimalno oslanjanje, vidi 3.7).

Mjerenje će biti napravljeno micanjem uzduž lineala, mjerne ure montirane na oslonac sa tri kontaktne točke. Jedna od tih kontaktnih točaka leži na liniji mjerene površine, a mjerna igla mjerne ure je na liniji okomitoj na tu kontaktnu točku i u kontaktu sa linealom. (Slika 13)

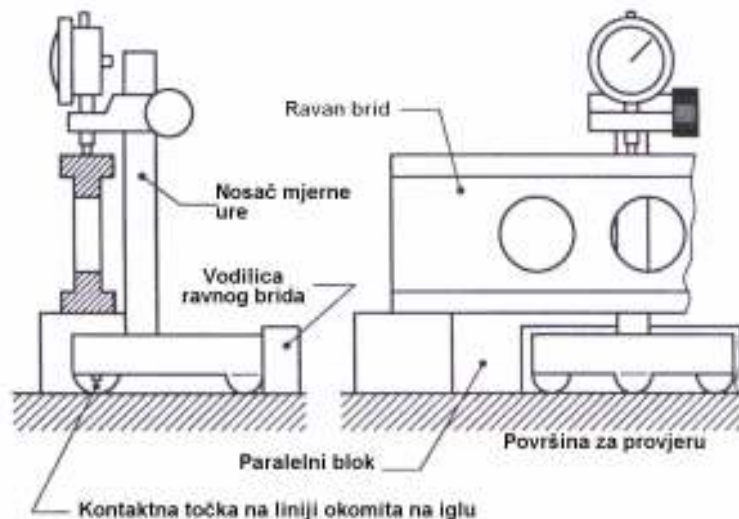
Napravit će se odredba da komponenta koja se giba slijedi ravnu liniju (vođenje lineala).

Poznate greške lineala mogu se uzeti u račun, ukoliko se zahtijeva, u obradi rezultata.

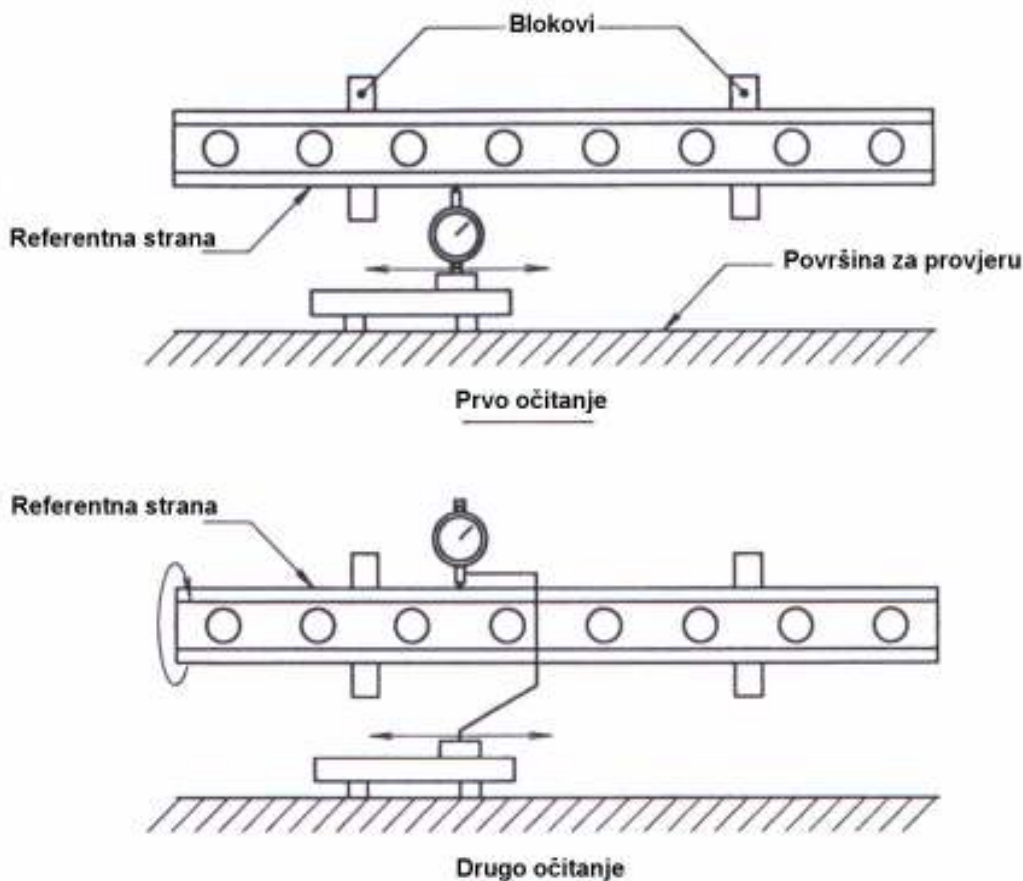
### 3.4.2.1.2.1.2 Mjerenja u horizontalnoj ravnini

U ovom slučaju pogodno je koristiti paralelno-suočeni lineal koji leži ravno.

Referentna površina je dodirnuta sa mjernom urom koja se giba u kontaktu sa provjeravanom površinom (Izvor reference je pronađen). Ravna poluga je postavljena da bi dala identična očitavanja na oba kraja linije; odstupanja u liniji relativno prema ravnoj liniji koja spaja dva ekstrema može se očitati direktno.



Slika 13: Mjerenje mjernom urom u vertikalnoj ravnini

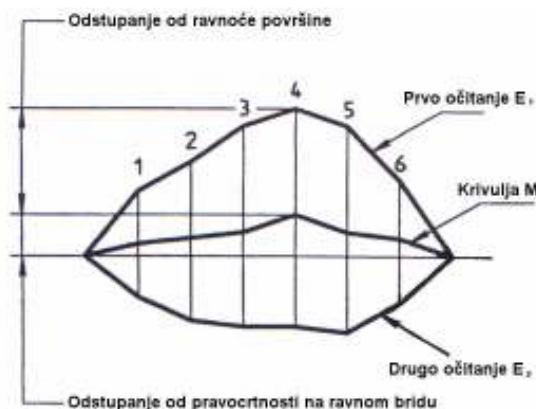


Slika 14: Mjerenje mjernom urom u horizontalnoj ravnini

Potrebno je zabilježiti da bez obzira na deformaciju lineala na svojim osloncima, ravnost referentne površine u praksi nije izmijenjena deformacijom zbog gravitacije.

Još jedna značajka metode sa linealom za mjerenje pravocrtnosti u horizontalnoj ravnini je da omogućuje mjerenje odstupanja pravocrtnosti i referentne površine lineala.

U tu svrhu koristi se takozvana reverzibilna metoda. Sastoji se, nakon prvog mjerenja kao što je opisano iznad, rotiranja lineala za  $180^\circ$  oko svoje uzdužne osi i postavljanje iste referentne površine u odnos sa istim komparatorom, također postavljenog i uvijek položenog na provjeravanoj površini



**Slika 15: Linije odstupanja  $E_1$  i  $E_2$**

Objе linije odstupanja  $E_1$  i  $E_2$  na taj način dobivene i uspoređene na slici 15 su sume odstupanja lineala i površine u jednu ruku i razlika između odstupanja u drugu ruku. Prosječna linija  $M$  je odstupanje referentne prednje strane lineala.

Odstupanje  $ME_1$  (ili  $ME_2$  koja je jednaka) je odstupanje od linije provjeravane površine.

#### 3.4.2.1.2.1.2 Napeta žica i mikroskopska metoda

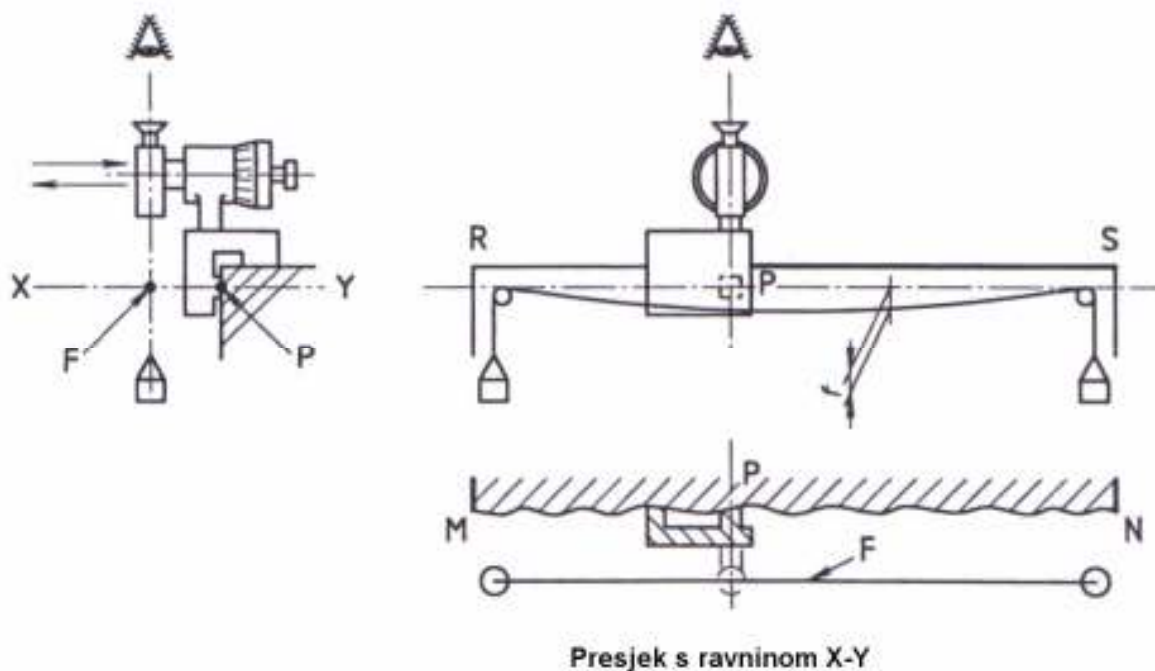
Čelična žica, promjera otprilike 0.1mm, rastegnuta otprilike tako da bude paralelna sa provjeravanom linijom (Slika 16). Na primjer, u slučaju linije  $MN$ , smještene u horizontalnoj ravnini, sa mikroskopom smještenim vertikalno i opremljenim sa horizontalnim uređajem za mjerenje pomaka, moguće je očitati odstupanje linije prema nategnutoj žici koja predstavlja referencu mjerenja u horizontalnoj mjernoj ravnini  $XY$  (vidi također 3.14).

Napeta žica  $F$  i provjeravana linija bit će u istoj ravnini okomito na razmatranu površinu koja sadrži  $MN$ .

Oslonac mikroskopa leži na dvije točke na površini koja sadrži liniju koja se provjerava, od kojih je jedna točka  $P$  smještena u ravnini okomitoj na provjeravanu površinu, i sadrži optičku os mikroskopa (Slika 16).

Metodu napete žice treba izbjegavati kada progib  $f$  žice treba uzeti u razmatranje. Odatle, u slučaju prikazanom na slici 16 sa mikroskopom položenim horizontalno, moguće je mjeriti ravnost linije  $RS$  u vertikalnoj liniji kada je poznat progib linije u svakoj točki, ali taj je progib izuzetno teško odrediti sa odgovarajućom točnosti.





Slika 16: Mjerenje ravnoće mikroskopom

#### 3.4.2.1.2.1.3 Kolimaciona metoda

Kad se koristi kolimacioni mikroskop (Slika 17), razlika u nivou, odgovara razlici između optičke osi teleskopa i točke pokazane na meti, i očitava se direktno na skali ili pomoću optičkog mikrometra (vidi 3.15).

Optička os mikroskopa predstavlja mjernu referencu. Rotiranjem cijelog mikroskopa i mete, moguće je provjeriti ravnost linije u bilo kojoj ravnini. Baza mete treba ležati na površini koja sadrži provjeravanu liniju, na koliko se god točaka zahtijevalo da se osigura stabilnost i vođenje.

Jedna od potpornih točaka P mete postaviti će se na provjeravanu liniju i ispitivati će se sa svim mjerama opreza kao što je opisano u 3.4.2.1.2.1.2. Meta će biti okomita na površinu provjeravane linije u točki P.

Sve mjere opreza će se poduzeti pri pomicanju gibajućeg elementa kako bi bio razumno pravolinijski i paralelan sa optičkom osi mikroskopa.

U slučaju većih dužina, na točnost utječe varijacija refraktivnog indeksa zraka, koji doprinosi odstupanju zrake svjetlosti.

#### 3.4.2.1.2.1.4 Metoda kolimacionog lasera (Slika 18)

Laserska zraka se koristi kao mjerna referenca. Zraka je usmjerena prema prizmatičnom fotodiodnom detektoru koji se miče uzduž osi laserske zrake. Horizontalno i vertikalno odstupanje centra detektora u odnosu na zraku se detektiraju i prosljeđuju u opremu za bilježenje. Za mjerni uređaj potrebno je zatražiti uputstva proizvođača (vidi također 3.18).

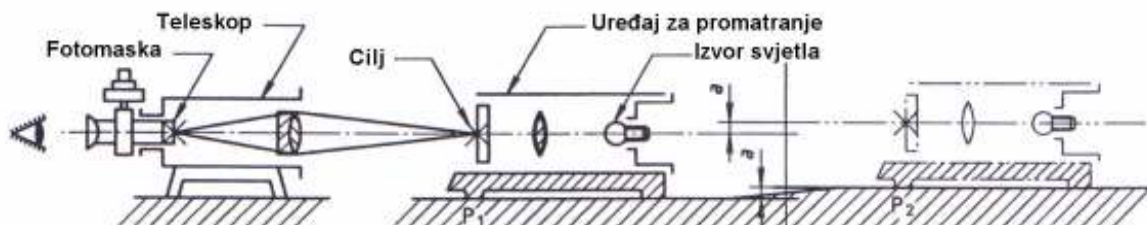
Jednaka briga će se posvetiti za jednu od potpornih točaka P kao što je opisano u 3.4.2.1.2.1.3.

### 3.4.2.1.2.1.5 Laserska interferencijska tehnika (Slika 19)

Reflektor bi-staklo definira mjernu referencu.

Interferometrijski laser i specijalne optičke komponente se koriste za detektiranje promjena pozicija mete relativno prema osi simetrije bi-staklo reflektora. Optičke komponente i metode preciznog mjerenja variraju i potrebno je zatražiti uputstvo proizvođača (vidi također 3.18).

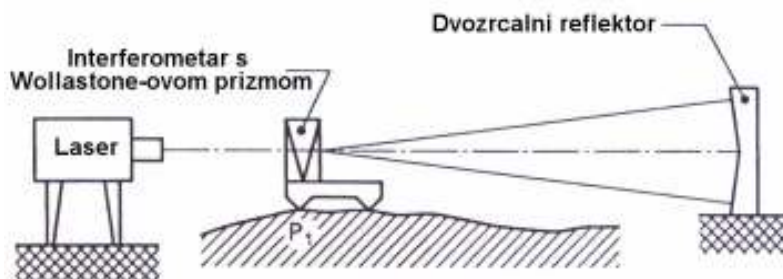
Jednaka briga će se posvetiti za jednu od potpornih točaka P kao što je opisano u 3.4.2.1.2.13.



Slika 17: Kolimacioni mikroskop



Slika 18: Metoda kolimacionog lasera

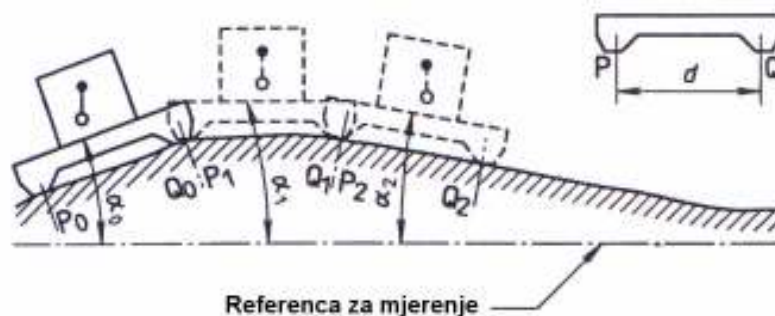


Slika 19: Laserska interferencijska tehnika

### 3.4.2.1.2.2 Metode bazirane na mjerenju kuta

U tim metodama gibajući element je u kontaktu sa provjeravanom linijom u dvije točke P i Q udaljene za udaljenost  $d$  (Slika 20). Gibajući element se razmješta na taj način da na dvije uzastopne pozicije  $P_0$   $Q_0$  i  $P_1$   $Q_1$ ,  $P_1$  je koincidentan sa  $Q_0$ . Sa uređajem smještenim u ravnini okomitoj na površinu koja sadrži provjeravanu liniju, mjereni su kutovi  $\alpha_0$  i  $\alpha_1$  gibajućeg elementa relativno prema mjernoj referenci.

NAPOMENA 5 Dio između nogu gibajućeg elementa nije provjeren pomoću te metode. Ta provjera može biti obavljena pomoću lineala odgovarajuće dužine.



**Slika 20: Metoda bazirana na mjerenju kuta**

Rezultati se obrađuju kao što slijedi (Slika 20). Slijedeći parametri se grafički iscrtavaju u odgovarajućem mjerilu;

- na apscisi, razmak  $d$  koji odgovara liniji provjere

- na ordinati, relativna razlika nivoa u odnosu na mjernu referencu. Razlika relativnog nivoa se izračunava kao što slijedi:

$$E_{hi+1} = d \tan \alpha_1$$

Različite točke  $P_0, P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$  provjeravane linije mogu se smjestiti sa željenim povećanjem skale.

Referentna linija je definirana iz same linije, npr. pomoću ekstrema  $P_0, P_n$  (vidi 3.4.2.1.1.1)

Odstupanje ravnoće linije je definirana kao i iznad (3.4.2.1.2.1) sa udaljenošću uzduž XY osi između dvije ravne linije paralelne sa reprezentativnom linijom koja dotiče krivulju na najgornjoj i najdonjoj točki.

#### NAPOMENA

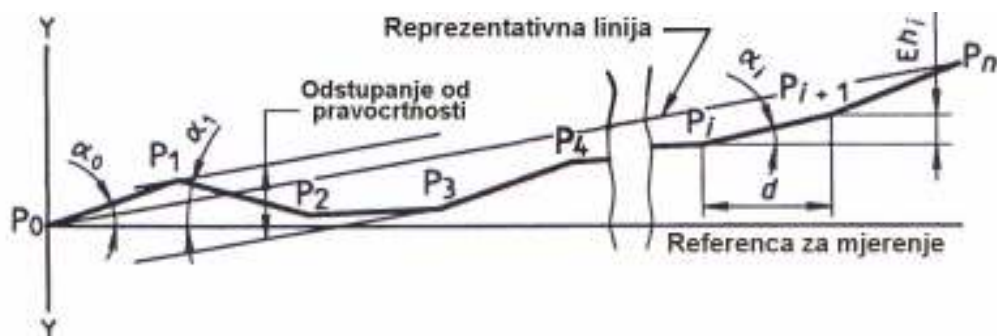
6 Oslonci P i Q gibajućeg elementa moraju biti dovoljno velike površine kako bi minimizirali efekte zanemarivih površinskih nesavršenosti. Važno je da se oslonci pripreme veoma pažljivo i da se površina očisti kako bi se minimizirala odstupanja koja mogu utjecati na sveukupnu krivulju.

7 Te metode se također mogu primijeniti na velike udaljenosti ali u tom slučaju  $d$  vrijednost je potrebno izabrati tako da se izbjegne veliki broj grešaka očitavanja i kumulativnih grešaka.

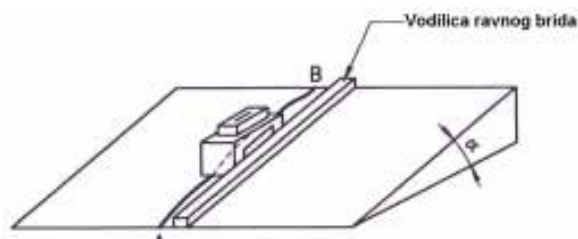
#### 3.4.2.1.2.2.1 Metoda preciznog niveliranja

Mjerni uređaj je precizna libela (vidi 3.11) koja je smještena sukcesivno uzduž provjeravane linije kao što je objašnjeno u 3.4.2.1.2.2. Mjerna referenca je horizontalni nivo uređaja koji mjeri male kuteve u vertikalnoj ravnini (Slika 20).

Ako mjerena linija nije horizontalna, libela je montirana na prikladno nagnuti oslonac (Slika 21).



Slika 21: Grafičko ucrtavanje parametara



Slika 22: Libela na nagnutom osloncu

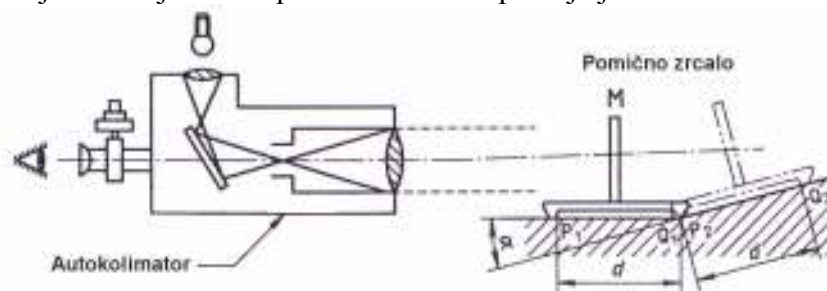
Pri provjeravanju linije AB, libela zajedno sa svojim osloncima trebala bi zadržati konstantnu orijentaciju (npr. pomoću vodećeg lineala (vidi sliku 22)).

NAPOMENA 8 Libela dozvoljava mjerenje pravocrtosti linije samo u vertikalnoj ravnini: za provjeravanje linije u drugoj ravnini trebalo bi primijeniti drugu metodu (npr. napeta žica i mikroskop).

#### 3.4.2.1.2.2 Metoda „autokolimacije“

U toj metodi, koristeći autokolimator (optički uređaj) montiran koaksijalno (Slika 23), bilo koja rotacija gibajućeg ogledala M oko horizontalne osi povlači za sobom vertikalno pomicanje slike nitnog križa. Mjerenje tog pomaka, koji je napravljen pomoću okularnog mikroskopa, omogućava određivanje kutnog pomaka držača ogledala (vidi također 3.16).

Mjerna referenca je sastavljena od optičke osi teleskopa koja je definirana kao centar križa.



Slika 23: Metoda autokolimacije

NAPOMENA 9

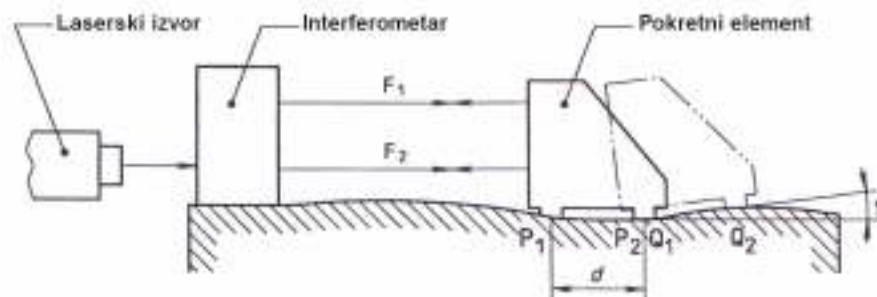
Rotiranjem okularnog mikrometra kroz  $90^\circ$ , kut rotacije gibajućeg ogledala M oko vertikalne osi može se također izmjeriti. Na raspolaganju su i uređaji koji mogu mjeriti oba kuta istovremeno.

10 Ova metoda je osobito prikladna za veće dužine zbog, za razliku od kolimacionog mikroskopa, manjeg utjecaja odstupanja zraka.

11 U ovoj metodi, autokolimator bi trebao biti montiran na komponentu na kojoj se nalazi linija koja se provjerava.

### 3.4.2.1.2.2.3 Metoda laserskog interferometra (mjerenje kuta) (Slika 24)

U ovoj metodi interferometar mora biti kruto fiksiran na istu komponentu na kojoj se nalazi linija koja se provjerava. Ova metoda je posebno prikladna za kritična mjerenja jer je manji utjecaj varijacija refraktivnog indeksa zraka. Mjerna referenca je sastavljena od dvije paralelne zrake  $F_1$  i  $F_2$  koje izlaze iz interferometra.



Slika 24: Metoda laserskog interferometra

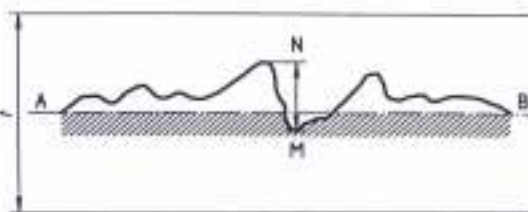
### 3.4.2.1.3 Tolerancija

#### 3.4.2.1.3.1 Definicija

Tolerancija  $t$  je limitirana u mjernoj ravnini sa dvije ravne linije razmaknute za udaljenost  $t$  i paralelne sa reprezentativnom linijom AB (Slika 25). Maksimalna naznačeno odstupanje je MN.

Opseg mjerenja, tj. duljina koja će se provjeriti, i eventualno pozicija tolerancije u odnosu na reprezentativnu ravnu liniju (ili ravninu) definiranu gore, potrebno je istaknuti (samo konkavnu i konveksnu).

U većini slučajeva, dijelovi bliži kraju, koji obično imaju lokalna odstupanja koja nisu od velike važnosti, mogu se zanemariti.



Slika 25: Maksimalno naznačeno odstupanje

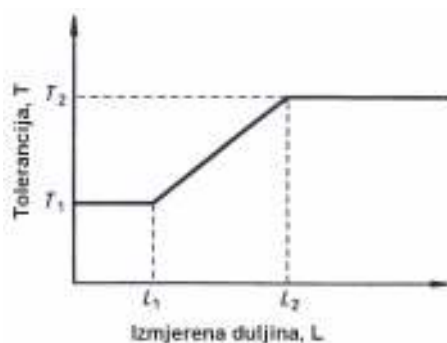
#### 3.4.2.1.3.2 Određivanje tolerancija

Minimalna tolerancija  $T_1$  je specificirana za svaku mjernu dužinu  $L$  manju ili jednaku  $L_1$  (Slika 26). Maksimalna tolerancija  $T_2$  je specificirana za svaku mjernu dužinu  $L$  veću ili jednaku  $L_2$ . Za svaku srednju mjernu duljinu (između  $L_1$  i  $L_2$ ) tolerancija  $T_{(L)}$  je izračunata po proporcionalno metodi.

$$L \leq L_1 \rightarrow T_{(L)} = T_1$$

$$L_1 < L < L_2 \rightarrow T_{(L)} = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{L_2 - L_1} (L - L_1)$$

$$L \geq L_2 \rightarrow T_{(L)} = T_2$$



Slika 26: Određivanje tolerancija

### 3.4.2.2 Pravocrtnost komponenti

#### 3.4.2.2.1 Definicija

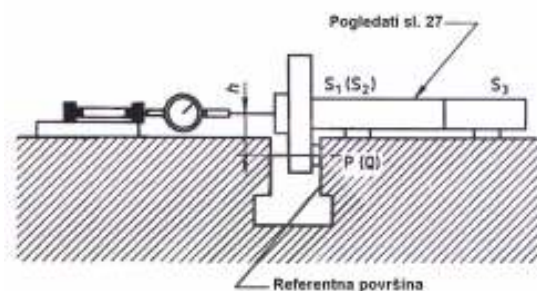
Uvjeti za pravocrtnost komponenti su isti kao i oni za liniju (vidi 3.4.2.1.1).

#### 3.4.2.2.2 Metode mjerenja pravocrtnosti

Mjerne tehnike su kao i za pravocrtnost linije (vidi 3.4.2.1.1).

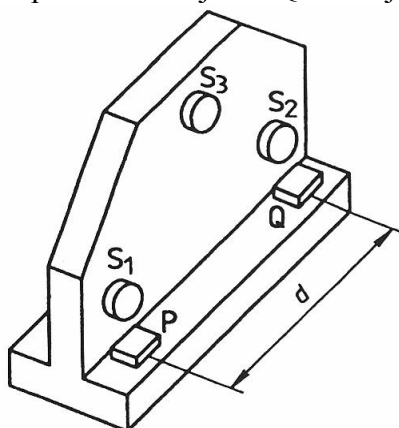
##### 3.4.2.2.2.1 Referentni žljebovi ili referentne površine stolova

U slučaju direktnog mjerenja odstupanja, uređaj će čitati odstupanja u okomitoj ravnini linije kroz točke P ili Q sa održavanjem  $h$  na minimumu (Slika 27).



Slika 27: Direktno mjerenje odstupanja

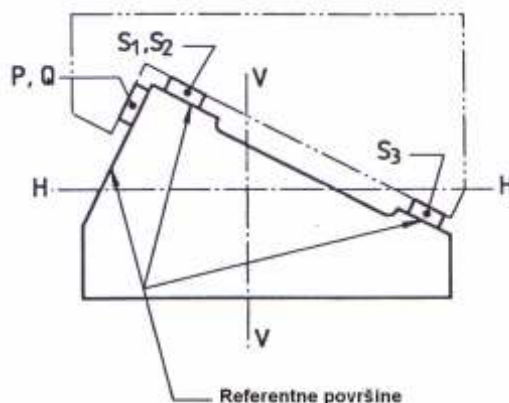
U slučaju mjerenja kutnog odstupanja točka  $d$  definira razmak mjernih točaka (Slika 28). Gibajući element će ležeći sa plosnatim dijelom na stolu (ležeći na tri lokalne površine  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ) uključivati dvije funkcionalne površine ležaja P i Q na liniji koja se provjerava (Slika 28)



Slika 28: Prikaz razmaka mjernih točaka



Odstupanja pravocrtnosti više kompleksnih referentnih površina (Slika 29) su mjerena u funkcionalnim ravninama vodilica (linija HH i VV) i nisu okomica referentnoj ravnini.



**Slika 29: Kompleksne referentne površine**

#### 3.4.2.2.2 Vodilice

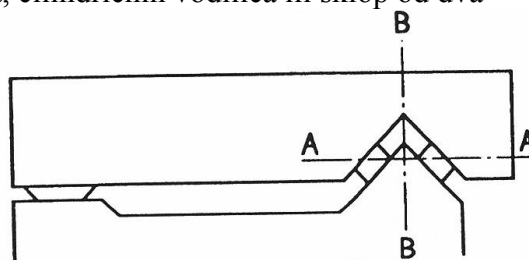
Vođenje je osigurano pomoću vodilica ili pomoću još kompleksnijih naprava koje ne mogu biti rastavljene bez uništavanja geometrije stroja. Provjeravanje vodilica uključuje mjerenje ravnosti i potrebno ga je provesti samo ako su komponente dostupne. (vidi 3.4.2.3).

Odstupanja pravocrtnosti bi se uvijek trebala provjeravati u funkcionalnoj ravnini. Najčešće, ona se može smatrati ili horizontalnom (Slika 30 linija AA) ili vertikalna (Slika 30 linija BB) iako se iznimke mogu pojaviti sa pojedinim strojnim konfiguracijama (vidi sliku 37).

Potrebno je zabilježiti da longitudinalni oblik vodilica nije nužno ravan, kao što bi se to dalo zaključiti iz funkcionalne ravnine, specijalni oblik specificiran od proizvođača.

Vodeće površine mogu biti sastavljene od sljedećeg:

- jedna ploha ili više manjih dijelova spojenih skupa
- više dijelova uskih ploha, cilindričnih vodilica ili sklop od dva



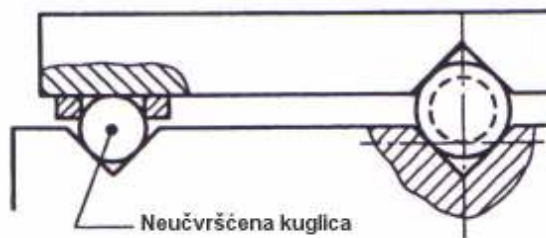
**Slika 30: Upotreba okrenutog oblika V**

##### 3.4.2.2.2.1 Površine u obliku slova V

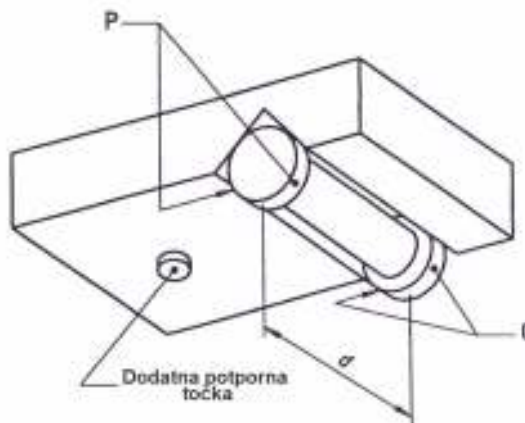
Gibajuće tijelo bi se trebalo držati na površini u 4 kontaktne točke. Također će biti oslonjeno u dodatnoj točki na drugoj površini, osim površine vodilica, za stabilnost.

Slika 31 i Slika 32 prikazuju upotrebu cilindra, a Slika 30 okrenutog slova V.

**NAPOMENA 12** Dodatna točka oslonca ne smije djelovati silom pozicioniranja na gibajuću komponentu.



Slika 31: Upotreba cilindra



Slika 32: Upotreba cilindra i dodatne potporne točke

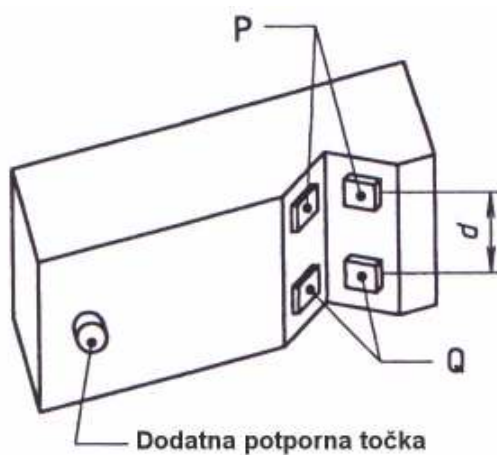
#### 3.4.2.2.2.2 Cilindrična površina

Gibajuće tijelo na 4 bloka bi trebalo ležati na cilindru. To je u obliku okrenutog slova V (Slika 31 i Slika 32)

Iste mjere opreza kao i gore navedene će se poduzeti s obzirom na dodatne oslonce bloka.



Slika 33: Tijelo na četiri bloka leži na cilindru



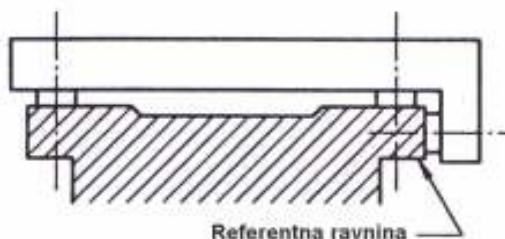
Slika 34: Prikaz četiri bloka



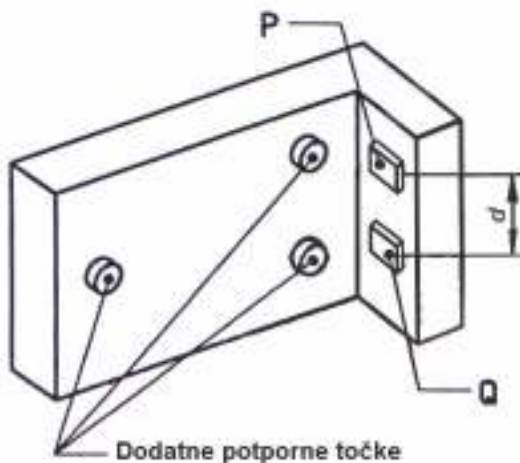
### 3.4.2.2.2.3 Jednostavne vertikalne površine

Gibajuće tijelo čini kontakt pomoću dvije točke, P i Q, na mjerenoj površini. Tri dodatne potporne točke su potrebne za vođenje gibajućeg tijela. Te bi trebalo odabrati da se osigura vođenje bez utjecaja na pozicioniranje dvije operative kontaktne točke (Slika 35 i Slika 36).

NAPOMENA 13 Kada se odstupanje mjeri direktno, uređaj mora mjeriti u ravnini okomitoj na površinu i kroz jednu od kontaktnih točaka, a kada se mjere kutna odstupanja, udaljenost  $d$  definira mjerni nagib.



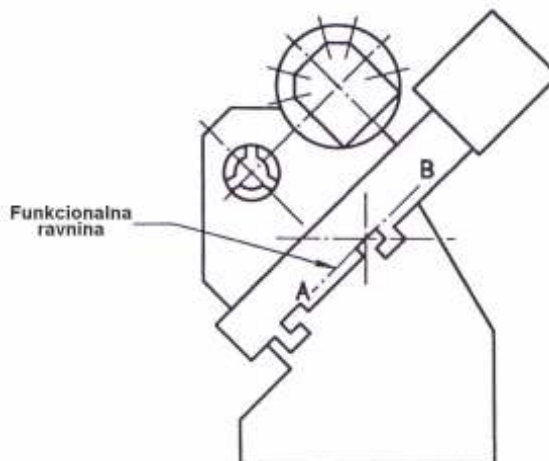
Slika 35: Tijelo na mjerenoj površini



Slika 36: Prikaz dodatnih potpornih točaka

### 3.4.2.2.2.4 Konfiguracija nagnute osnove

U ovom slučaju, funkcionalna ravnina gibajućeg elementa je pod kutom prema horizontalnoj ravnini. Odstupanja pravocrtности su mjerena u toj funkcionalnoj ravnini (linija AB) i ravnini koja je okomita na nju.



Slika 37: Odstupanja pravocrtности u funkcionalnoj ravnini AB

### 3.4.2.2.3 Tolerancije

Vidi 3.4.2.1.3

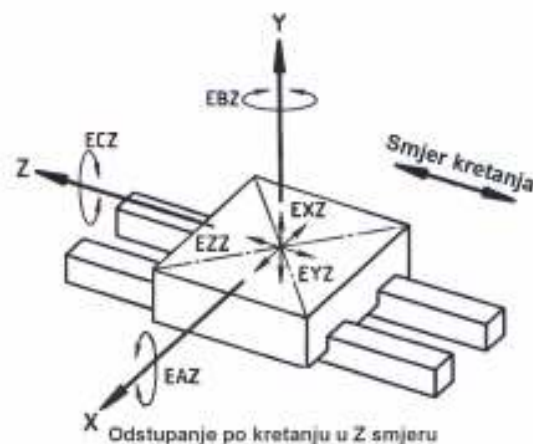
### 3.4.2.3 Pravocrtno gibanje

Ispit za pravocrtno gibanje komponente alatnog stroja se zahtjeva ne samo da se osigura da stroj proizvodi pravocrtno ili ravne radne komade već i zato što je točnost pozicioniranja točke na radnom komadu povezana sa pravocrtnim gibanjem.

#### 3.4.2.3.1 Definicije (Slika 38)

Pravocrtno gibanje gibajuće komponente uvijek uključuje šest elemenata odstupanja:

- jedno položajna odstupanja u smjeru gibanja;
- dvostruka linearna odstupanja trajektorije točke na gibajućoj komponenti,
- trostruka kutna odstupanja gibajuće komponente;



**Slika 38: Prikaz odstupanja pravocrtnog gibanja**

Kutna Devijacija:

- EXZ: Linearna odstupanja EAZ: nagib  
 EYZ: Linearna odstupanja EBZ: skretanje  
 EZZ: Položajna odstupanja ECZ: okretanje

#### 3.4.2.3.1.1 Položajna odstupanja

Položajna devijacija se obrađuje u 3.1.3.2.1.3 i ISO 230-2.

#### 3.4.2.3.1.2 Linearna odstupanja

Linearna odstupanja pravocrtnog gibanja su definirana pomoću ravnosti trajektorije funkcionalne točke ili referentne točke gibajuće komponente. Funkcionalna točka je pozicija alata kad gibajuća komponenta nosi alat. Kada gibajuća komponenta nosi radni komad, centar stola može se smatrati referentnom točkom.

### 3.4.2.3.1.3 Kutna odstupanja

Kad se god komponenta pomiče, uključena je u kutna odstupanja. Ta kutna odstupanja se nazivaju okretanje, nagib i skretanje, kao što je prikazano na Slici 38.

Sva ta odstupanja će utjecati na pravocrtno gibanje. Kad se mjeri pravocrtno gibanje trajektorije referentne točke, mjereni rezultati uključuju sve efekte kutnog odstupanja, ali efekti tog kutnog odstupanja su drugačiji kada je pozicija točke gibajuće komponente drugačija od referentne točke i potrebno je napraviti posebno mjerenje. Vrijednost svakog kutnog odstupanja je maksimalni kut okretanja tijekom kompletne poprečne gibajuće komponente.

### 3.4.2.3.2 Metode mjerenja

#### 3.4.2.3.2.1 Metode mjerenja linearnog odstupanja

Za iscertavanje trajektorije funkcionalne točke gibajuće komponente, koriste se sljedeće metode:

##### 3.4.2.3.2.1.1 Metode sa linealom i mjernom urom (vidi 3.4.2.1.2.1.1.2)

Kada se koristi lineal i mjerna ura, to je obično za fiksiranje lineala za komponentu koja služi kao referenca ( radni stol glodalice, strojni centri, strojevi za brušenje, postolje tokarilice, itd.). Mjerna ura je povezana za mjesto lokacije alata sa svojom ispitnom iglom smještenom što je bliže moguće aktivnoj zoni alata (vidi 3.7).

##### 3.4.2.3.2.1.2 Metode sa mikroskopom i napetom žicom (vidi 3.4.2.1.2.1.2)

To je ista situacija kao lineal i mjerna ura, tada napeta žica predstavlja lineal a mikroskop predstavlja mjernu uru.

##### 3.4.2.3.2.1.3 Metode sa korištenjem kolimacionog mikroskopa (vidi 3.4.2.1.2.1.3)

Kada se koristi kolimacioni mikroskop, skala je povezana sa referentnom linijom, meta je povezana sa postoljem alata, a njegov centar je smješten što je bliže moguće aktivnoj zoni alata (vidi 3.15).

##### 3.4.2.3.2.1.4 Metode korištenja kolimacionog mikroskopa (vidi 3.4.2.1.2.1.4 i 3.4.2.1.2.15)

Kada se koristi laser, (direktno mjerenje korištenjem interferometrijskog uređaja za ravnost), uređaj koji definira mjernu referencu mora biti čvrsto fiksiran za komponentu koja je odabrana za referencu. Gibajući element je fiksiran za držač alata, a njegov centar smješten što je bliže moguće aktivnoj zoni alata (vidi 3.18).

##### 3.4.2.3.2.1.5 Metode korištenja kutnog mjerenja (vidi 3.4.2.1.2.2 i 3.4.2.3.2.2)

Ova metoda nije prikladna za provjeru linearnih odstupanja. Za provjeru pravocrtnosti vodilica, gibajući element ima dva oslonca, P i Q, koji su razmaknuti za  $d$  (Slika 20) i vodilice su provjeravane korakom sa povećanjem  $d$ .

U ovom slučaju, gibajuća komponenta, općenito, nema takve oslonce i u dodiru je sa površinom preko cijele dužine.

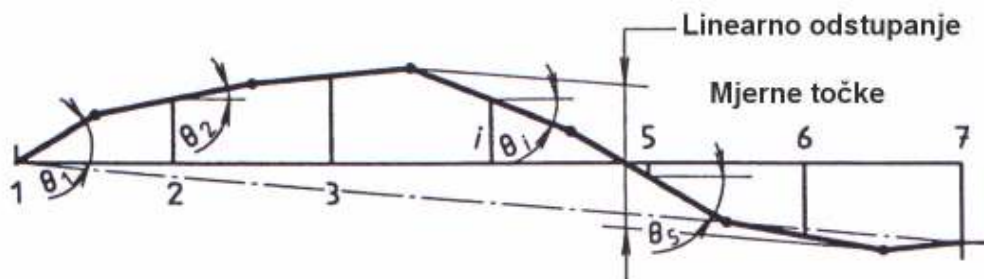
Dobiveni rezultat može biti donekle drugačiji od prave trajektorije. Pretpostavljajući da je površina glatka, a gibajuća komponenta se giba kao ovojnica površine, linearna odstupanja se mogu pretpostaviti procesom pokazanim na Slici 39.

Kao  $i$ -ta mjerena točka, kutna devijacija je  $\theta_i$ .

Pretpostavljamo da je  $\theta_i$  efektivna srednje točke od  $i-1$  od  $i$  do  $i$  i  $i+1$ . Kada se pojave vidljive promjene  $\theta$ , udaljenost mjerenja će se tamo promijeniti.

### 3.4.2.3.2.2 Metode mjerenja kutnih odstupanja

Kada je gibanje u horizontalnoj ravnini, libela može mjeriti nagib i okretanje, dok autokolimator i laser mogu mjeriti nagib i skretanje.



Slika 39: Linearno odstupanje

#### 3.4.2.3.2.2.1 Metoda korištenjem libele (vidi 3.4.2.1.2.2)

Kada se koristi libela, uređaj je fiksiran za gibajuću komponentu. Komponenta se giba povećavanjem koraka i očitavanja na svakom nivou se zapisuju poslije svakog pomaka.

#### 3.4.2.3.2.2.2 Metoda korištenja autokolimatora (vidi 3.4.2.1.2.2.2)

Kada se koristi autokolimator, ogledalo je montirano na gibajuću komponentu, a autokolimator na referentnu liniju.

#### 3.4.2.3.2.2.3 Metoda korištenja lasera (vidi 3.4.2.1.2.2.3)

Kada se koristi laser, pomični interferometar i usmjerivač zrake može se fiksirati na referentnu liniju, a laserski reflektori se montiraju na gibajuću komponentu ili obrnuto.

### 3.4.2.3.3 Tolerancije

#### 3.4.2.3.3.1 Tolerancije linearnog odstupanja pravocrtnog gibanja

Tolerancija definira dozvoljeno odstupanje pravocrtnog gibanja trajektorije funkcionalne ili reprezentativne točke u odnosu na reprezentativnu liniju (općeniti smjer trajektorije); tolerancija dva linearna odstupanja može biti različita.

#### 3.4.2.3.3.2 Tolerancije kutnog odstupanja pravocrtnog gibanja

Tolerancija definira dozvoljeno kutno odstupanje pravocrtnog gibanja komponente.

Tolerancije kutnog odstupanja mogu biti različite za tri komponente nagiba, okretanja i skretanja.

### 3.4.3 Ravnost

#### 3.4.3.1 Definicija

Površina se smatra ravnom unutar danog raspona mjerenja kada su sve točke sadržane unutar dvije ravnine paralelne sa općim smjerom ravnine i razdvojene sa danom vrijednosti.

Opći smjer ravnine reprezentativne ravnine je definiran tako da se minimizira odstupanja ravnosti, tj., dogovoreno, ili:

- sa tri točke povoljno odabrane u ispitivanoj ravnini (obično dio veoma blizu rubu, sa manjim lokalnim greškama, može se izostaviti)

ili

- na ravnini izračunatoj iz iscrtanih točaka pomoću metode najmanjih kvadrata.

#### 3.4.3.2 Metode mjerenja

##### 3.4.3.2.1 Mjerenje ravnosti pomoću mjerne ploče

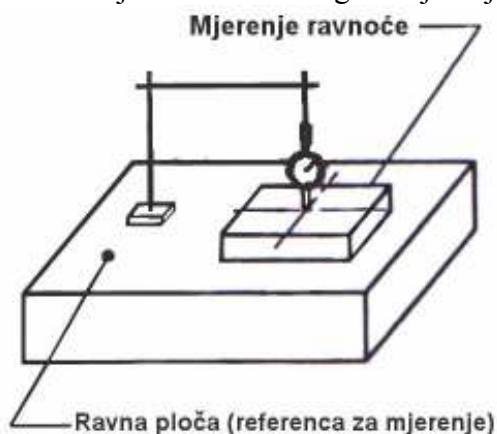
Mjerenje pomoću planimetra, ploča je pokrivena sa željeznom oksidom ili oksidom kroma razrijeđenom u lakom ulju. Planimetar pokriven na taj način je prislonjen uz mjernu površinu. Primijenjeno je slabo naprijed-nazad gibanje. Ploča je maknuta i zabilježena je raspodjela kontaktnih točaka po površini komada. Distribucija bi trebala biti homogena preko cijelog područja površine i trebala bi biti jednaka danoj vrijednosti. Metoda se primjenjuje samo na manje površine sa izvedenom relativno finom završnom obradom grecanjem ili brušenjem.

##### 3.4.3.2.1.1 Mjerenje ravnosti pomoću mjerne ploče i mjerne ure

Mjerna oprema sastoji se od mjerne ploče i mjerne ure koja se drži pomoću osnovne podloge koja se giba po mjernoj ploči.

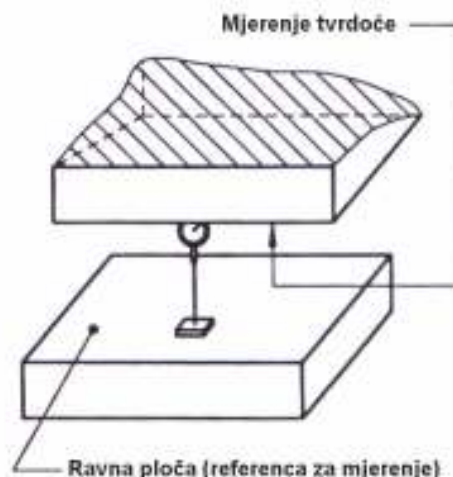
Postoje dvije mjerne konfiguracije:

a) Komponenta koja se mjeri je položena na mjernu ploču ( dimenzije mjerne ploče i oblik potpore komparatora mora biti dovoljno velik da omogući mjerenje svih površina) (Slika 40).



**Slika 40: Površina mjerenja položena na mjernu ploču**

b) Mjerna ploča je smještena nasuprot površine koju mjeri. U ovom slučaju, ispitivanje je moguće sa mjernom pločom čije su dimenzije slične mjerenoj površini (Slika 41).



**Slika 41: Površina mjerenja smještena okomito na mjernu ploču**

Mjernim blokom se koristi kako bi se odredila lokacija mjerne točke.

Pogreške očitavanja zbog grešaka na površini mogu se izbjeći:

- korištenjem mjerne ure sa blago zaobljenom ispitnom iglom na koju ne utječe hrapavost;
- polaganjem malog baznog bloka sa paralelnim površinama između mjerene površine i ispitne igle mjerne ure za apsorpiranje grešaka površine (scraped površina, planed površina, itd.).

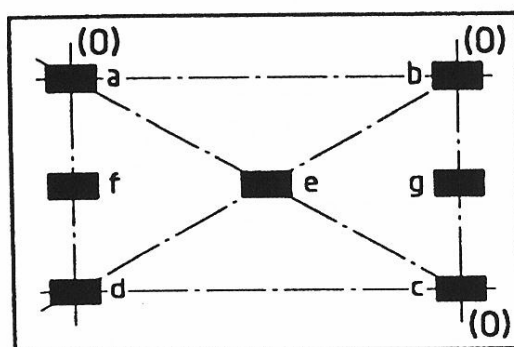
**NAPOMENA 14** U prvom postupku (Slika 40) na poziciju mjerne ure utječe varijacija u nagibu na površini mjerne ploče. Ova metoda je rezervirana za jako precizne mjerne ploče. Nije moguće uzeti u račun greške mjerne ploče; ova metoda je rezervirana za male dijelove.

U drugom postupku (Slika 41), gdje je mjerenje izvedeno sa mjernom urom postavljenom okomito na mjernu ploču, moguće je uzeti u obzir greške mjerne ploče pri obradi rezultata.

### 3.4.3.2.2 Mjerenje ravnosti pomoću mjernih blokova

#### 3.4.3.2.2.1 Mjerenje ravnosti pomoću familije pravocrtnih linija pomicanjem mjernog bloka

Prvo će se odrediti teoretska ravnina na kojoj će se nalaziti referentne točke. U tu svrhu tri točke, a, b i c na ispitnoj površini su odabrane kao nulte točke (vidi sliku 42). Tri baždarena bloka jednake debljine su tada postavljena na te tri točke, tako da gornja površina bloka definira referentnu ravninu prema kojoj se uspoređuje površina.



**Slika 42: Ispitna površina**

Četvrta točka  $d$  koja leži na referentnoj ravnini je tada odabrana na sljedeći način: korištenjem baždarenih blokova koji su podesivi po visini, mjerni blok je stavljen na  $a$  i  $c$ , a podesivi blok je namješten na točku  $e$  na površini  $i$  i doveden u kontakt sa donjom površinom lineala. Gornje površine blokova  $a, b, c, e$  su sve u istoj ravnini. Tada se nalazi odstupanje točke  $d$  stavljanjem mjernog bloka na točke  $b$  i  $e$ ; podesivi blok se stavlja na točku  $d$ , a njegova gornja površina je dovedena u ravninu definiranu gornjim površinama već postavljenih blokova.

Postavljanjem mjernog bloka na  $a$  i  $d$ , a onda na  $b$  i  $c$ , odstupanja svih srednjih točaka površine koje leže između  $a$  i  $d$  i između  $b$  i  $c$  mogu se pronaći. Odstupanja točaka koje leže između  $a$  i  $b$ ,  $c$  i  $d$  mogu se pronaći na jednaki način.

Za zadržavanje očitavanja unutar pravokutnika ili kvadrata tako definiranih, bit će potrebno samo staviti na točke  $f$  i  $g$ , npr., odstupanje kojih će tada biti poznato, baždarenih blokova prilagođenih na ispravnu visinu. Mjerni blok je postavljen na  $te$ , i pomoću baždarenih blokova, odstupanje između površine i mjernog bloka se može izmjeriti. Moguće je koristiti uređaj za mjerenje ravnosti, kao što je prikazano za primjer na slici 12.

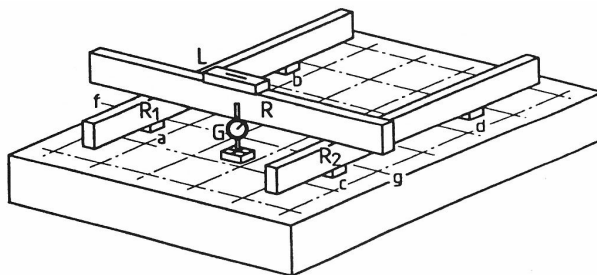
### 3.4.3.2.2 Mjerenje ravnosti pomoću preciznih lineala i mjernih ura

U ovoj metodi mjerna referenca je osigurana pomoću dva lineala koja su postavljena paralelno pomoću libele (3.11.).

Dva lineala  $R_1$  i  $R_2$ , montirana na podupirače  $a, b, c, d$  od kojih su tri iste visine kao, a jedan je podesivi, su namješteni pomoću libele tako da su njihove gornje pravolinijske površine paralelne. Dvije pravocrtne linije  $R_1$  i  $R_2$ , su stoga koplanarne.

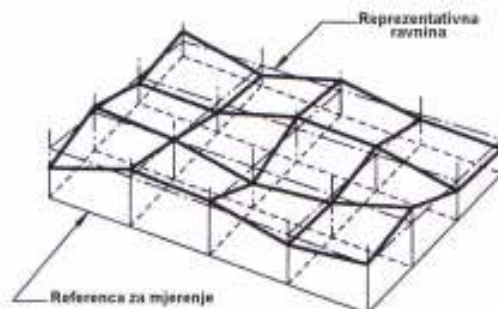
Jedan referentni lineal  $R$  položen na  $R_1$  i  $R_2$ , na vrh bilo koje linije  $fg$  uzorka omogućava očitavanje odstupanja pomoću uređaja za čitanje  $G$  (ili pomoću standardnog baždarenog bloka).

Lineal  $R_1$  i  $R_2$ , biti će dovoljno kruti tako da je deformacija zbog težine referentnog lineala zanemariva.



**Slika 43: Prikaz referentnog lineala**

Mjerna referenca je postavljena i odstupanja od mjerne reference su mjerena i iscrtana. Iscrtavanje može biti izvedeno na različitim točkama slijedeći pravilni uzorak, vidi sliku 44 koji prekriva sve površine ravnine koje će se mjeriti. Izbor za udaljenost točaka je neovisan o upotrebljenom uređaju.



**Slika 44: Referenca za mjerenje**

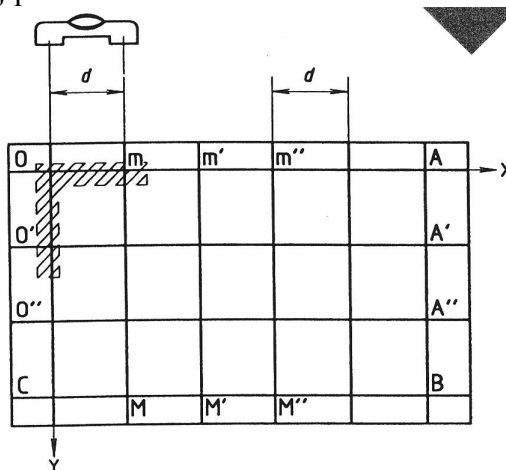


### 3.4.3.2.3 Mjerenje ravnosti pomoću libela

To je jedina danas poznata metoda koja omogućuje konstantno zadržavanje smjera mjerne reference (horizontalni) dok se uređaj miče od pozicije do pozicije. Mjerenje pravocrtosti linije korištenjem metode kutnog odstupanja (3.4.2.1.2.2) je baza ovog mjerenja.

#### 3.4.3.2.3.1 Mjerenje pravokutnih površina

Referentna površina je određena pomoću dvije pravocrtne linije  $OmX$  i  $OO'Y$ , gdje su  $O$ ,  $m$  i  $O'$  tri točke na provjeravanoj površini.



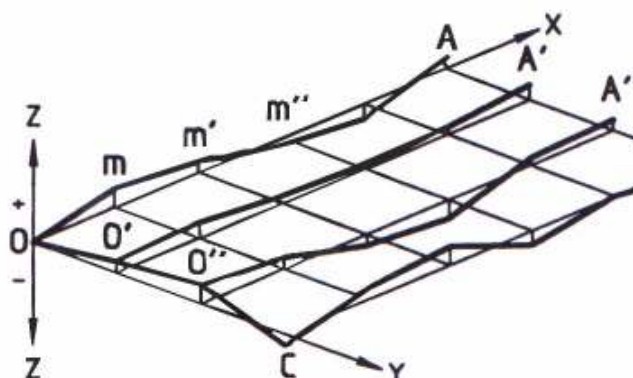
Slika 45: Provjeravana površina na referentnoj površini

Linije  $OX$  i  $OY$  su odabrane pod pravim kutom i ako je moguće paralelno sa stranama koje omeđuju mjerenu površinu. Mjerenja počinje u jednom kutu  $O$  površine i u smjeru  $OX$ . Profil za svaku liniju  $OA$  i  $OC$  je određen pomoću metode naznačene u 3.4.2.1.2.21. Profil longitudinalnih linija  $O'A'$ ,  $O''A''$  i  $CB$  je određen tako da prekrije cijelu površinu.

Može se napraviti dopunsko mjerenje slijedeći  $mM$ ,  $m'M'$ , itd, kako bi se potvrdila prijašnja mjerenja. Kada širina mjerene površine nije proporcionalna njezinoj dužini, poželjno je, kao provjeru, napraviti mjerenje uzduž dijagonale.

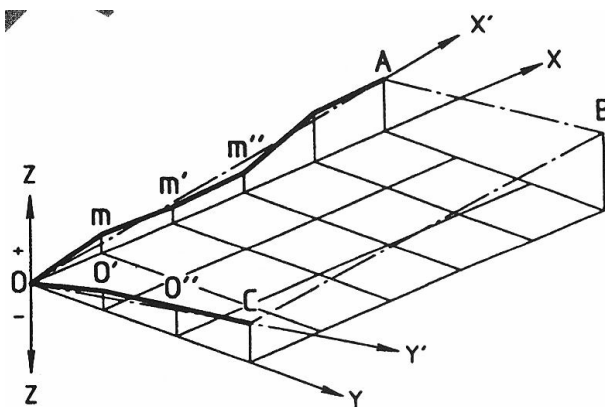
Interpretacija mjerenih rezultata (Slika 46 i Slika 47)

Sa rezultatima mjerenja linija  $Omm'A$  i  $OO'O''C$ , korištenjem procesa prikazanim na slici 20, iscrtaj topografski dijagram  $Omm'A$  i  $OO'O''C$ . Za iscrtavanje linija  $O'A'$ ,  $O''A''$  i  $CB$  početna točka će biti  $O'$ ,  $O''$  i  $C$ . U slučaju slike 45, svi dijagrami su vrlo blizu mjerne referenci i za tu ravninu se može reći da je reprezentativna ravnina, ali u slučaju slike 46 reprezentativne linije  $Omm'A$  i  $O'$ ,  $O''$  i  $C$  su u smjeru  $OX'$  i  $OY'$ . U tom slučaju, reprezentativne ravnine će vjerojatno biti ravnine koje sadrže  $OX'$  i  $OY'$ , tj. ravnina  $OABC$ .



Slika 46: Reprezentativna ravnina

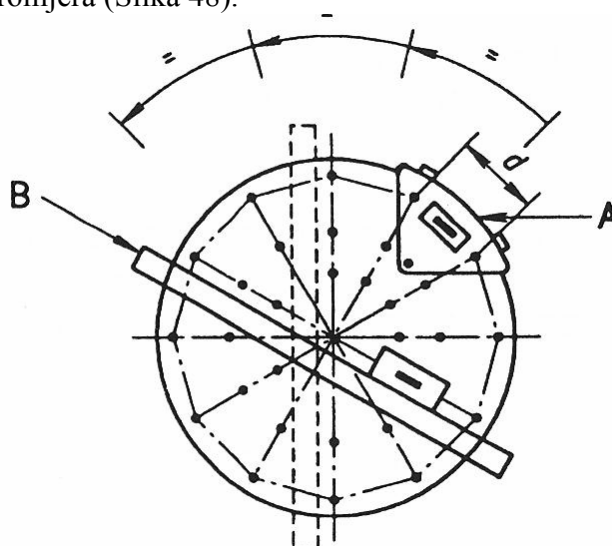




Slika 47: Reprezentativna ravnina OABC

### 3.4.3.2.3.2 Mjerenje ravnih površina sa kružnom konturom

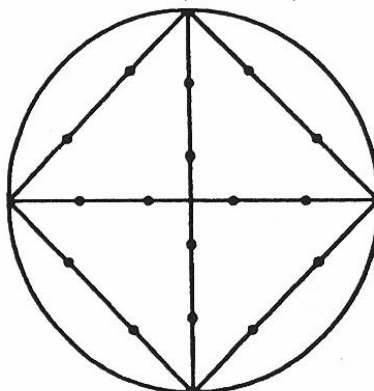
Velike ravne površine koje imaju kružnu konturu „ne daju se smjestiti“ u ortogonalni uzorak, što ostavlja neke dijelove neispitane. Prema tome, preferira se napraviti pregled korištenjem perifernih krugova i promjera (Slika 48).



Slika 48: Periferni krugovi i promjeri

NAPOMENA 15 Za male površine, mjerenja plosnatosti se izvode na pojednostavljeni način mjerenjem ravnosti:

- dva okomita promjera;
- strane kvadrata koje spajaju ekstremne točke (Slika 49).



Slika 49: Ekstremne točke kvadrata

## a) Kružna provjera

Libela je smještena na izostatičnu potporu A i pomicanja u redovitim intervalima uokolo po periferiji ploče.

## b) Dijametralna provjera

To se izvodi korištenjem bilo koje metode mjerenja ravnosti linije (vidi 3.4.2.1).

### 3.4.3.2.4 Mjerenje ravnosti optičkim metodama

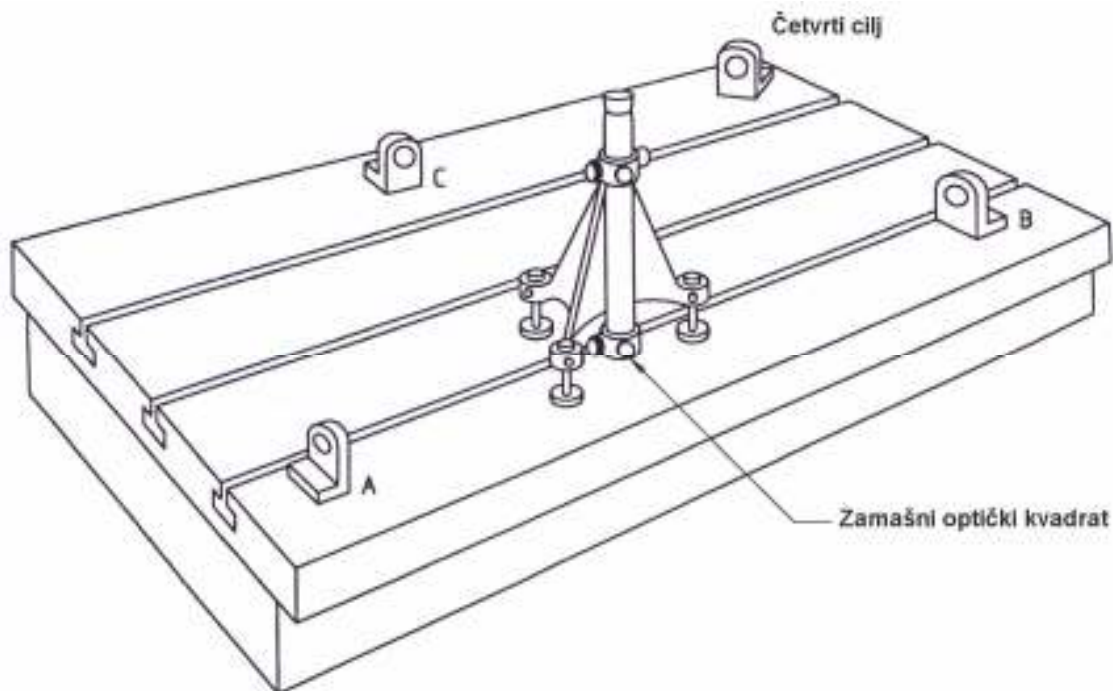
#### 3.4.3.2.4.1 Mjerenje pomoću autokolimatora

Ravne linije OX i OY koje definiraju referentnu ravninu su određene pomoću optičkih osi autokolimatora u dvije pozicije i ako je moguće sa kutom od  $90^\circ$  između. Tada se slijedi metoda objašnjena u 3.4.2.1.2.2.2.

Referentna ravnina mjerenja se određuje pomoću smjera optičkih osi autokolimatora OX i OY. Stoga, za mjerenje O'A', O"A" i CB, optička os autokolimatora će biti paralelna sa OX (Slika 45).

#### 3.4.3.2.4.2 Mjerenje pomoću optičkog kutnika

Alternativno, koristi se optički kutnik (peterokutna prizma). Referentna ravnina se osniva pomoću centra tri mete (A, B i C) koje su smještene na periferiji površine (Slika 50). Kvadrat je poravnat tako da je optička os teleskopa okomita na referentnu ravninu, a četvrta meta se koristi za mjerenje pozicije bilo koje točke na površini (vidi 3.17).



Slika 50: Centar referentne ravnine

#### 3.4.3.2.4.3 Mjerenje pomoću kolimacionog lasera

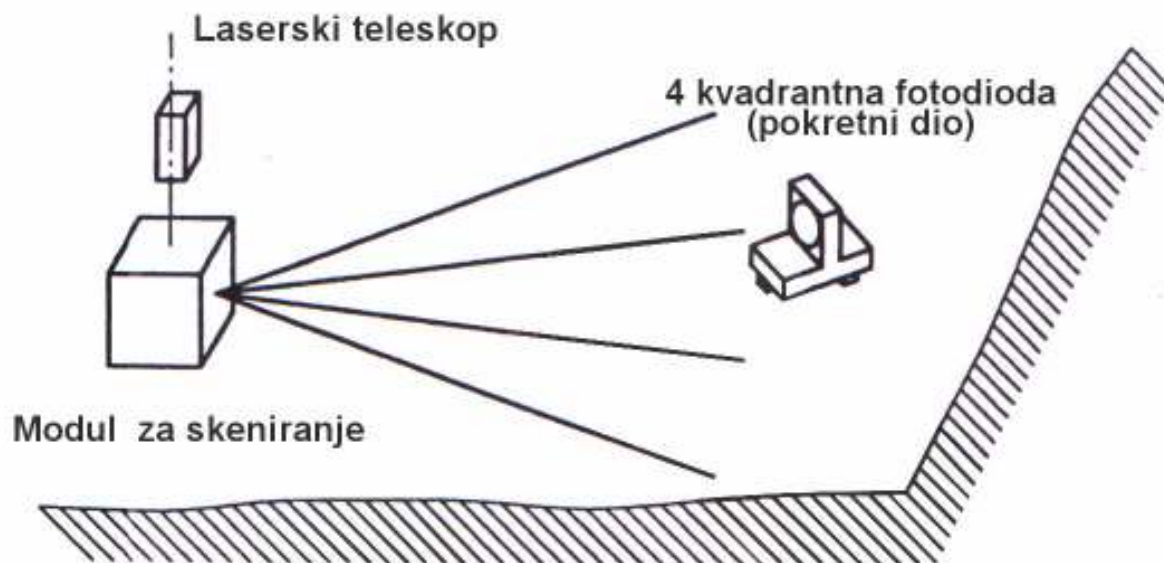
U ovoj metodi, koristi se ispitni modul udružen sa kolimacionim laserom za definiranje referentne ravnine za mjerenje pomoću raznih koplanarnih pravolinijskih referenci (Slika 51 i 3.18)

### 3.4.3.2.4.4 Mjerenje pomoću laserskog mjernog sustava

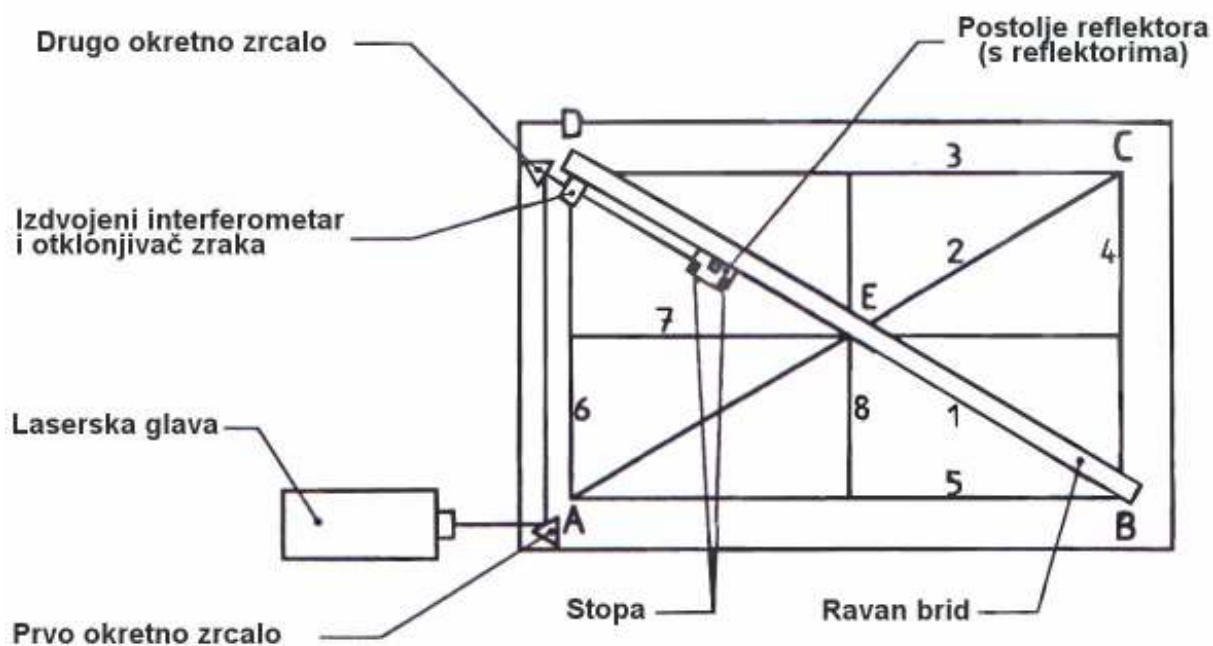
Topografija površine je rekonstruirana iz ispitivanja pravocrtnosti različitih linija mjerenjem kutnih odstupanja (vidi 3.18). Tipična sekvenca mjerenja je prikazana na Slici 52, gdje su linije 1 do 8 prikazane u dijagramu.

Sukcesivno, provjerene su linije 1 do 8. Rezultata očitavanja analizirana procesuiranjem podataka daju dijagram ravnosti površine-ravnine u izometriji (Slika 53).

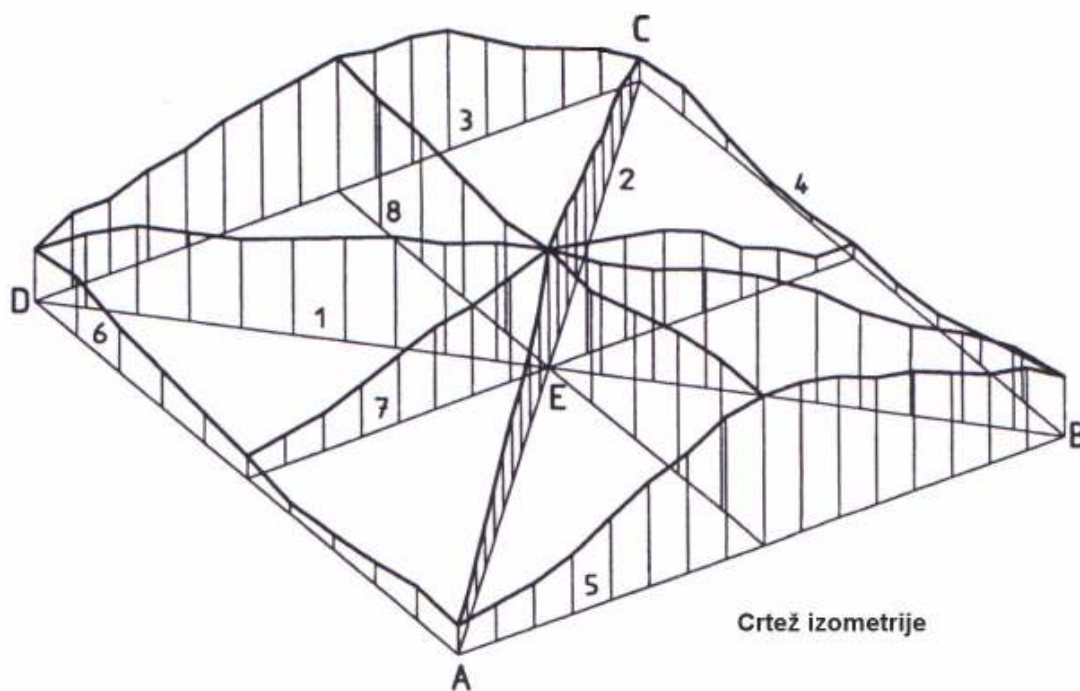
Napomena 16 Laserska zraka se horizontalno prilagođava u željenom smjeru prilagođavanjem okretnog ogledala. Ali to može utjecati na vertikalni smjer laserske zrake.



Slika 51: Kolimacioni laser



Slika 52: Laserski mjerni sustav



Slika 53: Prikaz izometrije

#### 3.4.3.2.4.5 Mjerenje pomoću koordinatnog mjernog uređaja

Površinska ravnost može se mjeriti pomoću koordinatnog mjernog uređaja (CMM). Referentna ravnina može se uspostaviti iz programa CMM uređaja prema 3.4.3.1 i određuje se otklon od pravocrtnosti te ravnine (Slika 44).

#### 3.4.3.3 Tolerancije

Zona tolerancije ravnosti je limitirana sa dvije ravnine, udaljene za  $t$ , paralelno sa općim smjerom ravnine (reprezentativna ravnina). Potrebno je specificirati opseg mjerenja i poziciju tolerancije u odnosu na reprezentativnu ravninu.

Tolerancije ravnosti su naznačene kako slijedi:

- Tolerancija ravnosti: .... mm kad, između krajeva, kada su dozvoljene konkavnost i konveksnost površina.
- Konkavno (ili konveksno): .... mm kad, između krajeva, kada su dozvoljene samo konkavnosti (ili konveksnosti) površina.
- Lokalna tolerancija: ... mm za ....mm x kad je specificirana i kada su dozvoljene konkavnosti i konveksnosti.

Daljnje tolerancije u ovom slučaju trebale bi biti poznate kao „lokalne tolerancije“.

NAPOMENA 17 Na rezultate provjere može utjecati stanje kontaktne površine ispitne igle. Kada je procijenjeno da je potrebno, stanje te kontaktne površine može se specificirati.

### 3.4.4 Paralelnost, ekvidistantnost i koincidencija

Ta mjerenja upućuju na sljedeće značajke:

- paralelnost linija i ravnina, vidi 3.4.4.1;
- paralelnost kretanja, vidi 3.4.4.2;
- ekvidistantnost, vidi 3.4.4.3;
- koaksijalnost, koincidencija ili poravnanje, vidi 3.4.4.4.

#### 3.4.4.1 Paralelnost linija i ravnina

##### 3.4.4.1.1 Definicije

Linija se smatra paralelnom sa ravninom ako, kad se mjeri udaljenost te linije od reprezentativne ravnine (vidi 3.4.2.1.1.1) od sjecišta ravnine i okomite ravnine uključujući liniju na puno točaka, maksimalna razlika uočena unutar danog opsega ne prelazi prije utvrđenu vrijednost.

Dvije se linije smatraju paralelnim kada je jedna od tih linija paralelna sa dvije ravnine koje prolaze reprezentativnom linijom druge linije. Tolerancija paralelnosti nije nužno identična u dvije ravnine.

Dvije ravnine se smatraju paralelnim kada je maksimalni raspon udaljenosti od reprezentativne ravnine jedne od tih ravnina prema drugoj ravnini, mjereno preko cijele površine u najmanje dva smjera, dogovorena vrijednost ne prelazi preko specificirane dužine.

Maksimalni raspon znači razliku između maksimalne i minimalne dimenzije dobivene mjerenjem.

Te razlike se mjere u danim ravninama (horizontalnim, vertikalnim, okomitim na provjeravanu površinu, koje prelaze provjeravane osi, itd.) unutar dane površine (npr. na 300 mm ili preko cijele površine).

**NAPOMENA 18** Paralelnost je definirana kao razlika udaljenosti od reprezentativne linije, (ili ravnine) linije (ili ravnine) prema drugoj liniji ili ravnini. Ako je linija (ili ravnina) koja je odabrana kao referenca preokrenuta, rezultat može biti drugačiji.

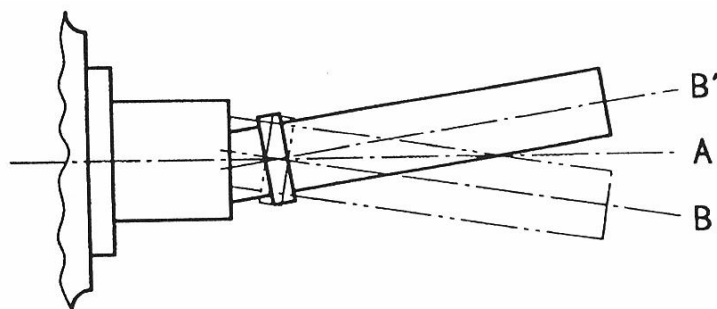
##### 3.4.4.1.2 Metode mjerenja

###### 3.4.4.1.2.1 Općenito, za osi

Gdje mjerenje paralelnosti uključuje osi, same osi će biti predstavljene pomoću kružnih površina visoke preciznosti oblika, odgovarajuće završne obrade površine i dovoljne dužine. Ukoliko površina osovine ne udovoljava tim uvjetima, ili ako je to unutrašnja površina koja ne može koristiti ticalo, upotrebljava se pomoćna cilindrična površina (ispitni trn).

Fiksiranje i centriranje ispitnog trna napraviti će se na kraju osovine ili u cilindričnoj ili koničnoj rupi napravljenj za prihvat alata ili drugi dodatak.

Kada se stavlja ispitni trn na os osovine tako da predstavlja os rotacije, dozvola će se dati za činjenicu da je nemoguće centrirati osovinu točno na os rotacije. Kada se osovina okreće, os osovine opisuje hiperboloid (ili koničnu površinu, ako os osovine siječe os rotacije) i daje dvije pozicije B-B' koji leže u ispitnoj ravnini.



**Slika 54: Prikaz centriranja osovine**

Mjerenje paralelnosti može, pod tim uvjetima, biti napravljeno na bilo kojoj kutnoj orijentaciji osovine, ali bi se trebalo ponoviti nakon rotacije osovine za  $180^\circ$ . Algebarski prosjek dva očitavanja daje odstupanje paralelnosti u danoj ravnini.

Osovina može također biti dovedena u srednju poziciju A (nazvan 'srednja pozicija gibanja'), mjerenje bi tada trebalo biti izvedeno samo u toj poziciji.

Čini se da je prva metoda jednako brza kao i druga, i točnija je.

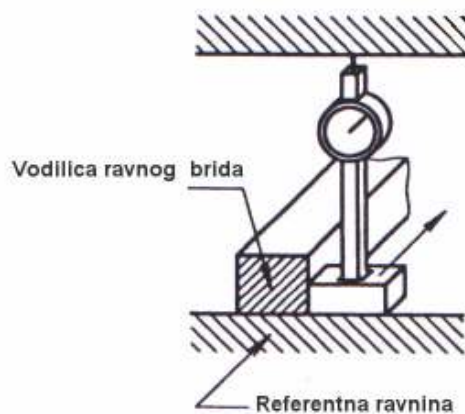
**NAPOMENA19** Izraz 'srednja pozicija gibanja' potrebno je shvatiti na slijedeći način: mjerna igla se dovodi u kontakt sa cilindričnom površinom koja predstavlja os rotacije. Promatraju se očitavanja mjernog uređaja i osovina se polako okreće. Osovina je u srednjoj poziciji gibanja kada pokazivač daje srednje očitavanje između dva kraja njegovog ruba.

#### 3.4.4.1.2.2 Paralelnost dvije ravnine

Sljedeće metode mogu se upotrijebiti kako bi potvrdila paralelnost dvije ravnine. Mjerenje bi trebalo izvesti u dva smjera, najbolje okomito jedan na drugog.

##### 3.4.4.1.2.2.1 Lineal i mjerna ura

Mjerna ura, montirana na potporanj sa plosnatom bazom i vođena pomoću dodira sa linealom. Igla kliže uzduž druge ravnine (Slika 55).

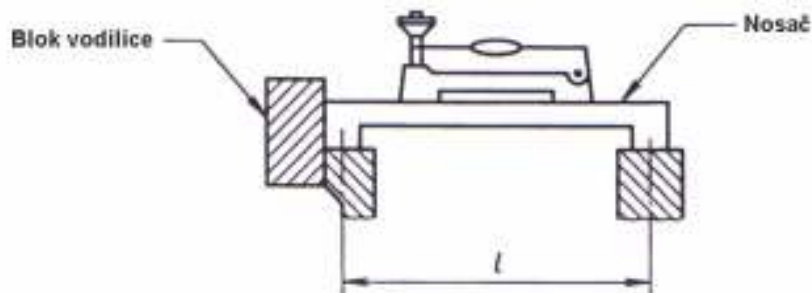


**Slika 55: Prikaz mjerne ure**

### 3.4.4.1.2.2 Metoda sa libelom

Libela je smještena na nosaču koji premošćuje dvije uspoređivane površine. Uzastopna očitavanja se vrše uzduž ravnine i maksimalne razlike očitavanja (kuta) daju odstupanja kutne paralelnosti, a očitavanja (kuta) pomnožena sa  $l$  daju odstupanja od linearne paralelnosti. (Slika 56 i 3.11).

Teško je premostiti dvije ravnine, nosač se ne koristi i očitavanja se vrše uzduž pojedine površine sa horizontalom koja se koristi kao mjerna referenca (3.4.2.1.2.2). Usporedba očitavanja na odgovarajućoj poziciji pokazuje paralelnost.



Slika 56: Prikaz metode libele

### 3.4.4.1.2.3 Paralelnost dvije osi

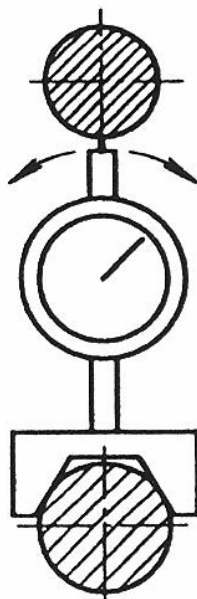
Mjerenje se radi u dvije ravnine:

- u ravnini koja prolazi kroz dvije osi<sup>2)</sup>;
- onda u drugoj ravnini okomitoj, ako je moguće, na prvu.

#### 3.4.4.1.2.3.1 Ravnina prolazi kroz dvije osi<sup>2)</sup>

Mjerni uređaj se drži na potpori sa bazom odgovarajućeg oblika, tako da klizi duž cilindra koji predstavlja jednu od dvije osi; igla kliže uz cilindar koji predstavlja drugu os.

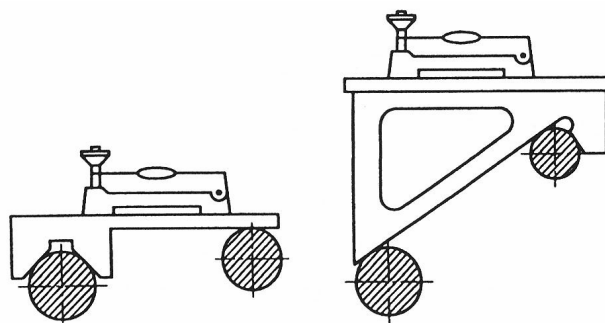
Kako bi se odredila minimalna očitavanja između osi u bilo kojoj točki, uređaj će bit nježno gurnut u smjeru okomitom na osi (Slika 57). Ako je potrebno, progib cilindra pod opterećenjem kojeg mora podupirati tijekom mjerenja može se uzeti u razmatranje.



Slika 57: Prikaz uređaja okomitog na osi kroz koje prolazi ravnina

### 3.4.4.1.2.3.2 Druga ravnina okomita na prvu

Ova mjerna metoda zahtijeva dodatnu ravninu, ako je moguće paralelnu sa onom koja prolazi kroz dvije osi. Ako ta dodatna ravnina postoji, uslijed činjenice da su dvije osi paralelne sa površinom stroja, paralelnost svake osi, promatrana odvojeno, odredit će se u ovisnosti na tu površinu na način opisan u 3.4.4.1.2.4. ako ne, mjerenje će se napraviti sa referencom na teoretsku ravninu pomoću libele sa prilagodljivom staklenom cijevi. U tu svrhu, bazu bi trebalo položiti na dva cilindra koji predstavljaju osi, a njihov je zračni-mjehur postavljen na nulu. Ako dvije osi nisu u istoj horizontalnoj ravnini, pomoćni blok, fiksni ili prilagodljivi, može se koristiti (Slika 58).

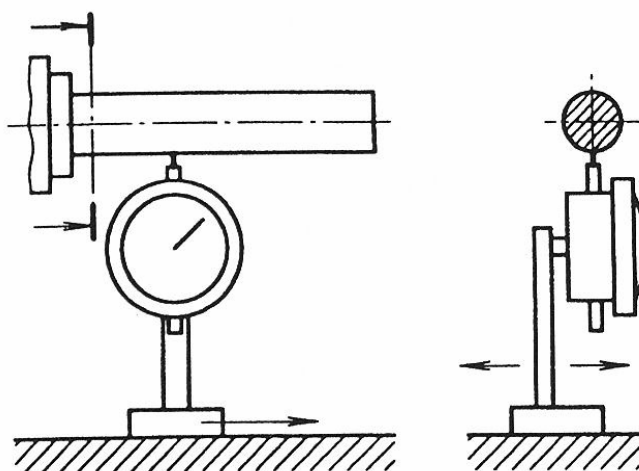


Slika 58: Fiksni prilagodljivi pomoćni blok

Libela se pomiče uzduž osi za specificiranu vrijednost, i uzimaju se očitavanja. Mjerenja se prikazuju u obliku udaljenosti između osi. Ako je, npr., ta udaljenost 300 mm a očitavanja libele je 0,06 mm/1000mm, odstupanje paralelnosti će biti  $0,06 \times 0,3 = 0,018$  mm.

### 3.4.4.1.2.4 Paralelnost osi prema ravnini

Mjerni uređaj se drži na potpori sa plosnatom bazom i pomiče uzduž ravnine za specificiranu vrijednost. Igla će klizati uzduž cilindra koji predstavlja os (Slika 59).

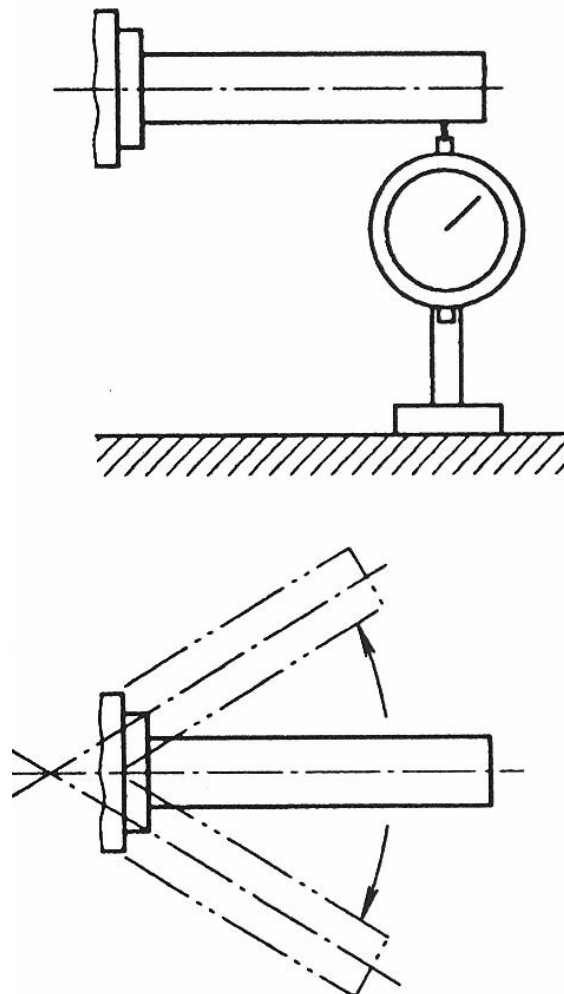


Slika 59: Prikaz uređaja pri ispitivanju paralelnosti

Na svakoj točki mjerenja, minimalno očitavanje je pronađeno laganim pomicanjem mjernog uređaja u smjeru okomitom na osi. U slučaju pivotirajućih osi, mjerenje u srednjoj poziciji i dvije ekstremne pozicije će biti dovoljno (Slika 60).

NAPOMENA20 Za odstupanje paralelnosti reprezentativnog cilindra od osi, vidi 3.4.4.1.2.1.



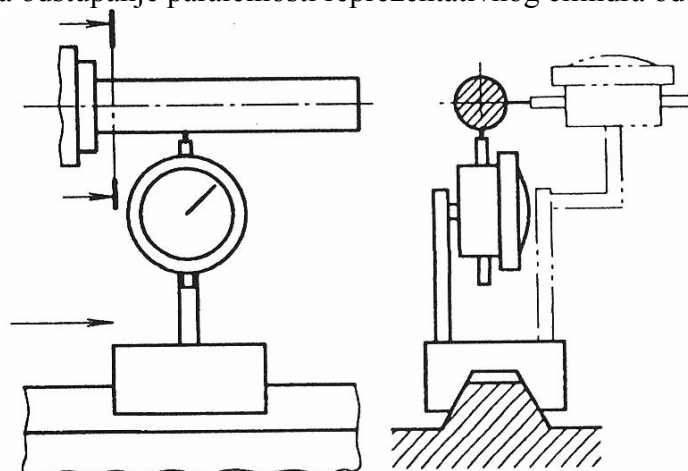


Slika 60: Mjerenje u ekstremnim pozicijama

#### 3.4.4.1.2.5 Paralelnost osi prema sjecištu dviju ravnina

Mjerni uređaj se drži na potpori sa bazom odgovarajućeg oblika koja leži na dvije ravnine. Uređaj se tada pomiče za specificiranu udaljenost duž pravocrtne linije sjecišta, a igla kliže uz cilindar koji predstavlja os (Slika 61). Mjerenje će biti, čim je dalje moguće, izvedeno u dvije okomite ravnine koje su odabrane kao najvažnije u radu alatnog stroja.

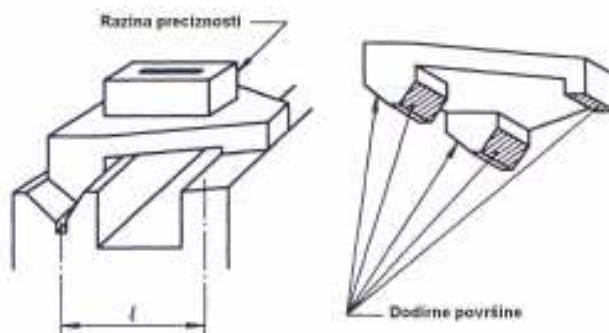
NAPOMENA 21 Za odstupanje paralelnosti reprezentativnog cilindra od osi, vidi 3.4.4.1.2.1.



Slika 61: Prikaz cilindra koji predstavlja os

### 3.4.4.1.2.6 Paralelnost sjecišta dviju ravnina prema trećoj ravnini

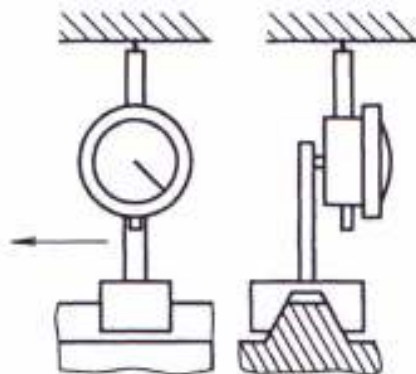
Gdje je su sjecište i treća ravnina prikladno smještene jedna prema drugoj, koristi se ugradbeni blok i libela (Slika 62). Sklop se giba uzduž sjecišta, i razlike u kutnim očitanjima, pomnožene sa  $l$  predstavljaju odstupanja od paralelnosti (vidi 3.4.4.1.2.3.2).



Slika 62: Ugradbeni blok

Ako treća ravnina nije prikladno smještena, koristi se ugradbeni blok i mjerna ura (Slika 63). Igla je smještena pod pravim kutom u odnosu na treću ravninu i niz očitavanja se uzima niz liniju sjecišta. Za druge procedure mjerenja, vidi 3.4.4.1.2.2.

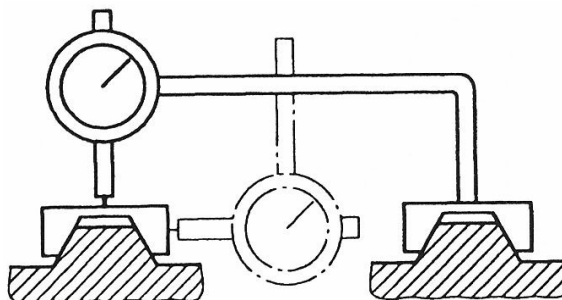
Uključeni kut između lokacije lica ugradnog bloka bit će točno usklađen sa kutom sjecišta dvije ravnine. To može biti provjereno sa sredstvom za označavanje kao što je željezni oksid.



Slika 63: Ugradbeni blok i mjerna ura

### 3.4.4.1.2.7 Paralelnost između dvije pravocrtne linije, svaka formirana sjecištem dviju ravnina

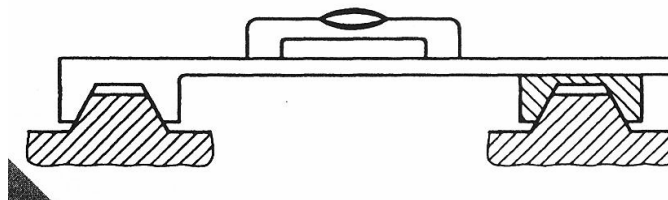
To mjerenje može se izvesti kao i u 3.4.4.1.2.5 Igla ispitnog uređaja drži se na bloku u obliku slova V koji kliže uzduž ravnina stvarajući drugo sjecište. Mjerenje će biti izvedeno u dvije ravnine okomite jedna na drugu (Slika 64).



Slika 64: Mjerenje se izvodi u okomitim ravninama

Ova metoda zahtijeva veoma kruto montiranje mjernog uređaja, stanje koje je vidljivo samo u slučaju dvije pravocrtne linije koje su blizu jedna drugoj. Kao pravilo, potrebno je koristiti libelu, barem za mjerenje paralelnosti u vertikalnoj ravnini (Slika 65).

**NAPOMENA 22** Ako je direktno mjerenje uključenih ravnina ili pravocrtnih linija problematično zbog interferencije komponenti alatnog stroja unutar polja mjerenja, mjerenje može biti povezano sa referentnom ravninom konstituiranom od, npr., horizontalne ravnine određene pomoću libele.



**Slika 65: Mjerenje paralelnosti libelom**

### 3.4.4.1.3 Tolerancije

Tolerancija paralelnosti pravocrtne linije ili površine ravnine je dato kako slijedi:

tolerancija paralelnosti: .... mm

Ukoliko se paralelnost mjeri samo na danjoj dužini, ta dužina će biti naznačena, npr.:

0,02 mm za bilo koju mjernu dužinu od 300mm

Kao pravilo, smjer odstupanja nije bitan; ali, ukoliko je odstupanje paralelnosti dozvoljeno samo u jednom smjeru, smjer će biti naznačen, npr.; slobodni kraj osovine samo u gornjem smjeru (relativno prema površini stola)

Potrebno je zapamtiti da tolerancija paralelnosti uključuje toleranciju oblika odgovarajućih linija i površina, a rezultat mjerenja ovisi o površini ispitne igle, koja bi trebala, kada se zahtijeva, biti napomenuta.

### 3.4.4.2 Paralelnost gibanja

#### 3.4.4.2.1 Definicija

Izraz 'paralelnost gibanja' odnosi se na poziciju trajektorije funkcionalne točke (vidi 3.4.2.3.12) gibajućeg dijela stroja u odnosu na:

- ravninu (oslonac ili vodilice)
- pravocrtnu liniju (os, sjecište ravnina)
- trajektoriju točke druge gibajuće komponente stroja.

#### 3.4.4.2.2 Metode mjerenja

##### 3.4.4.2.2.1 Općenito

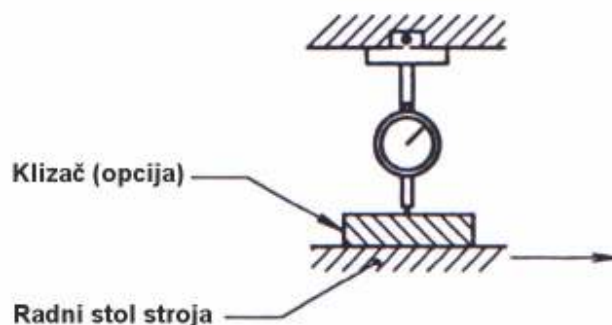
Metode mjerenja su obično jednake onima koje se koriste za mjerenje paralelnosti linija i ravnina. Gibajuća komponenta će biti, što je dalje moguće, upravljana na običajan način, kako bi uključila zračnost i deformacije u vodilicama.

### 3.4.4.2.2.2 Paralelnost između trajektorije i ravnine

#### 3.4.4.2.2.2.1 Ravnina je na samoj gibajućoj komponenti

Mjerna ura je pričvršćena za fiksnu komponentu stroja, a igla je oslonjena sa pravim kutom prema mjerenoj površini. Gibajuća komponenta bi se trebala pomaknuti za napomenutu vrijednost (Slika 66).

Ovaj tip mjerenja se tipično primjenjuje na glodalice i brusilice kod kojih je radni komad fiksiran na radnom stolu. Mjerna ura je montirana na vretenasti nastavak, kao što je prikazano na Slici 66, a poprečno na stol. Rezultirajuća očitavanja će prikazivati točnost (u odnosu na paralelnost) koja se može očekivati u gotovom komadu.



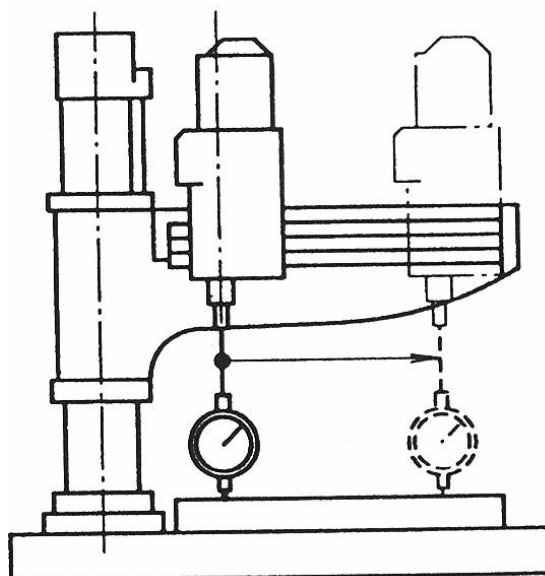
Slika 66: Mjerenje pomoću klizača

#### 3.4.4.2.2.2.2 Ravnina nije na samoj gibajućoj komponenti

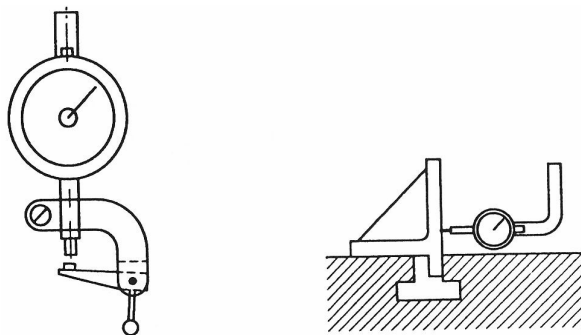
Mjerna ura je pričvršćena za gibajuću komponentu stroja i giba se zajedno sa njom za napomenutu vrijednost; igla je oslonjena sa pravim kutom prema površini i klizi sa njom (Slika 67).

Ukoliko se igla ne može držati direktno za površinu (npr. rub uske brazde), mogu se upotrijebiti dvije alternativne metode:

- korištenje kutne poluge (Slika 68 lijevo);
- korištenjem komada odgovarajućeg oblika (Slika 68 desno).



Slika 67: Mjerna ura pričvršćena na gibajuću komponentu stroja



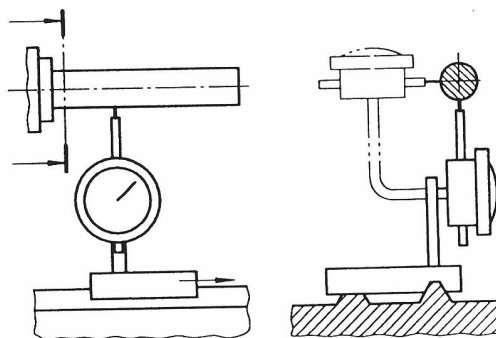
**Slika 68: Korištenje kutne poluge i komada odgovarajućeg oblika**

### 3.4.4.2.3 Paralelnost trajektorije prema osi

Mjerni uređaj je fiksiran za gibajuću komponentu i giba se zajedno sa njom za navedenu vrijednost. Igla klizi po cilindru ili osovini koja predstavlja os (Slika 69).

Gdje postoji rotirajuća os, potrebno je koristiti srednju poziciju (vidi 3.4.4.1.2.1)

Ukoliko su sve ravnine od jednake važnosti, mjerenje će se izvesti, ako je moguće, u dvije okomite ravnine odabrane kao najvažnije za praktičnu upotrebu stroja.



**Slika 69: Osovina koja predstavlja os pri mjerenju**

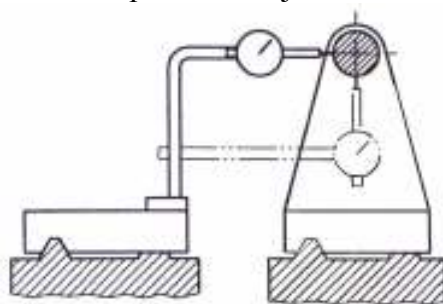
### 3.4.4.2.4 Paralelnost trajektorija na sjecištu dviju ravnina

Paralelnost između svake od dvije ravnine i trajektorije mjerit će se odvojeno, prema 3.4.4.2.2. Pozicija linije koja se siječe je utvrđena iz pozicije ravnina.

### 3.4.4.2.5 Paralelnost između dviju trajektorija

Mjerna ura je pričvršćena na jednu od gibajućih komponenti stroja, tako da njena igla leži na danoj točki drugog gibajućeg dijela. Oba dijela se gibaju zajedno u istom smjeru za istu danu vrijednost, i bilježe se promjene u očitanjima mjernog uređaja (Slika 70).

Ukoliko su sve ravnine od jednake važnosti, mjerenje će se izvesti u dvije okomite ravnine odabrane kao najvažnije za praktičnu upotrebu stroja.



**Slika 70: Igla mjerne ure leži na točki gibajućeg dijela**

### 3.4.4.2.3 Tolerancija

Tolerancija paralelnosti gibanja je dopuštena promjena najkraće udaljenosti između trajektorije date točke na gibajućem komadu i ravnine, pravocrtne linije ili druge trajektorije unutar zadane dužine.

Za metodu određivanja tolerancije vidi 3.4.4.1.3.

### 3.4.4.3 Ekvidistanca

#### 3.4.4.3.1 Definicija

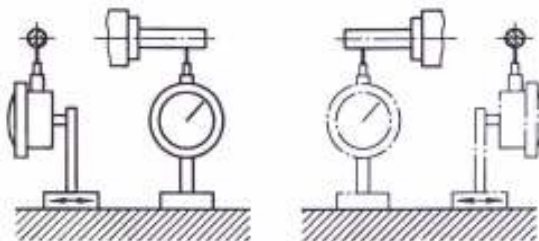
Ekvidistanca se odnosi na udaljenost između osi i referentne ravnine. Ekvidistantnost postoji tamo gdje ravnina koja prolazi kroz osi je paralelna sa referentnom ravninom. Osi mogu biti različite osi ili iste osi koje zauzimaju drugačije pozicije nakon rotacije.

#### 3.4.4.3.2 Metode mjerenja

##### 3.4.4.3.2.1 Općenito

Problem je identičan onom od paralelnosti između ravnina koje prolaze kroz osi i referentnu ravninu. Ispit za ekvidistancau dvije osi, ili rotirajuće osi, iz ravnine su, u praksi, mjerenje paralelnosti (vidi 3.4.4.1.2.4). Prvo bi trebalo napraviti ispit da se provjeri da su dvije osi paralelne sa ravninom, a tada da su na jednakoj udaljenosti od te ravnine, korištenjem iste mjerne ure na dva cilindra koji predstavljaju osi (Slika 71).

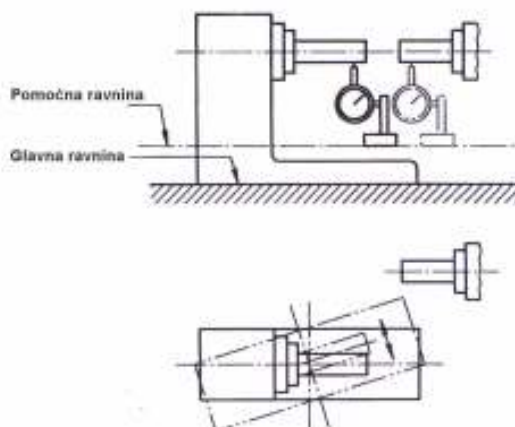
Ako ti cilindri nisu jednaki, razlika radijusa ispitnog dijela mora se uzeti u obzir.



Slika 71: Korištenje mjerne ure na dva cilindra

##### 3.4.4.3.2.2 Specijalni slučaj ekvidistance dviju osi iz ravnine okretne jedne od osi

Ravnina okretnog dijela koji nosi jednu od osi možda neće biti dostupna i možda ne dozvoli gibanje mjernog uređaja. Tada će biti potrebno konstruirati dodatnu ravninu paralelnu sa ravninom okretanja (Slika 72).



Slika 72: Prikaz pomoćne ravnine paralelne s ravninom okretanja

Postavljanje i fiksiranje te pomoćne ravnine treba tako izvesti da, kada se na njega postavi libela, ako je moguće u dva okomita smjera, ne postoji odstupanje tijekom gibanja okretne komponente. Ekvidistanca osi (u sredini kao i u ekstremnoj poziciji) se tada ispita, kao i ona u fiksnoj osi, u ovisnosti sa pomoćnom ravninom.

**NAPOMENA 23** Kada se koristi horizontalna ili kosa pomoćna ravnina, preporučljivo je da se mjerna ura smjesti na svoju originalnu poziciju kako bi se osiguralo da se nikakvo abnormalno pomicanje ne dogodi pri okretanju.

### **3.4.4.3 Tolerancija**

Dozvoljena razlika udaljenosti i bit će općenito ispravna u svim smjerovima paralelnim sa referentnom ravninom.

Ako je razlika dozvoljena samo u jednom smjeru, smjer će se specificirati, npr.: os 1 više od osi 2

### **3.4.4.4 Koaksijalnost, koincidencija ili poravnanje<sup>3)</sup>**

#### **3.4.4.4.1 Definicija**

Za dvije linije ili dvije osi se kaže da su koaksijalne, koincidentne ili poravnane kada njihova relativna udaljenost na danoj dužini ne prelazi danu vrijednost. Mjerena udaljenost može biti smještena na stvarnim linijama ili na njihovom dodatku.

#### **3.4.4.4.2 Metode mjerenja**

Mjerni uređaj je pričvršćen na ruku i rotira za  $360^\circ$  oko osi. Igla mjernog uređaja prolazi u danoj sekciji A preko cilindra koji predstavlja drugu os (Slika 73). Svaka varijacija u očitavanju predstavlja dvostruko odstupanje od koaksijalnosti. Kako sekcija odabrana za mjerenje može sjeći obje osi, provjera će biti napravljena u drugoj sekciji B.

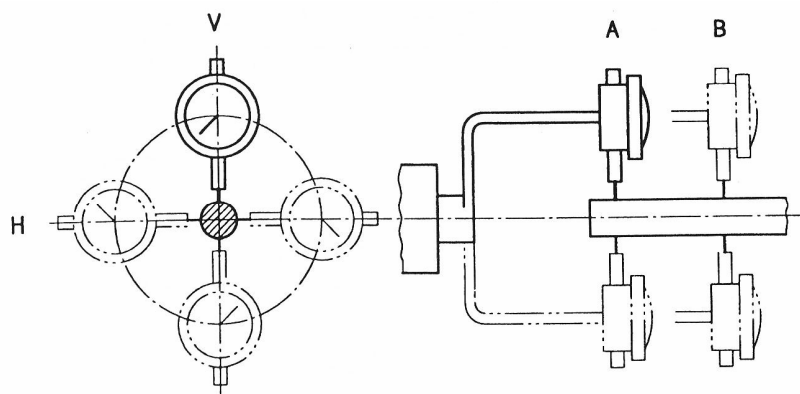
Ako je potrebno odrediti odstupanje u dvije specificirane ravnine (npr. ravnine H i V, Slika 73; varijacije nađene u te dvije ravnine bit će zabilježene odvojeno.

Potrebno je, pogotovo u slučaju horizontalnih osi, da imaju veoma kruto pričvršćivanje. Kada je potrebna visoka točnost, dva mjerna uređaja razmaknuta za  $180^\circ$  koristit će se istodobno kako bi se eliminirao efekt deformacije. Alternativno, koristit će se potpora, čija deformacija je zanemariva uslijed težine duplo veće od mjerača sa okruglom skalom koji se koristi. Mjerna ura sa veoma malom masom će se koristiti u ovom ispitivanju.

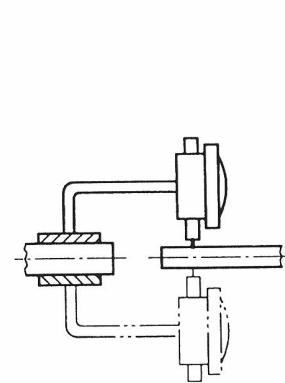
Kako će smjer mjerenja varirati tijekom rotacije u odnosu prema smjeru gravitacije, osjetljivost mjernog uređaja prema sili gravitacije će se uzeti u obzir.

Kada je jedna od dviju osi os rotacije, ruka koja nosi mjerni uređaj može biti fiksirana za osovinu koja predstavlja os oko koje će se događati rotacija. Ako se traži od mjernog uređaja da rotira oko fiksne osovine, potrebno ga je pričvrstiti na prsten koji rotira sa minimalnom količinom oscilacija. Taj prsten mora biti dovoljno dug kako bi osigurao da na očitavanja ne djeluju zazori u prstenu (Slika 74).

Ako su obje osi osi rotacije, mjerena osovina može se dovesti u srednju poziciju njenog gibanja u mjernoj ravnini (vidi 3.4.4.1.2.1).



**Slika 73: Prikaz prolaska igle uređaja preko cilindra koji predstavlja drugu os**



**Slika 74: Prikaz rotirajućeg prstena**

<sup>3)</sup> Riječ poravnanje se ponekad koristi u praksi sa mnogo općenitijim značenjem od paralelnosti. Ovdje se odnosi samo na dvije osi koje su se stopile jedna u drugu ili gdje se jedna os produžuje preko druge.

#### 3.4.4.4.3 Tolerancije

Kada smjer odstupanja od koaksijalnosti dvije osi (ili dvije linije) nije važan, tolerancija je dana kako slijedi:

Tolerancija koaksijalnosti osi 1 do osi 2 je: ... mm duž dane dužine.

U specijalnom slučaju, dodatne indikacije mogu biti dane ovisno o radnim uvjetima, npr.:

Os 1 samo viša od osi 2

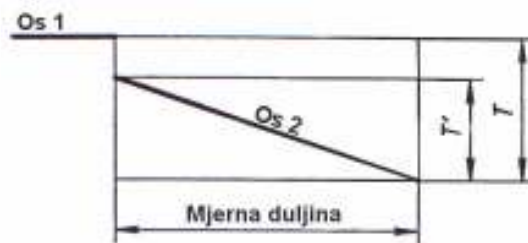
ili

slobodni kraj osi 1 usmjeren samo prema van u odnosu na os 2.

U drugim slučajevima, može biti korisno umetnuti, dodatak toleranciji koaksijalnosti, dodatnu toleranciju paralelnosti između dvije osi (Slika 75).

a) Tolerancija koaksijalnosti osi 1 do osi 2 je:  $T$  mm duž dane dužine.

a) Tolerancija paralelnosti između osi 1 i osi 2 je:  $T'$  mm duž dane dužine ( $T' < T$ ).



**Slika 75: Tolerancija paralelnosti**

#### 3.4.5 Pravokutnost ili okomitost

Pravokutnost i okomitost se općenito koriste sa istim značenjem. Mjerenja pravokutnosti i okomitosti odnose se na sljedeće točke:

- pravokutnost pravocrtne linije i ravnine, vidi 3.4.5.1;
- okomitost gibanja, vidi 3.4.5.2



### 3.4.5.1 Pravokutnost pravocrtnih linija i ravnina

#### 3.4.5.1.1 Definicija

Za dvije ravnine, dvije pravocrtne linije, ili pravocrtne linije i ravnine kaže se da su okomite kad odstupanje od paralelnosti u odnosu na standardni pravokutnik ne prelazi danu vrijednost. Referentni kvadrat može biti mjerni kvadrat ili pravokutna libela, ili se može sastojati od kinematskih ravnina ili linija.

#### 3.4.5.1.2 Metode mjerenja

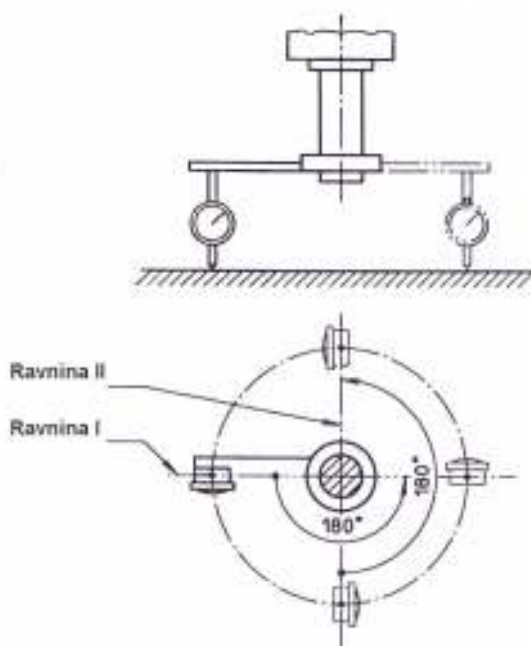
##### 3.4.5.1.2.1 Općenito

Mjerenje pravokutnosti je u praksi mjerenje paralelizma. Slijedeća opća izjava važi.

Za oso rotacije, slijedeća metoda se može upotrijebiti. Ruka koja nosi mjernu uru je pričvršćena za osovinu, a igla ure je namještena paralelno sa osi rotacije. Kako se osovina okreće, mjerna ura opisuje kružnicu u ravnini koja je okomita na os rotacije. Odstupanje od paralelnosti između ravnine kružnice i ravnine može se mjeriti odklonom provjeravane ravnine pomoću igle mjerne ure.

To odstupanje je izraženo u odnosu na promjer kruga rotacije instrumenta (Slika 76).

- a) Ako ispitna ravnina nije specificirana, mjerna ura se okreće kroz  $360^\circ$  i uzima se najveća varijacija u očitanju instrumenta.
- b) Ako je ispitna ravnina specificirana (npr. ravnina I i II), razlike očitavanja u dvije pozicije mjerača sa okruglom skalom, razdvojene  $180^\circ$ , treba zabilježiti za svaku od tih ravnina.

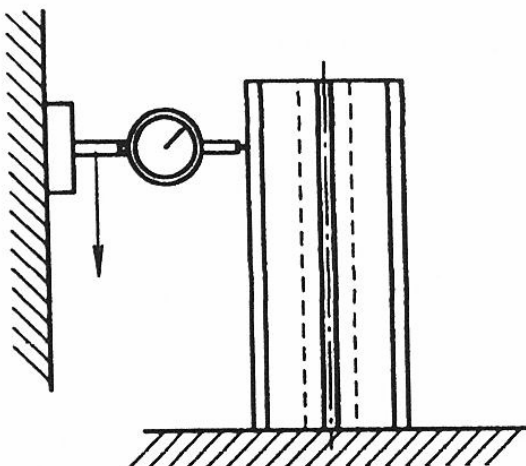


**Slika 76: Promjer rotacije uređaja**

Kako bi eliminirali efekt periodičkog aksijalnog iskliznuća (vidi 3.4.6.2.12) osovine, koje može mjerenje napraviti neispravnim, učvršćenje sa dvije jednake ruke može se koristiti za nošenje mjernih uređaja, razmak za  $180^\circ$ , i prosjek uzetih očitavanja, pružen od mjerne ure su podešene na nulu u istoj kontaktnoj točki. Ispit se može ocijeniti samo sa jednom mjernom urom. Nakon prvog ispita, uređaj se pomakne za  $180^\circ$  relativno na osovinu i ispit se ponavlja. Konačno, minimalni aksijalni pomak će, ako je potrebno, biti eliminiran pomoću odgovarajućeg aksijalnog tlaka (vidi 3.4.6.2.1.1).

### 3.4.5.1.2.2 Dvije ravnine pod 90° jedna prema drugoj

Mjerni cilindar je postavljen na jednu od dvije ravnine (Slika 77). Mjerna ura se giba duž druge ravnine, a očitavanja se uzimaju u kontinuiranim intervalima. Mjerni cilindar se zatim rotira za 180° i uzimaju se druga očitavanja. Prosječna vrijednost se tada dobije iz dva skupa očitavanja.

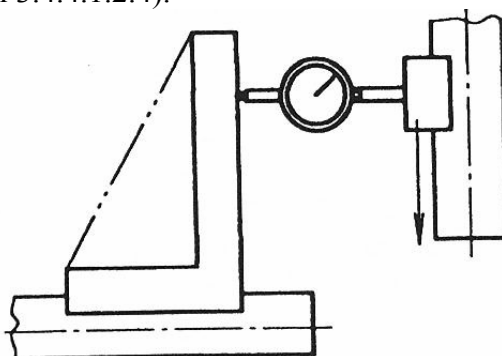


Slika 77: Prikaz mjernog cilindra

### 3.4.5.1.2.3 Dvije osi pod 90° jedna prema drugoj

#### 3.4.5.1.2.3.1 Obje osi su fiksne osi

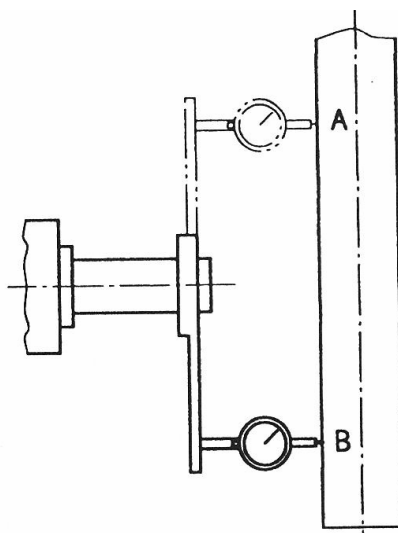
Kutnik sa prikladnom bazom je položen na cilindar koji predstavlja jednu od dvije osi (Slika 78). Paralelnost između slobodne ruke i druge osi je mjerena pomoću metode opisane u vezi sa mjerenjem paralelnosti (vidi 3.4.4.1.2.4).



Slika 78: Kutnik sa prikladnom bazom

#### 3.4.5.1.2.3.2 Jedna od osi je os rotacije

Mjerna ura je pričvršćena na osovinu koja predstavlja os rotacije i dovedena je u kontakt sa dvije točke A i B na cilindru koji predstavlja drugu os (vidi sliku 79). Promjene u očitavanju je izražena u odnosu na udaljenost AB. Ako je druga os također os rotacije, cilindar koji ju predstavlja je doveden u srednju poziciju gibanja kolebanja u ravnini mjerenja, prema metodi opisanoj u vezi sa mjerenjem paralelnosti (vidi 3.4.4.1.2.1)



Slika 79: Mjerna ura pričvršćena na osovinu

#### 3.4.5.1.2.4 Os i ravnina pod $90^\circ$ jedna prema drugoj

##### 3.4.5.1.2.4.1 Fiksne osi

Kutnik sa prikladnom bazom je doveden u kontakt sa cilindrom koji predstavlja os (Slika 80). Paralelnost između slobodne ruke prema ravnini je mjerena u dva okomita smjera pomoću metode opisane u vezi sa mjerenjem paralelnosti (vidi 3.4.4.1.2.2).

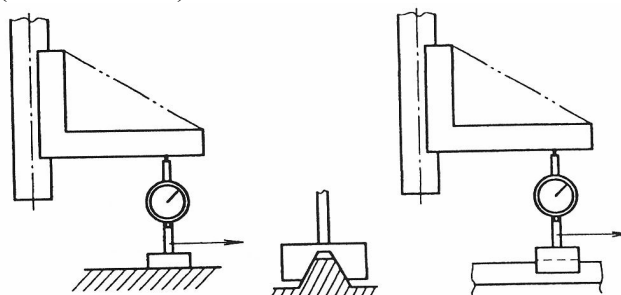
##### 3.4.5.1.2.4.2 Osi rotacije

Mjerna ura je pričvršćena na ruku fiksiranu za osovinu, a postupak je dan u 3.4.5.1.2.1.

#### 3.4.5.1.2.5 Osi pod $90^\circ$ na sjecištu dviju ravnina

##### 3.4.5.1.2.5.1 Fiksne osi

Kutnik sa prikladnom bazom je doveden u kontakt sa cilindrom koji predstavlja osi (Slika 81). Paralelnost između slobodne ruke i presjecišta je mjerena pomoću metode predložene u vezi sa mjerenjem paralelnosti (vidi 3.4.4.2.2).

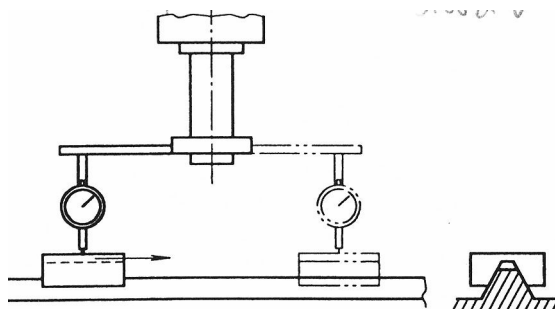


Slika 80: Kutnik u kontaktu s cilindrom

Slika 81: Kutnik u kontaktu s cilindrom

##### 3.4.5.1.2.5.2 Osi Rotacije

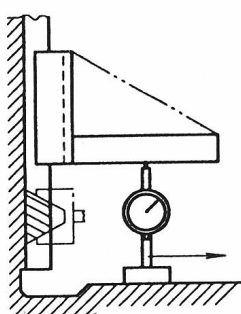
Mjerna ura je pričvršćena za ruku koja se drži za osovinu, dok je igla nasuprot bloka koji leži na sjecištu dviju ravnina površine. Osovina radi na pola okretaja i blok u obliku slova V je pomaknut tako da stavi iglu u kontakt sa istom točkom na bloku (Slika 82).



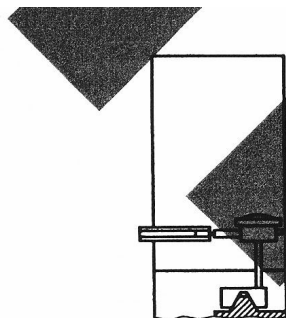
Slika 82: Prikaz mjerne ure pričvršćene za ruku koja se drži za osovinu

#### 3.4.5.1.2.6 Kada je sjecište dviju ravnina pod $90^\circ$ prema drugoj ravni

Kutnik (Slika 83) ili mjerna ura (Slika 84 i Slika 85), prikladno, opremljena je sa prikladnom bazom, dozvoljavajući mu da leži na sjecištu ravnina

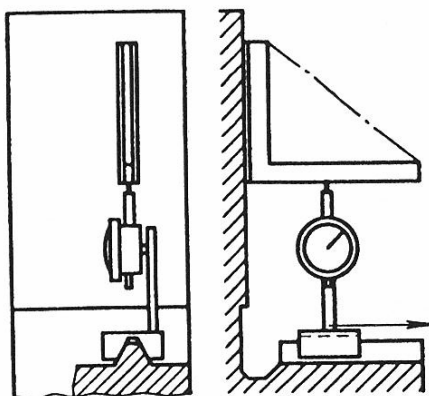


Slika 83: Kutnik s prikladnom bazom



Slika 84: Mjerna ura s prikladnom bazom

Paralelnost između njegove slobodne ruke i treće ravnine ili presjecišta može se mjeriti pomoću metode opisane u vezi sa mjerenjem paralelnosti (vidi 3.4.4.1.2.2 ili 3.4.4.1.2.6). Mjerenje će biti napravljeno što je dalje moguće u dvije okomite ravnine (vidi slike 86 i 87).



Slika 85: Mjerna ura s prikladnom bazom

#### 3.4.5.1.2.7 Kada dvije pravocrtne linije, svaka formirana presjecištem dviju ravnina, su pod $90^\circ$ jedna prema drugoj

Kutnik sa prikladnom bazom je položen na jedno od presjecišta. Paralelnost slobodne ruke prema drugoj pravocrtnoj liniji presjecišta provjerava se metodom opisanom u vezi sa mjerenjem paralelnosti (vidi 3.4.4.1.2.6).

**NAPOMENA 24** Ako je direktno mjerenje predmetnih ravnina i pravocrtnih linija teško zbog udaljenosti između njih, ili zbog interferencije između dijelova stroja, mjerenje se može napraviti u odnosu na referentnu ravninu, npr. pomoću libele.

### 3.4.5.1.3 Tolerancija

Tolerancija pravokutnosti može se dati na dva načina.

1) Kad se pravokutnost mjeri upotrebom referentnog kutnika, tolerancija pravokutnosti je dana slično kao i tolerancija paralelnosti.

tj. Tolerancija pravokutnosti: ... mm za bilo koju mjernu dužinu ... mm

2) Kad se pravokutnost koja se odnosi na os mjeri kao razlika očitavanja mjernih promjera.

tj. Tolerancija pravokutnosti: ... mm/ ... mm

Kada je odstupanje od pravokutnosti dozvoljeno samo u jednom smjeru, smjer će biti naznačen, npr. slobodni kraj osovine samo na strani stupa (odnosi se na površinu stola u slučaju vertikalne osovine).

### 3.4.5.2 Okomitost gibanja

#### 3.4.5.2.1 Definicija

Izraz 'okomitost gibanja' odnosi se, za alatne strojeve, za uzastopne pozicije na trajektoriji točke gibajućeg komada stroja u odnosu na:

- ravninu (oslonac ili vodilice)
- pravocrtnu liniju (os ili sjecište dviju ravnina)
- trajektorija točke drugog gibajućeg dijela

#### 3.4.5.2.2 Metode mjerenja

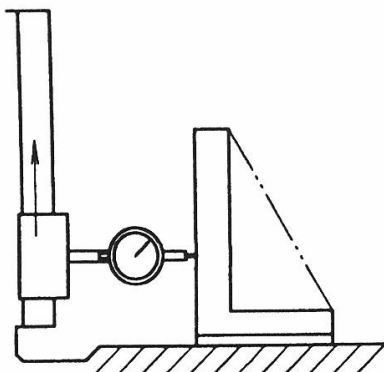
##### 3.4.5.2.2.1 Općenito

Mjerenje okomitog gibanja postaje mjerenje paralelnosti upotrebom kutnika prikladnog za dane uvjete (vidi 3.4.4.2).

Gibajući komad mora biti upravlján na uobičajeni način kako bi se prikazao efekt gibanja i greške u vodilicama.

##### 3.4.5.2.2.2 Okomitost između trajektorija točke i ravnine

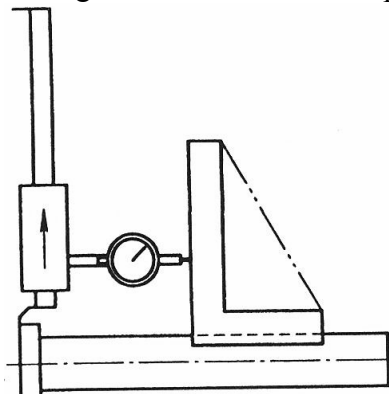
Kutnik je položen na ravninu (Slika 86). Paralelnost između gibanja i slobodnog kraka će se mjeriti u dva okomita smjera, u skladu sa 3.4.4.2.2.2.2.



Slika 86: Kutnik položen na ravninu

### 3.4.5.2.2.3 Trajektorija točke pod $90^\circ$ na os

Kutnik, sa prikladnom bazom, je položen na cilindar koji predstavlja os (Slika 87). Mjerenje paralelnosti između gibanja i slobodnog kraka kutnika će se napraviti u skladu sa 3.4.4.2.2.2.



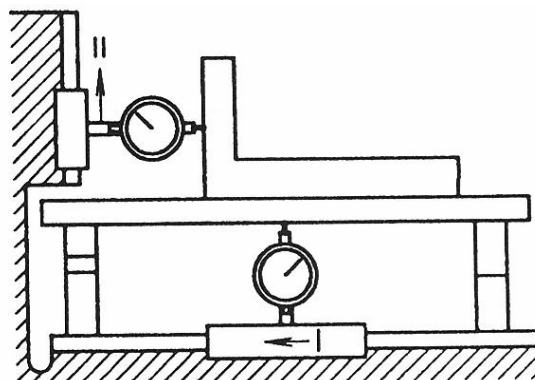
Slika 87: Kutnik položen na cilindar koji predstavlja os

Ako je os jedna od rotacija, osovina koja predstavlja os bit će postavljen u srednju poziciju gibanja kolebanja u mjernoj ravnini. U određenom slučaju vreteno stezne glave tokarilice sposobno je za primanje prednje ploče. Prvo, očitaj mjernu uru na točki prednje ploče koja je na promjeru paralelnom sa gibanjem. Drugo očitavanja će se napraviti na istoj točki nakon rotacije osovine za  $180^\circ$ . Algebarska sredina dva očitavanja daje odstupanje od pravokutnosti na mjerenoj dužini. Os se također može koristiti kao što naznačeno u 3.4.5.1.2.4.2, trajektorija je predstavljena pomoću lineala paralelnog sa bazom.

### 3.4.5.2.2.4 Dvije trajektorije okomite jedna na drugu

Dvije trajektorije se uspoređuju pomoću kutnika pogodno montiranih na blokove mjerača i lineala. Primjer sklopa mjernih uređaja je prikazano na slici 88.

Jedna ruka kutnika može se poravnati točno sa trajektorijom I pomoću mjerne ure, a mjerenje trajektorije II je u skladu sa 3.4.4.2.



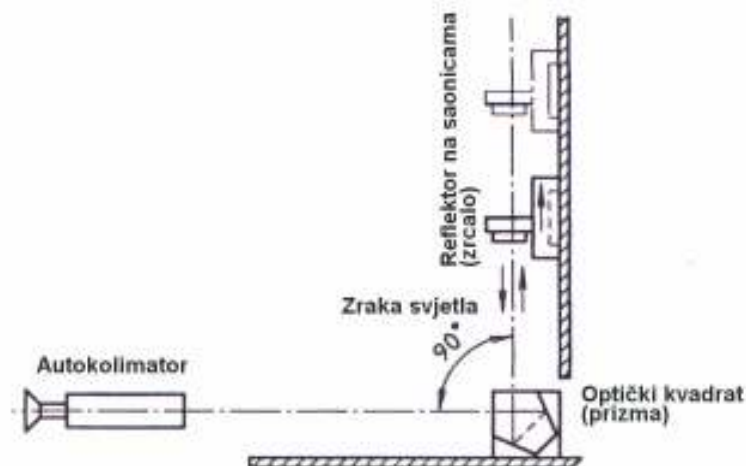
Slika 88: Sklop mjernih uređaja

Dio kutnika može se također postaviti paralelno sa trajektorijom I sa većom inklinacijom od tolerancije, kako bi dozvolili mjernoj uri da mjeri samo u jednom smjeru, eliminirajući njegov otpor.

U drugom slučaju, odstupanje od okomitosti će biti jednako razlici u opsegu očitavanja dvije mjerne ure za isti opseg mjerenja.

Izvijanje komponente izazvano od tereta potpore možda treba uzeti u razmatranje.

Ovo mjerenje može se također izvesti pomoću optičke metode .



Slika 89: Primjena optičke metode za ispitivanje okomitosti

### 3.4.5.2.3 Tolerancija

Tolerancija okomitosti danog kretanja je dozvoljena varijacija unutar date dužine (npr. 300 mm) najkraće udaljenosti između trajektorije točke na gibajućoj komponenti stroja i slobodnog dijela kutnika. Za metodu određivanja tolerancije, vidi 3.4.5.1.3.

## 3.4.6 Rotacija

Mjerenja povezana sa rotacijom odnose se na slijedeće točke:

- odstupanje od kružnosti, vidi 3.4.6.1;
- aksijalno klizanje, vidi 3.4.6.2;
- ekscentričnost, vidi 3.4.6.3.

### 3.4.6.1 Gibanje kolebanja

#### 3.4.6.1.1 Definicija

##### 3.4.6.1.1.1 Odstupanje od kružnosti

Odstupanje od idealne zaobljenosti je greška kružnog oblika komponente u ravnini okomitoj na svoje osi na danoj točki baze.

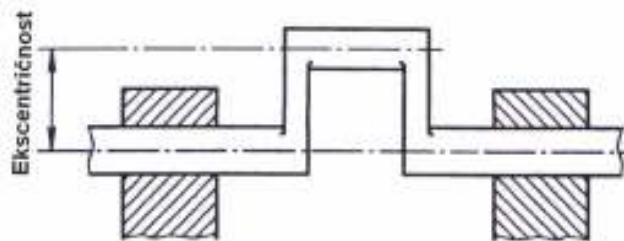
Za osovinu, vrijednost odstupanja od idealne kružnosti je dana kao razlika promjera opisanog kruga i najmanjeg mjerljivog promjera osovine.

Za rupu, dana je kao razlika promjera opisanog kruga i najmanjeg mjerljivog promjera rupe, svaki od njih mjeren u ravnini okomitoj na osi.

Sa običnim metodama mjerenja, ta definicija se ne može striktno primijeniti u praksi. Ali, kada se mjeri odstupanje od idealne zaobljenosti komponente, ovu definiciju bi trebalo imati na umu i korištenu metodu bi trebalo izabrati tako da su rezultati najbliže definiciji, koliko je to moguće

### 3.4.6.1.1.2 Ekscentričnost (Slika 90)

Udaljenost između dvije paralelne osi kada jedna rotira oko druge. (Ekscentričnost nije greška, nego dimenzija podvignuta tolerancijama, ne treba je miješati sa greškom nazvanom u Francuskom „excentrement“.)



Slika 90: Ekscentričnost

### 3.4.6.1.1.3 Radijalno skretanje osi na danoj točki

Kada se geometrijska os dijela ne podudara sa rotirajućom osi, udaljenost između te dvije osi se zove radijalno skretanje (Slika 91).

### 3.4.6.1.1.4 Odstupanje od kružnosti komponenata na zadanom presjeku

Ukoliko nije uzeto u obzir odstupanje od idealne kružnosti, kružno gibanje je dvostruko radijalno skretanje osi na zadanom dijelu (Slika 91).

Općenito, izmjereno odstupanje od kružnosti je rezultat:

- radijalnog skretanja osi,
- odstupanja od kružnosti, i
- grešaka radijalnog gibanja osi rotacije (greške ležaja).

Važno je zabilježiti da u geometrijskom ispitivanju alatnih strojeva radijalno skretanje osi se mjeri promatranjem odstupanja od kružnosti djela montiranog na osi. Da bi se izbjegla konfuzija u umovima zaposlenika koji su zaduženi za ispitivanje strojeva i da bi se eliminirao bilo kakav rizik od grešaka, samo termin odstupanje od kružnosti se koristi u ovom dijelu ISO 230 i navedene tolerancije koje će se dati su se primijenile sistematski na to odstupanje od kružnosti tako da se očitavanje mjernih uređaja neće dijeliti na dva. Predložene mjerne metode uzimaju ovu bilješku u obzir.

**NAPOMENA 25** Sa valjkastim ležajevima, valjci i kavez rotiraju jednom za više od dvije rotacije osovine i uobičajeno je da se kolebanje gibanja osovine ponavlja ciklički svakih nekoliko rotacija. Kolebanje gibanja bi stoga trebalo mjeriti svakih nekoliko rotacija, ali najmanje dvije rotacije.

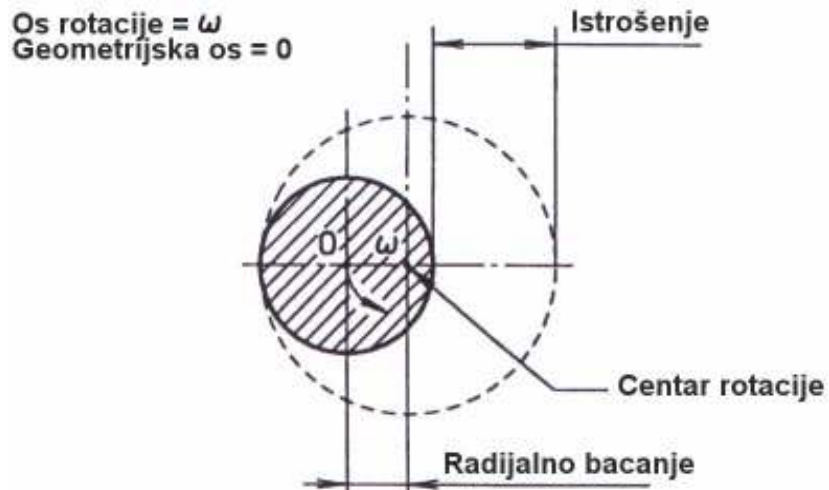
S mjerne točke gledanja, kaže se da ležaj cilindrične ili konične površine ima os potpuno podudarnu sa osi rotacija ukoliko, ukoliko na mjerenju duž date dužine (nakon fiksiranja ispitne osovine na taj ležaj, ako je potrebno), kolebanje gibanja kod svake točke mjerenja ne prelazi dozvoljenu vrijednost.



### 3.4.6.1.2 Metode mjerenja

#### 3.4.6.1.2.1 Mjere opreza prije ispitivanja (vidi 3.2.22.)

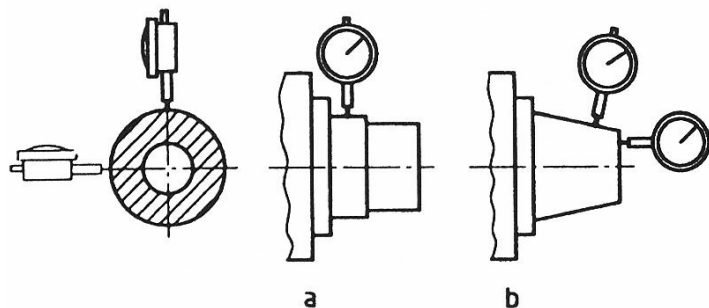
Prije izvršenja ispitivanja, osovina će se rotirati dovoljno da osigura da tanki sloj maziva neće varirati tijekom ispitivanja i da se postignuta temperatura može smatrati normalnom temperaturom rada stroja.



Slika 91: Prikaz radijalnog bacanja

#### 3.4.6.1.2.2 Vanjska površina

Ticalo mjerne ure je dovedeno u kontakt sa zaobljenom površinom koja će se mjeriti i očitanjem uređaja koje promatramo dok se osovina lagano rotira (Slika 92).



Slika 92: Mjerenje osovine pri rotiranju

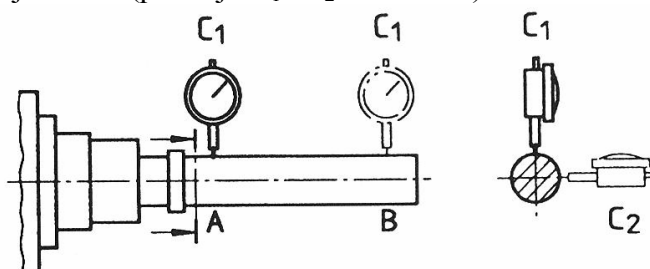
Na koničnoj površini ticalo je postavljeno pod pravim kutom prema generirajućoj liniji, a utjecaj konusa na rezultat će se izračunati. Nadalje, promjer provjeravanog kruga će varirati ukoliko postoji aksijalni pomak u osovini tijekom rotacije. To uzrokuje da se odstupanje od kružnosti čini većim nego stvarno jest. Dakle konična površina će se koristiti samo za mjerenje odstupanja od kružnosti ako konus nije strm. Aksijalno iskliznuće (vidi 3.4.6.2.1.2) osovine je u bilo kojem slučaju mjereno prije, i njegov moguć efekt na mjerenje se izračunava prema kutu konusa.

Na mjerene rezultate može utjecati bočni pritisak na ticalu mjerne ure. Kako bi se izbjegle greške, igla će se striktno poravnati sa osi rotirajuće površine.

### 3.4.6.1.2.3 Unutrašnja površina

Ako mjerna ura ne može biti direktno korištena na cilindričnom ili koničnom provrtu, ispitni trn se montira u provrt. Projektirani cilindrični dio te osovine će se koristiti za ispitivanje, u skladu sa prijašnjom točkom. Ali, ako se ispitivanje radi samo na jednom dijelu osovine, odrediti će se pozicija samo jednog kruga mjerenja u odnosu na os. Kako os osovine može prelaziti os rotacije u mjerenoj ravnini, mjerenje bi se trebalo napraviti u dva dijela A i B koji su udaljeni za specificiranu udaljenost (Slika 93).

Za slučaj, jedno mjerenje bi se trebalo napraviti blizu uz kućište osovine, a drugo na specificiranoj udaljenosti od njega. Zbog potencijalnog problema gniježdenja pri stavljanju osovine u provrt, posebno sa konusnim provrtima, ta operacija će se ponavljati najmanje četiri puta, s tim da se testna osovina okreće za  $90^\circ$  u odnosu na vreteno. Uzet će se prosjek očitavanja. U svakom slučaju, odstupanje od kružnosti će se mjeriti u okomitoj aksijalnoj ravnini i tada u horizontalnoj aksijalnoj ravnini (pozicije  $C_1$  i  $C_2$  na slici 94).



**Slika 93: Ispitivanje kružnosti u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini**

Gornje metode zahtijevaju sljedeće komentare:

Trebalo bi poduzeti korake kako bi se minimizirali učinci tangencijalnog otpora na igli mjernog uređaja. Kada se koristi ispitni trn, točan oblik rupe nije otkriven.

Provjera odstupanja od kružnosti osovine prilikom obrade i ispitivanje cilindričnog radnog komada uzet će u razmatranje samo greške u ležajevima osovine. Taj praktični obrtni ispit ne daje informaciju o točnom obliku cilindričnog ili konusnog provrta, ili o točnom položaju provrta u odnosu na os rotacije.

Gornja metoda primjenjuje se samo na osovine sa kugličnim i valjkastim ležajevima. Osovine koje se automatski centriraju tijekom rotacije (npr. pomoću hidrauličkog tlaka) mogu se testirati samo pri pogonu na normalnim brzinama. U tom slučaju, koristit će se bezkontaktni uređaji, npr. kapacitativni primač, elektromagnetski primač ili bilo koji drugi prikladni uređaj.

### 3.4.6.1.3 Tolerancije

Tolerancija pri odstupanju od kružnosti je dopušteno odstupanje u trajektoriji točke na dijelu rotacijske površine. Uključuje greške u obliku rotacijske površine, gibanje i manjak paralelnosti osi te površine u odnosu na os rotacije (greška pozicije) i gibanje osi rotacije ako površine ili provrti ležajeva nisu točno okrugli (greške u ležajevima). Za površine sa malom dimenzijom u smjeru njihovih osi (npr. nos osovine brusilice), dovoljno je imati jednu mjernu ravninu, ali za duže površine mjerne ravnine će se specificirati.

Kada se želi specificirati mjerenje gibanja kolebanja samo u danj ravnini ili na danj dužini, ta ravnina ili ta dužina će biti napomenuta.

### 3.4.6.2 Periodičko aksijalno klizanje

#### 3.4.6.2.1 Definicija

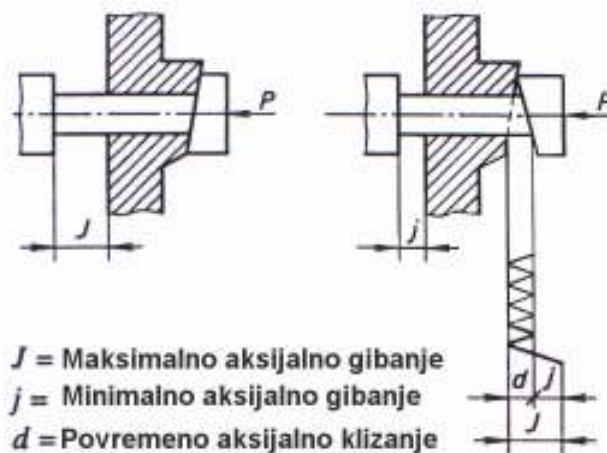
##### 3.4.6.2.1.1 Minimalna vrijednost aksijalnog gibanja

Minimalna vrijednost aksijalnog gibanja je najmanja vrijednost mogućeg aksijalnog gibanja rotirajućeg komada, mjerena na miru na svakoj od nekoliko pozicija oko osi (Slika 94).

##### 3.4.6.2.1.2 Periodičko aksijalno klizanje

Veličina recipročnog gibanja uzduž osi rotirajućeg dijela kada trn rotira, eliminirajući utjecaj minimalnog aksijalnog gibanja zbog aksijalne sile  $P$  u danom smjeru (Slika 94).

Kada aksijalno iskliznuće rotirajućeg dijela ostaje unutar zone tolerancije, taj se dio može smatrati fiksnim u aksijalnom smjeru.



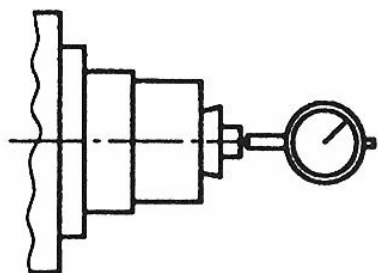
Slika 94: Prikaz minimalnog aksijalnog gibanja

#### 3.4.6.2.2 Metode mjerenja

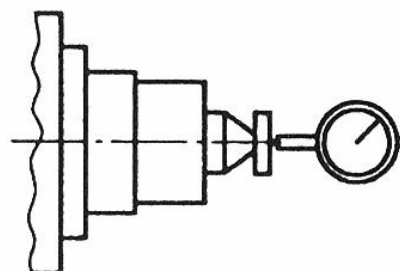
##### 3.4.6.2.2.1 Općenito

Radi eliminacije efekta gibanja u aksijalnom ležaju, lagana sila će se primijeniti na osovinu u smjeru mjerenja. Ticalo mjerne ure trebalo bi se koristiti u centru rotacije na prednjem licu. Očitavanja se uzimaju dok se osovina kontinuirano okreće na niskoj brzini, dok je sila u međuvremenu podržavana u napomenutom smjeru.

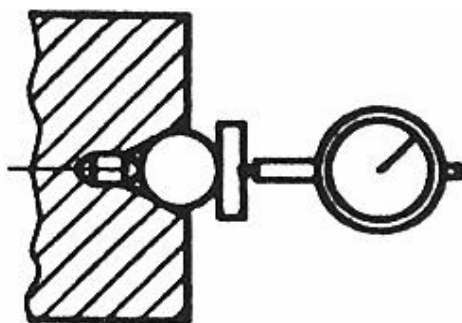
Ako je osovina šuplja, potrebno je postaviti kratku ispitnu osovinu sa licem ravnine okomitim na os prema kojoj se igla sa zaobljenim vrhom podupire (Slika 95). Alternativno ispitna osovina sa zaobljenim licem sa ticalom koje ima ravni vrh (Slika 96). Ako osovina ima centar, potrebno je postaviti čeličnu kuglu nasuprot za nastanak ravnog kontakta (Slika 97).



Slika 95: Prikaz ispitne osovine okomite na os mjerne ure



Slika 96: Prikaz ispitne osovine s zaobljenim dijelom



Slika 97: Postavljanje čelične kugle za ostvarenje kontakta

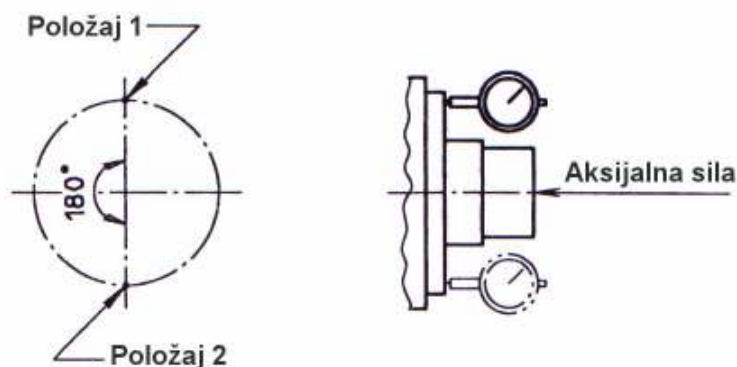
#### 3.4.6.2.2.2 Primjene

Periodičko aksijalno klizanje može se mjeriti sa napravom koja dozvoljava primjenu sile duž osi i primjenu mjerne ure na istoj osi.

Za vijak za transformiranje rotacionog u linearno gibanje, aksijalna sila se može primijeniti pomoću gibanja klizača kada je matica povezana. Horizontalno rotirajuća prednja strana ploče su dovoljno podupriete na aksijalnim ležajevima svojom težinom. Ali, kada se koriste predopterečeni ležajevi, nije potrebno koristiti silu na osovini.

Nije moguće staviti mjernu uru na os, vrijednost aksijalnog klizanja može se dobiti korištenjem dvije mjerne ure (Slika 98). Očitavanja se uzimaju na različitim kutnim pozicijama. Aksijalno klizanje je jednako razlici između najveće i najmanje srednje vrijednosti.

NAPOMENA26 Ako je aksijalni ležaj kuglični ili valjkasti, mjerenje je potrebno napraviti kroz najmanje dva okretaja. Potrebno je napraviti korake kako bi se minimizirali efekti tangencijalnog otpora na ticalu mjernog uređaja.



Slika 98: Korištenje dvije mjerne ure

#### 3.4.6.2.3 Tolerancije

Tolerancija aksijalnog klizanja definira granice aksijalnog klizanja osovine tijekom spore rotacije sa laganom aksijalnom silom. Trebalo bi naznačiti smjer te sile (npr. primjenom lagane sile prema kućištu). Može biti potrebno napraviti dva mjerenja, primjenom sile prvo u jednom smjeru, a zatim u suprotnom smjeru; u tom slučaju, različite tolerancije mogu biti navedene za dva smjera.

### 3.4.6.3 Pomicanje osi

#### 3.4.6.3.1 Definicija

Pomicanje osi ravnine površine koja rotira oko osi:

##### a) Pomicanje osi površina

Pomicanje osi je greška ravnine površina kada rotira oko osi, ne ostaje u ravnini okomitoj na os. Pomicanje osi je dana od udaljenosti  $h$  razdvajajući dvije ravnine okomite na os, između kojih se točke površine pomiču tijekom rotacije.

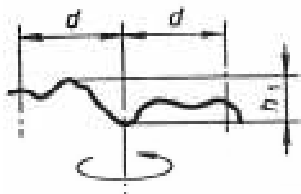
##### b) Pomicanje osi površine na udaljenosti $d$ od osi

To je prezentirano od udaljenosti  $h$  koja razdvaja dvije ravnine okomite na tu os, između kojih se dio površine ocrtava pokretima okretnog cilindra, čiji promjer je  $2d$  i koji ima, kao i njegova os simetrije teoretsku os rotacije površine.

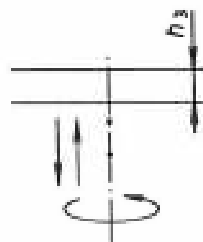
Pomicanje osi je rezultat raznih grešaka površine i osi rotacije ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ) (Slika 99, Slika 100, Slika 101):

- Površina koja nije ravna;
- Površina i osi rotacije koje nisu okomite;
- Periodično osno pomicanje osi

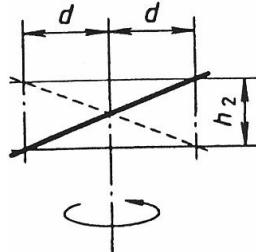
NAPOMENA<sup>27</sup> Kada promatrana ravnina ima geometrijsku os (Dodatak, Slika 102) koja ne koincidira sa osi rotacije, rezultirajuće radijalno bacanje daje pomicanje osi. Ta greška je posljedica nedostatka okomitosti lica na os rotacije.



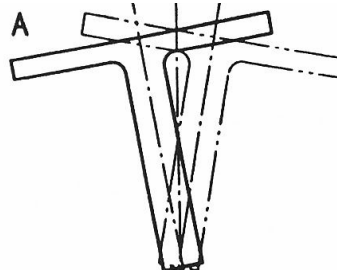
Slika 99: Prikaz grešaka na površini



Slika 100: Prikaz pomicanja osi



Slika 101: Greške na osi rotacije



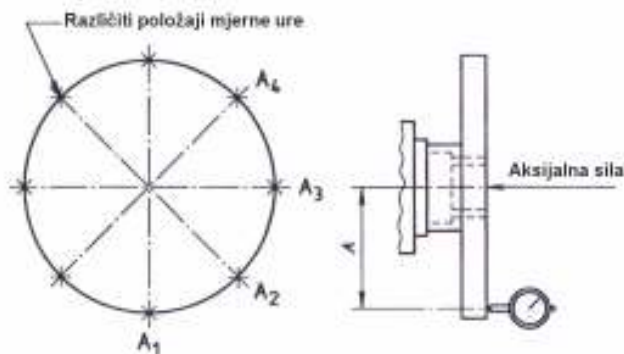
Slika 102: Radijalno bacanje

#### 3.4.6.3.2 Metode mjerenja

Ispitivanje pomicanja osi povezana sa rotacijom prednje ploče. Objekt je tu da potvrdi da su sve točke u istom krugu na prednjem dijelu u istoj ravnini okomitoj na osi rotacije i da osna pozicija te ravnine ne varira tijekom rotacije osovine. Pošto pomicanje osi ima sklonost daljnjem povećanju svoje udaljenosti od osi rotacije mjerenje će se napraviti na opsegu koji odgovara točkama najudaljenijim od osi.

Mjerna ura će se primijeniti na zadanoj udaljenosti  $A$  od centra i okomito na lice (Slika 103), i postavljen sukcesivno na seriju točaka koje se nalaze oko periferije. Razlika između maksimalnih i minimalnih očitavanja će biti zabilježena na svakoj od tih točaka. Najveća razlika će biti pomicanje osi. Osovina bi trebala raditi kontinuirane okretaje na sporoj brzini i trebala bi primiti laganu krajnju-silu kako bi eliminirali efekt gibanja u aksijalnim ležajevima. Horizontalna lica ploča su, kao što je već navedeno (vidi 3.4.6.2.2), dovoljno podupriete na svojim aksijalnim ležajevima svojom vlastitom težinom.

Smjer u kojem se primjenjuje laganu silu na osovinu tijekom ispitivanja bi trebala biti specificirana (npr. primjena lagane sile na kućište).



**Slika 103: Položaji mjerne ure**

**NAPOMENA 28** Ukoliko se želi analizirati uzrok pomicanja osi, greške površine i one od osi bi se trebale mjeriti odvojeno. Aksijalno pomicanje osi bi u svakom slučaju trebalo biti mjereno. Ukoliko je prednja površina ploča obrađivana nakon montiranja (npr. obrađeno na samom alatnom stroju kojem ta prednja površina ploče pripada), mjerna ura može ostati na nuli kada zauzima mjesto alata. Namještanje igle na  $180^\circ$  od točno te pozicije će dati pomicanje osi  $h$ , čija vrijednost je dvostruka aksijalnom pomicanju.

### 3.4.6.3.3 Tolerancija

Tolerancija koja je mjerena u vezi sa ravninom okomitom na rotirajuću os, predstavlja maksimalno dozvoljeno odstupanje na svaku točku svih trajektorija svih točaka na zadanom opsegu površine koja će se mjeriti. Uključuje greške oblika lica, kuta trna u odnosu na os rotacije, radijalno bacanje i periodičko aksijalno klizanje osovine. Međutim, ova tolerancija ne uključuje minimalno osno gibanje, rotirajuće komponente (vidi sliku 94 i 99 do 103).

### 3.5 Specijalna ispitivanja

#### 3.5.1 Podjela

##### 3.5.1.1 Definicije grešaka

Ova klauzula se bavi definicijama grešaka skala, diobenih ploča, navojnih vijaka itd. Općenito, slijedeće greške se mogu prepoznati:

- a) pojedinačne greške podjele;
- b) uzastopne greške podjele;
- c) lokalne greške podjele;
- d) kumulativne greške (ili koraci u zadanom intervalu);
- e) ukupne greške podjele.

##### 3.5.1.1.1 Pojedinačne greške podjele

Algebarska razlika između stvarne vrijednosti i nominalne vrijednosti podjele.

PRIMJER

( $ab - a' b'$ ) za drugu podjelu (Slika 104) (podjela se razmatra kao udaljenost između dvije dosljedne linije; nekoliko podjela tvori interval.

##### 3.5.1.1.2 Uzastopne greške podjele

Stvarno odstupanje između dvije uzastopne podjele je jednako algebarskoj razlici individualnih grešaka dvije podjele.

PRIMJER

( $ab - a' b'$ ) - ( $bc - b' c'$ ) =  $ab - bc$  za drugu podjelu (Slika 104), relativno prema trećoj podjeli.

##### 3.5.1.1.3 Lokalne greške podjele

Zbroj vrijednosti (apsolutne vrijednosti) najvećih individualnih pozitivnih i negativnih grešaka u intervalu.

PRIMJER

Amplituda MN u intervalu 0 do 6. (Slika 105)

##### 3.5.1.1.4 Kumulativne greške podjele

Razlika između zbroja  $k$  podjele i teoretske nominalne vrijednosti tog zbroja. Koraci u serijama mogu biti određeni izborom algebarskog zbroja individualnih grešaka svake podjele ili usporedbom stvarne pozicije kazaljke mjernog uređaja s pozicijom koju bi ona imala, kada bi podjela bila bez grešaka (Slika 104).

### 3.5.1.1.5 Ukupne greške podjele

Zbroj vrijednosti (apsolutnih vrijednosti) najvećih pozitivnih i negativnih koraka koji su uključeni u zadani interval. Taj interval može odgovarati cjelini skale, npr.  $360^\circ$ , amplituda RS. (Slika 107)

### 3.5.1.1.6 Grafički prikaz tih grešaka

Uzmimo progresivnu skalu, koja daje, sa teoretskom skalom, naznačene korake (Slika 104):

1) Ukoliko je dijagram nacrtan (Slika 105) prikazujući kao apscisu seriju podjela i kao ordinatu individualne greške, maksimalna amplituda MN predstavlja lokalne greške podjele u intervalu 0 do 6. za cjelinu serija skale ova lokalna greška je prikazana kao PH.

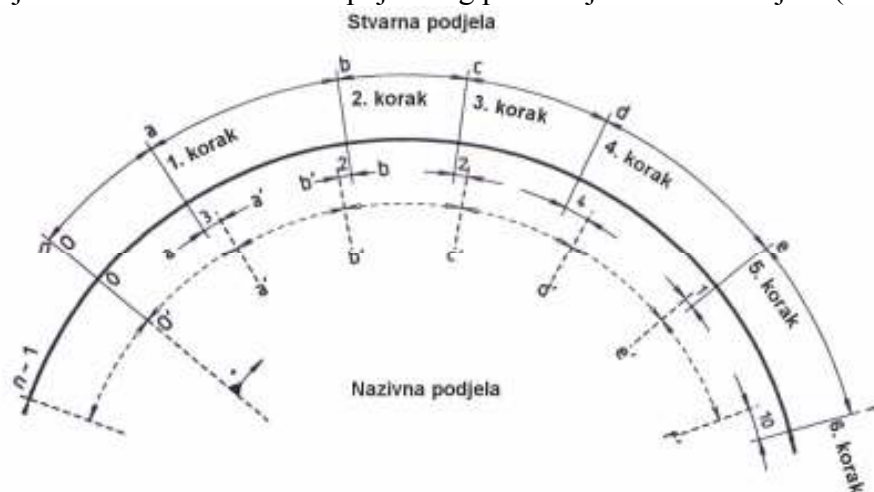
2) Ukoliko je dijagram nacrtan prikazujući apscisu kao seriju podjele i ordinatu kao sukcesivne greške podjele (Slika 106), ovaj dijagram će dopustiti da se nađu pozicije najvećih grešaka u zadanom intervalu.

3) Ukoliko je dijagram nacrtan prikazujući apscisu kao seriju podjela i ordinatu kao poziciju svake podjele povezane sa svojom teoretskom pozicijom (Slika 107), maksimalna amplituda RS, prikazana na dijagramu, prikazuje ukupne greške podjele.

Treba biti zabilježeno da Slika 105 se može utvrditi iz Slika 107 kako slijedi:

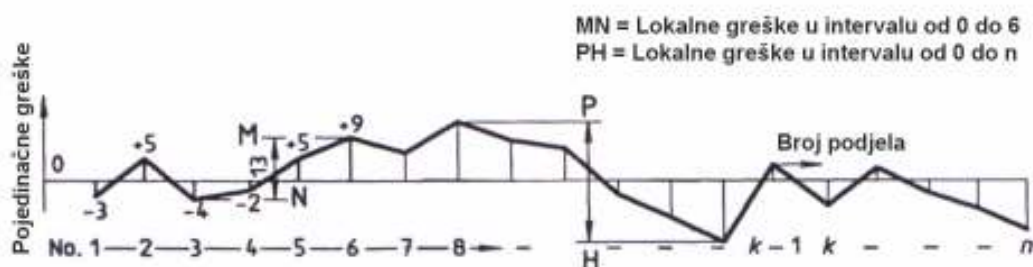
Ordinata koraka  $k$ , Slika 105 je jednaka udaljenosti između ordinata koraka  $k$  i  $k - 1$  od Slika 107.

4) Individualna greška  $ab - a'b'$  može se staviti u oblik  $(aa' - a'b) - (a'b + bb')$  ili kao  $(b'b - a'a)$ ; izraz predstavlja stvarnu razliku između pojedinih para linija na danom dijelu (Slika 104).



Slika 104: Nazivna i stvarna podjela skale

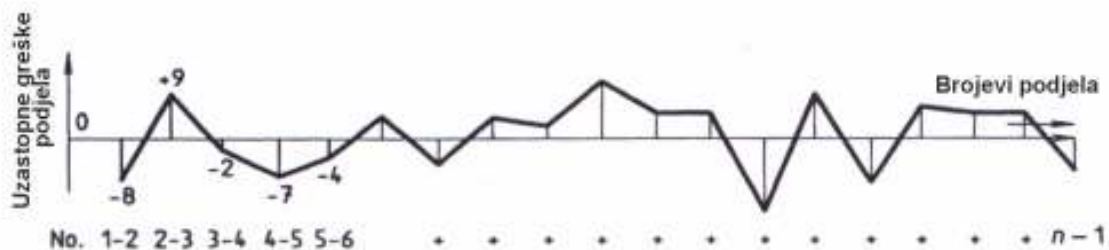
### Određivanje lokalne greške podjele





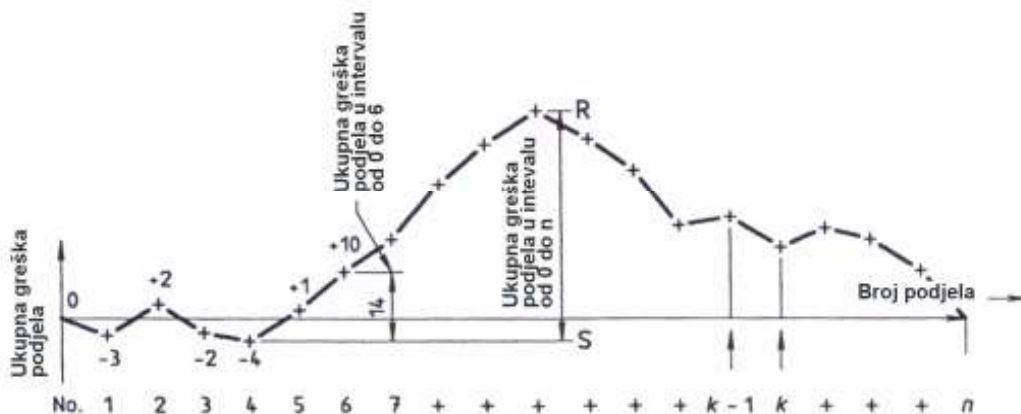
Slika 105: Lokalne greške podjele

Uzastopne greške podjela



Slika 106: Uzastopne greške podjele

Određivanje ukupne greške podjela



Slika 107: Ukupne greške podjele

### 3.5.1.2 Metode mjerenja

Kako mjerenje grešaka podijele obično zahtijeva specijalne uređaje, potrebno je napraviti vezu na tehničke bilješke koje se bave tim predmetom.

### 3.5.1.3 Tolerancija

Obično, nije potrebno odrediti tolerancije za svaku od pet grešaka koje su definirane. Dakle za linearnu podjelu, tolerancija je uvijek naznačena za kumulativnu grešku (ili korak) u danom intervalu, npr. 300 mm; za cirkularnu podjelu, obično se daju individualna i totalna greška.

#### NAPOMENA29

Kada se ispituje alatni stroj, greške podijele inače uključuju greške uzrokovane kontrolnim uređajima korištenim u podijeli. Individualne vrijednosti djelomične greške (tj. greške podijele, necentrirana pozicija skale u odnosu na os rotacije, gibanje u komponentama, itd.) tvore, kada se uzmu zajedno, totalnu grešku. Te djelomične greške su od malog značaja korisniku alatnog stroja.

#### NAPOMENA30

Pažnja se skreće na činjenicu da točnost dana od strane kružnog mehanizma dijeljenja, osim od svojstvene točnosti razdjelne ploče, je predmet odstupanja koncentričnosti montiranja na os osovine stroja.

### **3.5.2 Određivanje odstupanja linearnog pozicioniranja komponenti sa navojnim vretenom**

Kako bi se odredila ta odstupanja, može biti potrebno provjeriti geometrijske aspekte svih elemenata koji mogu igrati ulogu u tim odstupanjima, a posebno na vijku koji služi za transformiranje rotacionog u linearno gibanje.

Tipično, bilo koja promatrana grupa grešaka se sastoji od dvije komponente, periodičke greške i progresivne greške, ignorirajući efekte greške zbog ponavljanja i vremena. Periodička greška se može smatrati kao bilo koja neispravna komponenta koja se ponavlja najmanje jednom uzduž osi alatnog stroja, a progresivna greška kao neperiodička greška. Posebno sa uređajima koji su locirani neposredno izvan vijka koji služi za transformiranje rotacionog u linearno gibanje, periodička greška može puno doprinijeti veličini totalne greške.

Točnost pomaka vijka koji služi za transformiranje rotacionog u linearno gibanje je samo jedan od mnogih faktora koji kontroliraju točnost pomaka. Gibanja u pojedinim komponentama i deformacije mogu biti važne. Moguće je povezati za svaki od faktora predmetne individualne tolerancije na takav način da sveukupna tolerancija odgovara očekivanoj točnosti uređaja. I stoga u ispitivanju alatnog stroja, potrebno je odrediti samo odstupanje komponente sa vijčanim pogonom upotrebom geometrijskih ili praktičnih ispitivanja. Za geometrijska ispitivanja, postoji velik broj metoda koje se mogu koristiti. Ove uključuju korištenje glavnog vijka i mjerne ure, baždarenih blokova ili laserskih interferometara.

Za ispitivanje obrade, radni komad se obrađuje i mjere se date dužine na njemu; npr. u specifičnom slučaju vijka koji služi za transformiranje rotacionog u linearno gibanje tokarilice, ispitivanje obrade se može izvesti postavljanjem radnog komada na stroj na bilo kojoj točki uzduž vodilica i rotiranjem vijka koji služi za transformiranje rotacionog u linearno gibanje preko maksimalne dužine od 300 mm. Pomak dobiven na radnom komadu će se provjeriti, npr. pomoću mjernog stroja.

### **3.5.3 Kutni pomak**

#### **3.5.3.1 Definicija**

Kutni pomak gibajuće komponente je definiran pomoću kuta pomaknuća i dozvoljen od gibanja koje može postojati u zakočenom sustavu kada su komponente zaključane.

#### **3.5.3.2 Metode mjerenja (ispitivanje uređaja/komponente za podjelu)**

Ovaj ispit se može napraviti fiksiranjem poluge dovoljne dužine okomito na os rotacije kako bi se utjecalo na mjerenje na poznatoj udaljenosti na uređaj/komponentu za podjelu. Na toj udaljenosti, mjerna ura je tako montirana da je igla nasuprot poluge. Moment je nametnut na uređaj za podjelu u jednom smjeru, pa u drugom smjeru, i razlika se očitava na mjerачu sa okruglom glavom. Vrijednost momenta je potrebno tako izabrati da ne dodamo nikakvu značajnu grešku zbog deformacije uređaja/komponente za podjelu.

#### **3.5.3.3 Tolerancija**

Tolerancija kutnog pomaka je maksimalno dozvoljeni kutni pomak, izražen kao kut ili kao tangenta kuta.

### 3.5.4 Ponavljanje uređaja sa kutnim podjelama

#### 3.5.4.1 Definicija

Ponavljanje kutnih podjela je definirano kao maksimalna razlika (opseg) kutnog pomaka koji rezultira od serije ispitivanja kada se približavamo bilo kojoj kutnoj ciljanoj poziciji pod istim uvjetima smjera i brzine prilaska (gdje je primjenljivo, stezanje će se izvršiti na kraju svakog prilaska i kutni pomak će biti uključen).

Za ponovljivost, konstantno numeričko kontrolirano kutno pozicioniranje, vidi ISO 230-2.

#### 3.5.4.2 Metode mjerenja

Ispitivanje se može napraviti na isti način kao i ispitivanje za kutni pomak, sa polugom i mjernom urom. Za danu indeksiranu poziciju, gibajuća komponenta će biti rotirana kroz jedan puni okretaj. Maksimalna razlika između očitavanja napravljenih između uzastopnih zaključavanja predstavlja ponavljanje koje odgovara toj poziciji. Mjerenja će biti ponovljena kod svake podjele pozicije.

#### 3.5.4.3 Tolerancija

Tolerancija ponavljanja je dozvoljen opseg odstupanja mjerenih kutnih odstupanja, prikazanih kao kut ili kao tangenta tog kuta. On uključuje toleranciju kutnog gibanja (ustvari, tolerancija ponavljanja ne može biti fiksirana nezavisno od tolerancije kutnog gibanja).

### 3.5.5 Sjecište osi

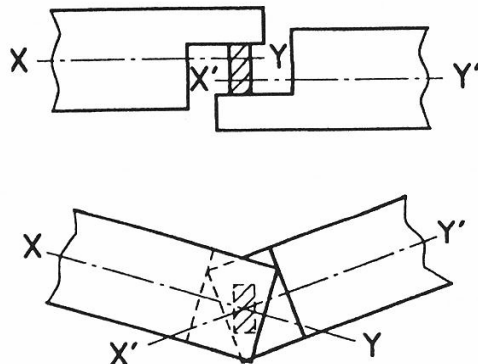
#### 3.5.5.1 Definicija

Dvije ne paralelne osi su postavljene da se sijeku kada najveća udaljenost između njih leži unutar specificirane tolerancije.

#### 3.5.5.2 Metode mjerenja

##### 3.5.5.2.1 Direktno mjerenje

Točka sjecišta dvije neparalelne osi može biti određena pomoću mjerenja napravljenim između osovina koje predstavljaju te osi. Metoda je ista kao ona za provjeru ekvidistance dviju osi sa dodatnom ravninom (3.4.4.3.2.1). Ova provjera je jednostavnija ukoliko se osovine zamijene dvjema odgovarajuće obrađenim šipkama, sa ravnim licem u ravnini paralelnoj njihovoj osi. Mjerenja se rade između dva ravna lica da bi se odredilo odstupanje sjecišta (vidi sliku 108).



Slika 108: Prikaz odstupanja sjecišta

### 3.5.5.2 Indirektno mjerenje

Indirektno mjerenje se može napraviti koristeći zasebnu referentnu ravninu, npr. površinu ploče koja je postavljena paralelno na dvije osi. Nezavisna mjerenja se rade od referentne ravnine do svake osi i uspoređuju.

### 3.5.5.3 Tolerancija

Udaljenost između dvije osi koje se sijeku, kada nije važno da os 1 prelazi prije, ispred ili iza osi dva je dana kako slijedi:

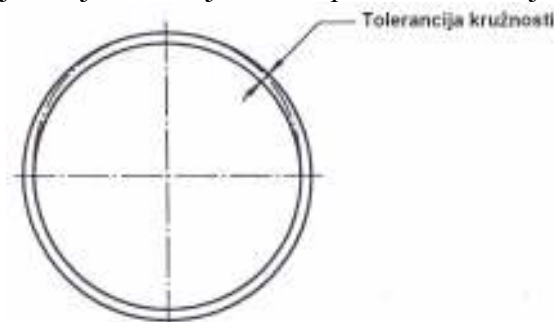
Udaljenost osi 1 do osi 2:  $\pm \dots \dots$  mm

U ostalim slučajevima kada tolerancija ovisi o uvjetima izvođenja, navedeno je kao:  $\dots$  mm milimetri kada os 1 treba biti viša od osi 2.

## 3.5.6 Kružnost

### 3.5.6.1 Definicija

Za liniju smještenu u ravnini kaže se da je kružna kada su sve njezine točke sadržane unutar dva koncentrična kruga čija radijalna udaljenost ne prelazi danu vrijednost.



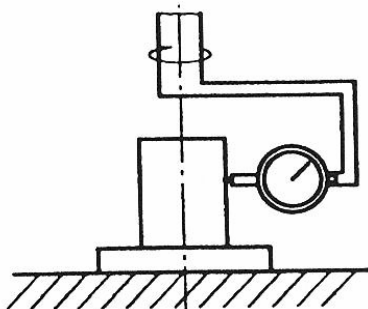
Slika 109: Tolerancija kružnosti

Kružnost se može odnositi ili na oblik ispitnog komada ili na oblik putanje opisane od strane gibajuće komponente.

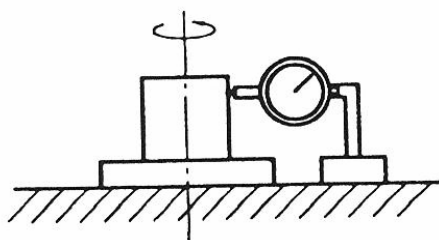
### 3.5.6.2 Metode mjerenja na ispitnim komadima

#### 3.5.6.2.1 Mjerni uređaj za kružnost sa rotirajućim primateljem ili rotirajućim stolom

U oba slučaja ispitni komad je centriran na stol (male ekscentričnosti mogu biti kompenzirane). U prvom slučaju uređaj rotira oko ispitnog komada (Slika 110), dok u drugom stol rotira (Slika 111). Polarni dijagram je iscrtan iz kojeg se određuje kružnost.



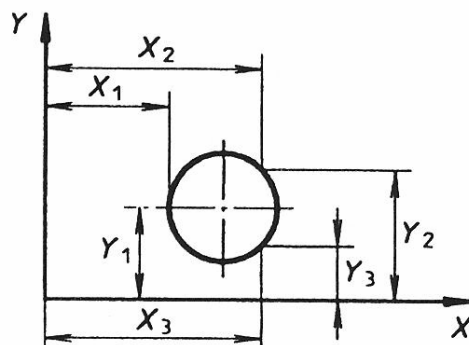
Slika 110: Uređaj rotira oko komada



Slika 111: Stol s komadom rotira

### 3.5.6.2.2 Koordinatni mjerni uređaj

Uređaj koji se kreće duž referentne kružnice utvrđuje poziciju svake točke u obliku  $X$  i  $Y$  koordinata (Slika 112). Iz tih podataka utvrđuje se kružni profil i kružna odstupanja.



Slika 112: Koordinatni mjerni uređaj

### 3.5.6.2.3 Prikaz profila

Profil koji će se mjeriti je prikazan na zaslon da proizvede sliku opsega (Slika 113). Dva koncentrična kruga predstavljaju zonu tolerancije i odstupanja kružnosti.

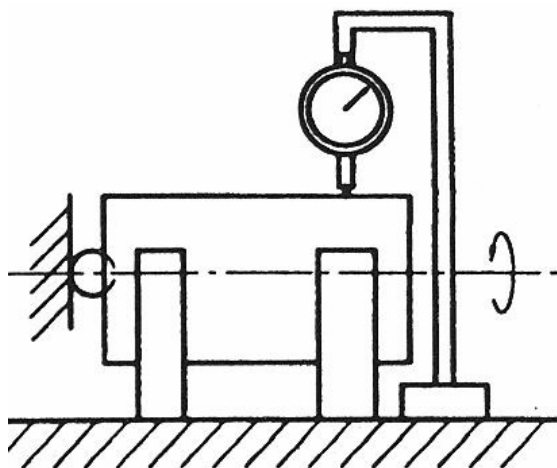
NAPOMENA 31 Ta metoda je limitirana na manji ispitni komad od veličine prikaza.



Slika 113: Prikaz profila

### 3.5.6.2.4 Metoda prizmi

Ispitni komad je potpornut na dve prizme u obliku slova V (preporučljivo sa uključenim kutom od  $108^\circ$ ). Ispitni komad se rotira i odstupanje kružnosti se mjeri sa brojčanim indikatorom (Slika 114).



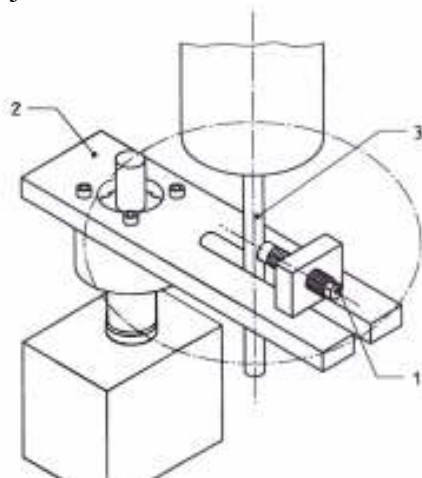
Slika 114: Odstupanje kružnosti mjereno brojčanim indikatorom

### 3.5.6.3 Mjerenja numerički upravljanih (NC) kružnih pokreta

Na kružne pokrete može utjecati primijenjena brzina uzimanja podataka. Rezultati se mogu usporediti sa rezultatima dobivenim na obrađenim dijelovima, ukoliko su promjer i brzina uzimanja podataka iste za obradu i za direktno mjerenje kružnog pokreta.

#### 3.5.6.3.1 Rotirajuće jednodimenzionalno ticalo

Jednodimenzionalna proba, npr. elektronička proba je pokretana od strane NC stroja duž kružne putanje. Ticalo je rotirano od strane posebnog kružnog fiksatora i mjeri pomicanje povezano sa ispitnom osovinom (Slika 115) ili okruglog člana (Slika 117) ili meti fiksiranih na posebnom kružnom fiksatoru 2 i rotiranih u spoju sa ispitivačem (Slika 116). Signal ispitivača je iscrtan na kružnom dijagramu (cirkularni dijagram je prikazan na slici 109). Kružni dijagram može biti produciran, npr. sinkroniziranim polarnim ploterom, računalnom obradom ili korištenjem dodatnog obrtnog rješavača na kružnom fiksatoru i polarnom ploteru.



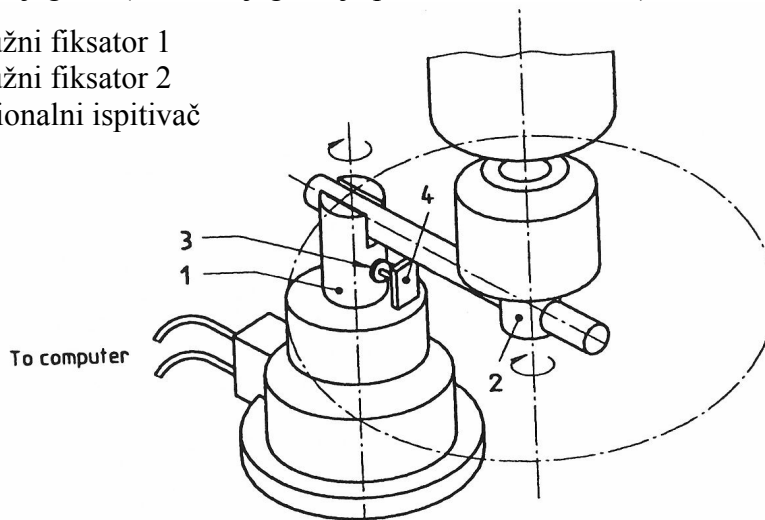
1. jednodimenzionalni ispitivač
2. specijalni kružni fiksator
3. trn

Slika 115: Jednodimenzionalni ispitivač

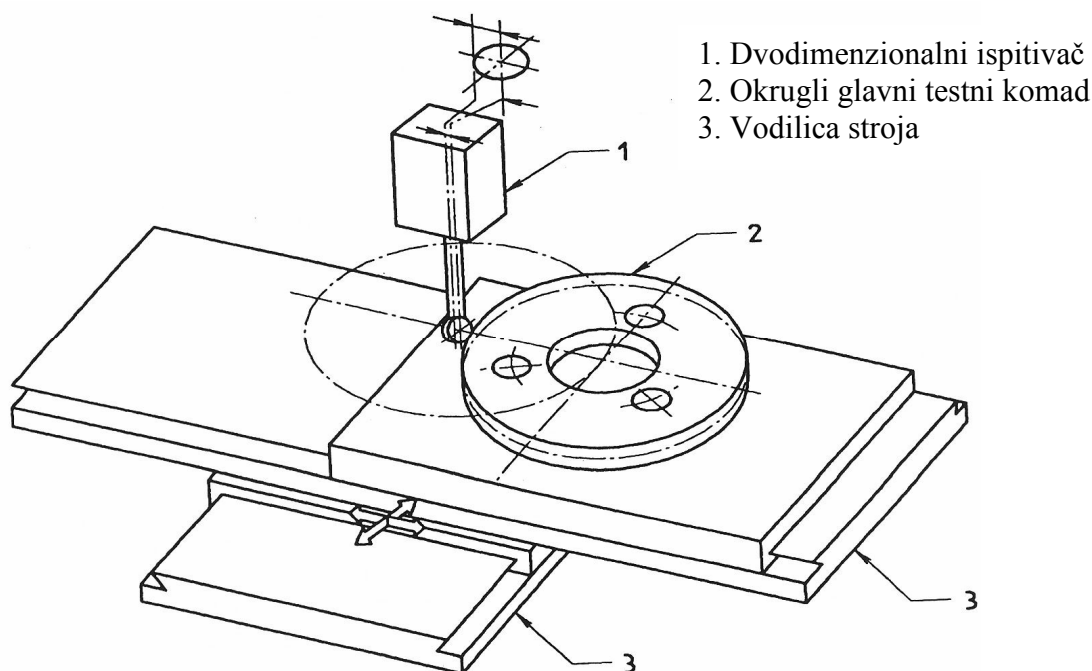
#### 3.5.6.3.2 Kružni etalon i dvodimenzionalno ticalo

Dvodimenzionalno ticalo je pomicano pomoću NC stroja po kružnoj putanji relativno prema okruglom glavnom ispitnom komadu, bez rotiranja ticala (Slika 117). Programirani primjer kružne putanje je odabran tako da dvodimenzionalno ticalo ostaje u kontaktu sa glavnim kružnim ispitnim komadom. Oba signala ispitivača se iscrtavaju direktno na *XY* ploter koji producira kružni dijagram (kružni dijagram je prikazan na slici 109).

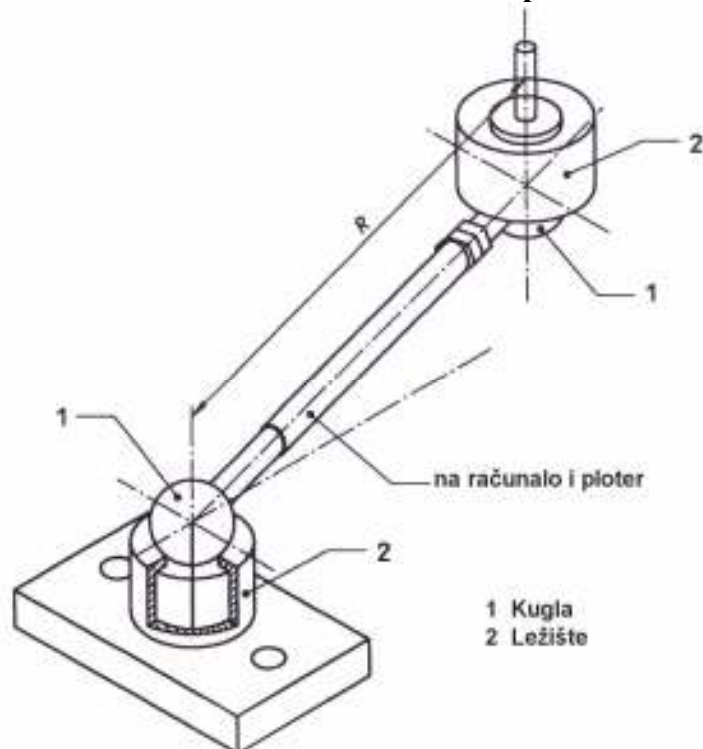
1. specijalni kružni fiksator 1
2. specijalni kružni fiksator 2
3. jednodimenzionalni ispitivač
4. meta



Slika 116: Specijalni kružni fiksator



Slika 117: Dvodimenzionalni ispitivač



Slika 118: Teleskopska poluga s kuglom

### 3.5.6.3.3 Teleskopska poluga sa kuglom

Teleskopska poluga sa kuglom (Slika 118) je povezana sa odgovarajućim utorom na NC stroju, jedan utor na stolu stroja i jedan utor na glavi osovine koja se giba na kružnoj putanji relativno prema stolu. Mjeri se promjena udaljenosti  $R$  između dvije kugle. Mjerni signal se iscrtava na kružni dijagram (kružni dijagram je prikazan na slici 109). Kružni dijagram može biti produciran npr. pomoću sinkroniziranog polarnog plotera, ili pomoću kompjuterske procjene.

### 3.5.7 Cilindričnost

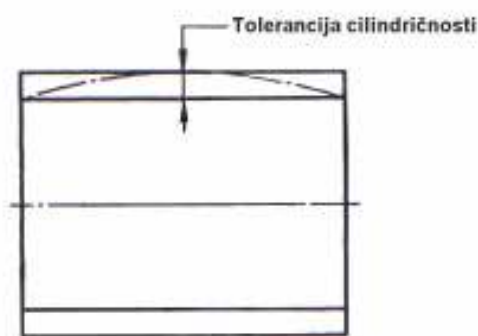
NAPOMENA 32 Iako se kontrola cilindričnosti, pravocrtnosti i paralelnosti, pomoću tolerancije cilindričnosti može činiti prikladnom tehnikom, mjerenje cilindričnosti u skladu sa njezinom definicijom može predstavljati značajne teškoće. Preporuča se da za individualne karakteristike koje sadrže cilindričnost bude određena tolerancija odvojeno, kao što je prikladno za taj komad.

#### 3.5.7.1 Definicija

Za površinu se kaže da je kružna kada su sve njezine točke sadržane između dva koaksijalna cilindra rotacije, čija radijalna odstupanja ne prelaze danu vrijednost (Slika 119).

#### 3.5.7.2 Metode mjerenja

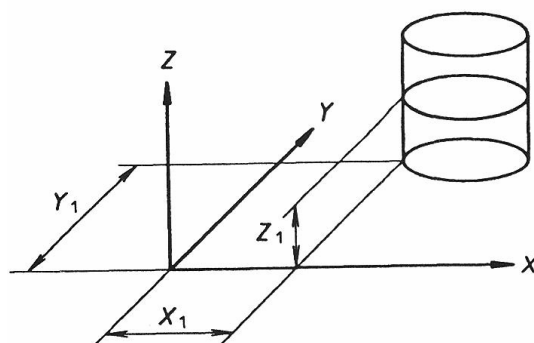
Sve procedure uključuju mjerenje odstupanja dimenzije u odnosu na referencu cilindričnosti.



Slika 119: Tolerancija cilindričnosti

##### 3.5.7.2.1 Koordinatni mjerni uređaj

Kružni profil svakog dijela je određen skeniranjem opsega sa ticalom (Slika 120).



Slika 120: Skeniranje opsega

##### 3.5.7.2.2 Stroj za mjerenje kružnosti sa rotirajućim ticalpm i rotirajućim stolom

U oba slučaja ispitni komad je centriran na stolu, a ticalo se može pomicati paralelno sa osi rotirajućeg stroja. U prvom slučaju ticalo rotira oko ispitnog komada (Slika 110), dok u drugom stol rotira (Slika 111). Cilindričnost je određena preklapanjem polarnih dijagrama uzetih na različitim presjecima.

NAPOMENA33 Ova metoda daje visoku točnost i lako poravnavanje, ali zahtjeva skupu opremu.



### 3.5.7.2.3 Metoda sa blokom u obliku slova V

Ispitni komad je potpornut sa dva bloka u obliku slova V (preporučljivo sa uključenim kutom od  $108^\circ$ ). Ispitni komad se rotira i odstupanje okruglosti se mjeri sa brojčanim indikatorom (Slika 114). Procedura se ponavlja na više dijelova da bi se dobila indikacija cilindričnosti.

## 3.5.8 Podudarnost obrađenih promjera

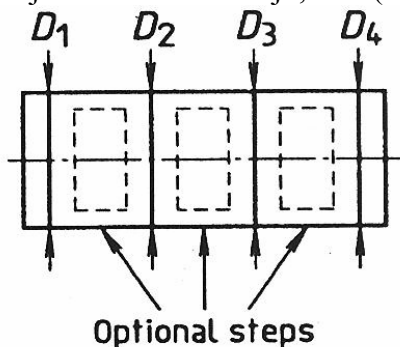
### 3.5.8.1 Definicija

Za promjere se kaže da su podudarni kada varijacija između obrađenih promjera na intervalima uzduž ispitnog komada, mjenjenih na jednoj osnoj ravni padnu unutar zadanog maksimalnog i minimalnog promjera (Slika 121).

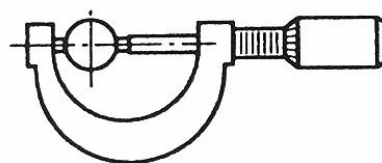
### 3.5.8.2 Metode mjerenja

#### 3.5.8.2.1 Mikrometri ili sličan dvo kontaktni mjerni uređaj

Očitavanja se uzimaju u svakom polju na samo jednoj ravni. Mjerenja se mogu napraviti dok je ispitni komad još na alatnom stroju, vidi (Slika 122)



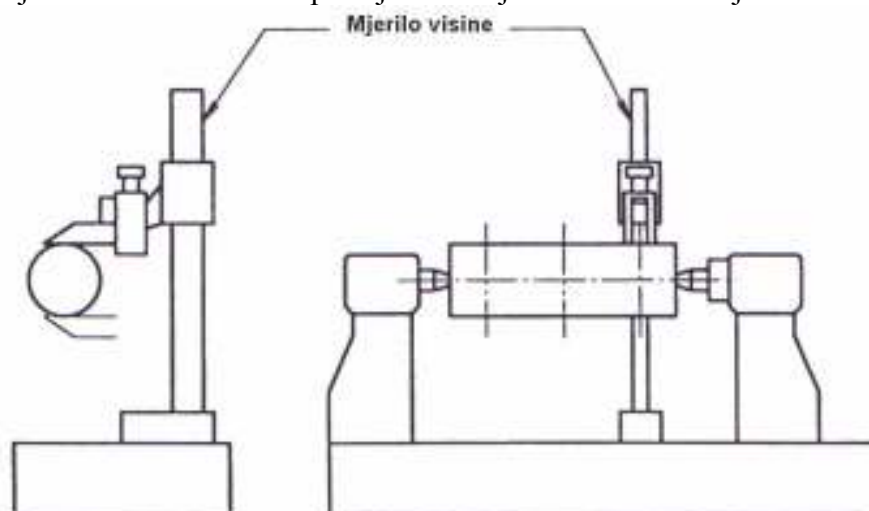
Slika 121: Podudarnost promjera



Slika 122: Prikaz alatnog stroja

#### 3.5.8.2.2 Visinomjer

Ispitni komad je fiksiran horizontalno između centara ili potpornut od blokova u obliku slova V. Najviše i najniže točke obrađenih promjera su mjerene koristeći mjerilo visine (Slika 123).



Slika 123: Mjerilo visine

## **Aneks A** (informativno)

### **Uređaji i oprema za ispitivanje alatnih strojeva**

#### **3.6 DODATAK općenito**

Mjerna oprema opisana u ovom aneksu se koristi za geometrijsko ispitivanje alatnih strojeva. Kada je potrebno, napravljena je referenca prema odgovarajućim internacionalnim normama.

Poglavlja 9 do 12 opisuju precizne uređaje koji se koriste za ispitivanje alatnih strojeva. Njihova točnost je ona od mjernih uređaja u svrhu inspekcije (ne za standardne sobe).

Gdje su upotrebljavaju, mjerne greške za te uređaje bi trebale biti jednake sa ili manje od 10% od zone tolerancije za element koji se provjerava.

Mjerna oprema bi trebala biti umjerena u regularnim intervalima u usporedbi sa poznatim referentnim etalonima, uzimajući u obzir mjerne zahtjeve. Ukoliko je potrebno, tabele za umjeravanje će biti dostavljene da se pokaže stanje opreme.

Mjernoj opremi se ne smije dopustiti da se stabilizira na temperaturu okoliša, i treba je zadržati što stabilnijom tijekom procedure ispitivanja.

Trebaju se poduzeti mjere da se spriječi poremećaj zbog vibracija, magnetskog polja, električnih smetnji itd.

#### **3.7 Lineali**

##### **3.7.1 Opis**

Lineal je materijalni predstavnik, za danu točnost, pravocrtne referentne linije od reference prema kojoj se odstupanja od pravocrtnosti ili ravnosti zadane površine mogu odrediti.

Dva su glavna tipa lineala:

- Lineal u obliku luka (Slika 124a) sa jednom mjernom površinom;
- Lineal sa dvije mjerne površine.

Letva može biti:

- jedan blok sa krutom ili olakšanom mrežom (Slika 124b)
- običan pravokutni blok (Slika 124c)

Lineal bi preporučljivo trebao biti termički obrađen i stabiliziran.

##### **3.7.2 Točnost**

Za ispitivanje alatnih strojeva lineal će biti u skladu sa sljedećim uvjetima.

### 3.7.2.1 Dozvoljene deformacije

Momenti inercije bloka će biti takvi da prirodna deformacija lineala, kada leži na dva potpornja koji su pozicionirani na ekstremnim rubovima, neće prelaziti 0,01 mm na 1000 mm.

Točna vrijednost ove prirodne deformacije koja predstavlja maksimalnu deformaciju lineala će biti označena na jednoj od njezinih lica.

### 3.7.2.2 Ravnost i pravocrtost radnih površina

Greške u ravnosti i pravocrtosti radnih površina lineala kada je potpornut u najpovoljnijem položaju (Slika 124) neće prelaziti sljedeće iznose:

$$\frac{(2 + 0,01L)}{1000}$$

gdje je L radna dužina, u milimetrima.

Dodatno, greške preko bilo koje dužine od 300 mm ne bi trebale prelaziti 0,05 mm.

### 3.7.2.3 Paralelnost mjernih površina

Za lineal sa dvije mjerne površine greška paralelnosti radnih površina, u mm, neće prelaziti 1,5 puta tolerancije njihove pravocrtosti.

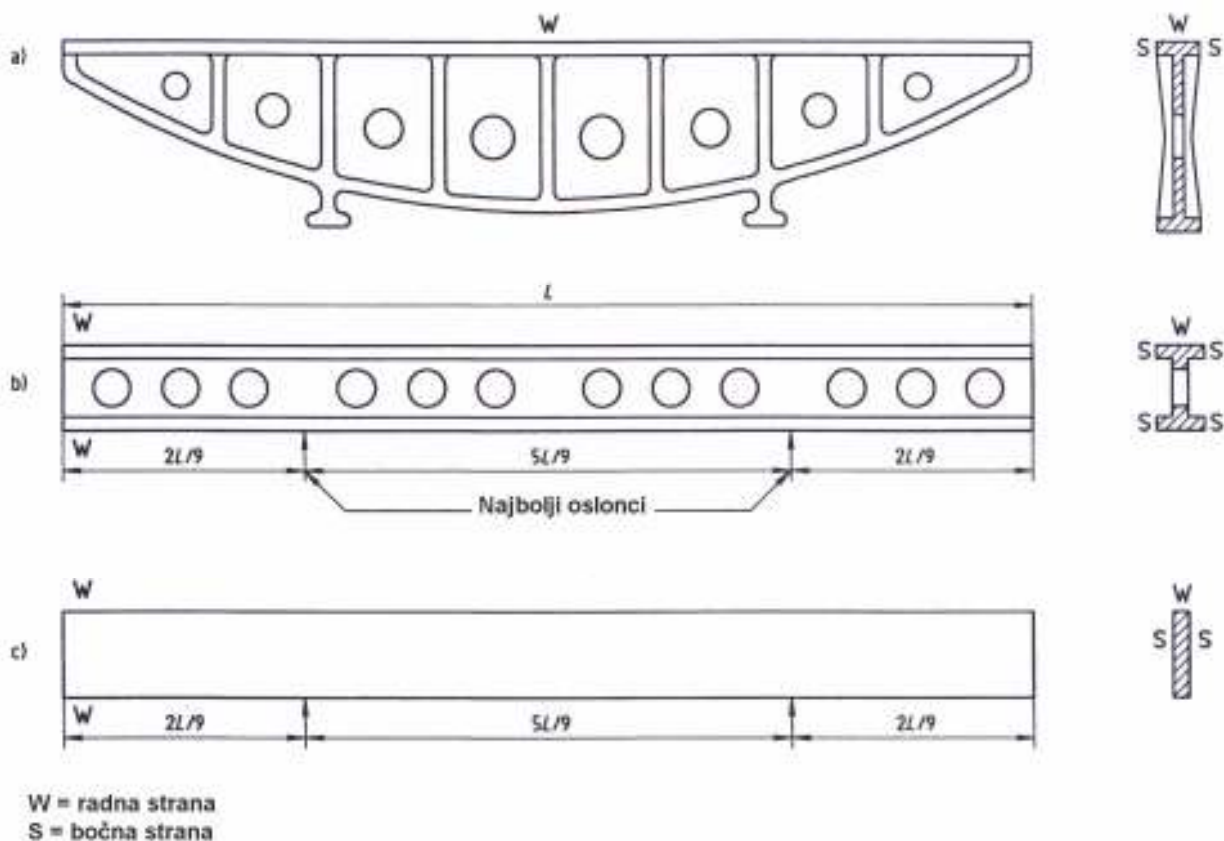
$$\frac{1,5(2 + 0,01L)}{1000}$$

### 3.7.2.4 Pravocrtost bočnih površina, u milimetrima

$$\frac{10(2 + 0,01L)}{1000}$$

### 3.7.2.5 Paralelnost bočnih površina, u milimetrima

$$\frac{15(2 + 0,01L)}{1000}$$



**Slika 124: Pozicija najboljih potpora za pravokutne poluge**

### 3.7.2.6 Pravokutnost bočnih površina u odnosu na mjerne površine

+/- 0,002 5mm za mjerenu dužinu od 10 metara.

### 3.7.2.7 Završna obrada površine radnih lica

Radne površine koje se koriste tijekom mjerenja bi trebale biti ili fino obrušene ili dobro grečane.

### 3.7.2.8 Širina lineala

Kada se lineal koristi sa libelom širina mjernih površina neće biti manja od 35 mm.

### 3.7.2.9 Mjere opreza pri korištenju

Lineali su generalno korišteni horizontalno ili ležeći na svojoj bočnoj strani sa svojim radnim licem vertikalno ili položeni na potpornje sa svojim mjernim površinama horizontalno.

U slučaju druge pozicije bi preporučljivo trebale biti izabrane tako da se minimizira prirodna deformacija. U slučaju lineala istovrsnog presjeka, njihovi oslonci bi trebali biti razmaknuti za  $5L/9$ , i smješteni na udaljenosti od  $2L/9$  od krajeva (Slika 124). Te osobite pozicije za oslonce će biti jasno označene na linealu.

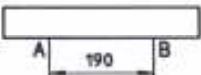
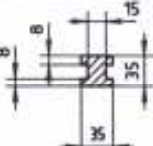
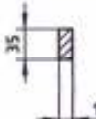
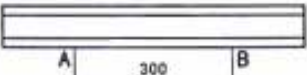
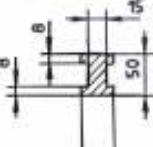
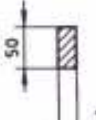
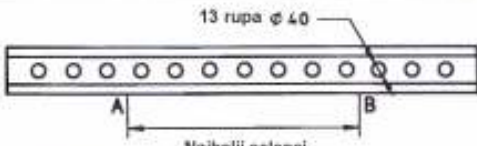
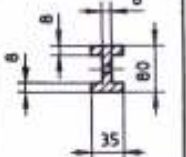
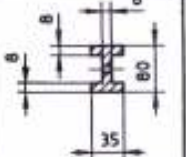

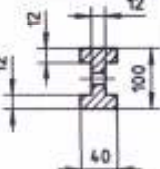
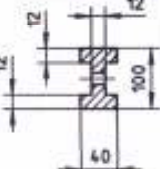
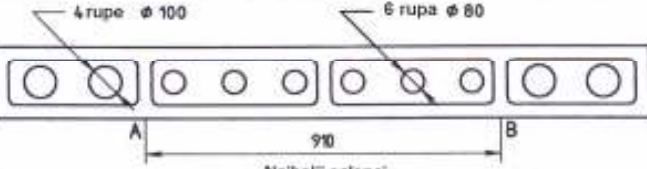
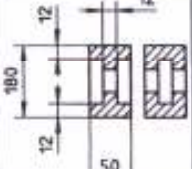
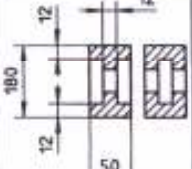
Kada lineal ne leži na najpogodnijim osloncima, a posebno kada je poduprt na ekstremnim krajevima, njegova prirodna deformacija bi se trebala uzeti u obzir.

TABLICA 1 pokazuje, samo kao primjer, pet lineala različitih dužina koje bi odgovarale tim uvjetima. Prirodna deformacija direktno ovisi o modulu elastičnosti E korištenog materijala. Vrijednosti deformacije date u tablici (TABLICA 2) odgovaraju linealima napravljenim od običnog kovanog željeza  $E=98 \text{ kN/mm}^2$ . U slučaju čelika,  $E=196 \text{ kN/mm}^2$ , deformacija bi se prepolovila. U slučaju visoko kvalitetnog kovanog željeza, gdje je naprimjer  $E=147 \text{ kN/mm}^2$ , deformacija bi bila proporcionalna modulu elastičnosti.

### 3.8 Trnovi sa konusnom drškom

Trn predstavlja, unutar danih granica, os koju je potrebno provjeriti, ili za gibanje kolebanja ili za poziciju u odnosu na druge komponente stroja.

TABLICA 1: Lineali

		Dimenzije u milimetrima					
Broj	Duljina		Grafički prikaz	Široki tip		Normalan tip	
	Radna	Ukupna <sup>1)</sup>		Presjek	Masa <sup>2)</sup> kg	Presjek	Masa <sup>2)</sup> kg
1	300	340	 <p>Najbolji oslonci</p>		2		1
2	500	540	 <p>Najbolji oslonci</p>		4		3
3	800	840	 <p>Najbolji oslonci</p>		5		5
4	1 000	1 040	 <p>Najbolji oslonci</p>		12		12
5	1 600	1 640	 <p>Najbolji oslonci</p>		33		33

1) Ukupna duljina malo je veća od radne duljine, te se mjerenje može provesti bez krajeva ravnog brida koje je teže za obraditi točno  
 2) Mase su izražene na osnovi običnog lijevanog željeza; biti će malo veće u slučaju čelika

**TABLICA 2: Zahtjevi točnosti koji se odnose na pet lineala u tablici 1**

Dimenzije u milimetrima

Broj	Dimenzije	Odstupanje s osloncima na krajevima u slučaju običnog lijevanog željeza <sup>1)</sup>	Radne stranice		Bočne stranice		
			Ravnoća <sup>2)</sup>	Paralelnost	Ravnoća	Paralelnost	Kvadratičnost ili okomitost na radne stranice
1	300 Normalan 300 Širok	0,001	0,005	0,007 5	0,050	0,075	± 0,008
2	500 Normalan 500 Širok	0,003	0,007	0,010 5	0,070	0,105	± 0,012
3	800	0,004	0,010	0,015 0	0,100	0,150	± 0,020
4	1 000	0,008	0,012	0,018 0	0,120	0,180	± 0,025
5	1 600	0,016	0,018	0,027 0	0,180	0,270	± 0,045

1)  $E = 98 \text{ kN/mm}^2$   
 2) Lokalna tolerancija = 0,005 mm na 300 mm.

### 3.8.1 Opis

Trnovi imaju konusne drške za umetanje u utor ispitnog stroja, i cilindrično tijelo koje služi kao referenca mjerenja (Slika 125a i Slika 125b). Napravljeni su od kaljenog i stabiliziranog čelika, ili neobloženi ili obloženi sa tvrdim kromom.

One također imaju sljedeće karakteristike:

- a) središnji uvrta, skriveni za zaštitu na krajevima, za potrebe proizvođača i provjere;
  - b) četiri referente linije r razmaknute za  $90^\circ$  (1,2,3 i 4); razmak između oznaka na dva kraja cilindričnog dijela predstavljaju mjernu duljinu  $l=75 \text{ mm}$ , 150 mm, 200 mm, 300 mm ili 500 mm;
  - c) u slučaju relativno malog kuta Morse-a i metričkog konusa, osovine su samodržače u utoru (Slika 125c). Osiguran je dio sa navojem koji prima maticu za izvlačenje osovine iz utora;
  - d) u slučaju relativno kosih konusa (Slika 125b), predviđena je konusna rupa za fiksiranje osovine pomoću navojne zadržavajuće poluge, ili glave za pričvršćivanje kao što se koristi kod naprave za automatsko mijenjanje alata (Slika 125c).
- Konačno, kako bi se izbjeglo okretanje kao kod brušenja. Uređaj se može pričvrstiti sa ekstenzijom  $P$  dužine od 14 mm do 32 mm i promjerom malo manjim od cilindričnog dijela (Slika 125d).

Slika 126 prikazuje, kao primjere, seriju prikladnih osovina. Vanjske dimenzije (promjer i dužina) i profil provrta tih osovina su određene tako da (sa iznimkom onih sa Morse-ovim konusom br. 0 i br. 1) deformacija na slobodnom kraju, zbog vlastite težine osovine i deformacija uzrokovanih zbog pritiska mjerne ure, su zanemarive kada se ispituje sa tim uređajima..

TABLICA 3 daje vrijednost deformacija. Te deformacije su izračunate za  $E = 206 \text{ kN/mm}^2$ ; čak i za nešto manje vrijednosti ( $E=176 \text{ kN/mm}^2$  do  $186 \text{ kN/mm}^2$ ) deformacije su zanemarive.

U slučaju konusa 7/24, TABLICA 4 prikazuje podudarnost između cilindričnih dijelova i dimenzija konusa.

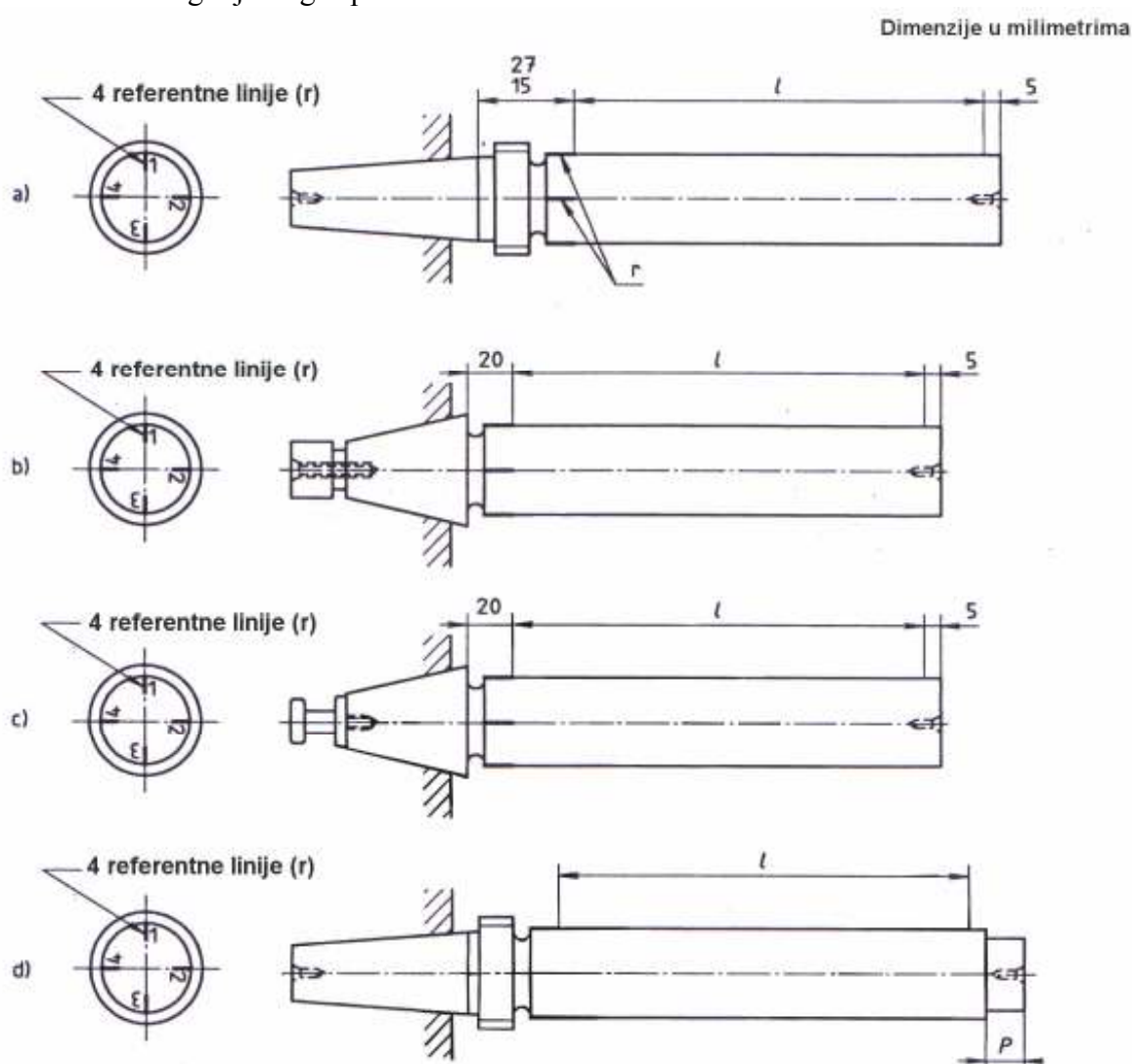
Ako se osovine sa dimenzijama različitim od onih u TABLICA 3 koriste za provjeru centriranja, njihova deformacija bi trebala biti jasno označena na njima i uzeta u izračun pri ispitivanju strojeva.

Na kraju, važno je skrenuti pozornost na činjenicu da osovine iznad 5 kg imaju tendenciju da uzrokuju deformaciju osovine u koju su umetnuti.

### 3.8.2 Točnost

Trnovi moraju biti u skladu sa zahtjevima danim u tablicama 3, 4 i 5.

Kako bi se zadržao dobar sklop u utorima stroja, točnost konusnog držača mora odgovarati onom od konusnog mjernog čepa.

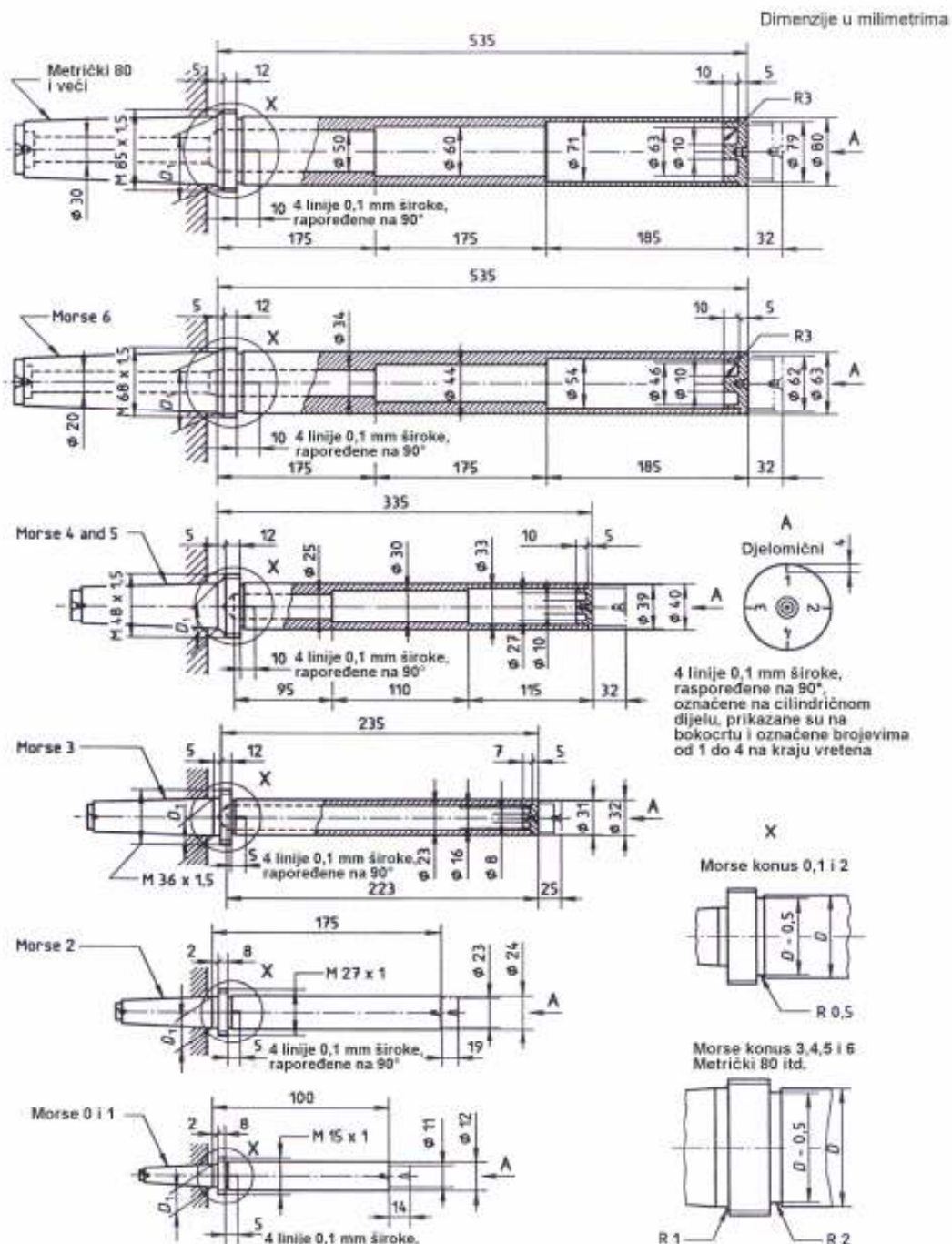


Slika 125: Trnovi sa Morse-ovim i metričkim konusom



**TABLICA 3: Ispitne osovine – Vrijednosti deformacije**

Broj konusa	Radna duljina mm	Vretena bez produženja Tip A					Vretena s produženjem Tip C					Prijedba
		Približna ukupna masa kg	Normalno odstupanje $\mu$ mm	Dodatno odstupanje zbog opterećenja P koje djeluje na slobodnom kraju		Ukupno odstupanje mm	Približna ukupna masa kg	Normalno odstupanje $\mu$ mm	Dodatno odstupanje zbog opterećenja P koje djeluje na slobodnom kraju		Ukupno odstupanje mm	
				P g	mm				P g	mm		
Morse 0	75	0,11	0,000 65	50	0,000 9	0,001 6	0,12	0,000 9	50	0,000 9	0,001 8	Odstupanja na uzduž u osi
Morse 1	75	0,13	0,000 9	50	0,000 7	0,001 2	0,14	0,000 7	50	0,000 7	0,001 4	
Morse 2	150	0,73	0,001 8	100	0,000 6	0,002 1	0,79	0,001 8	100	0,000 8	0,002 5	
Morse 3	200	0,96	0,001 8	100	0,000 7	0,002 5	1,08	0,002 2	100	0,000 7	0,002 9	
Morse 4	300	2,2	0,003 3	100	0,000 7	0,004	2,38	0,003 4	100	0,000 7	0,004 6	
Morse 5	300	3	0,002 6	100	0,000 6	0,003 2	3,14	0,003 1	100	0,000 8	0,003 7	
Morse 6 Metric 80 and larger	500	10	0,005 8	100	0,000 35	0,006 2	10,32	0,006 5	100	0,000 35	0,007	
1) Prilazni podaci odgovaraju radici u normalnom oblikovanju na dva kraja njezine duljine.												



**Slika 126: Ispitni lineali**



## NAPOMENA

- 1 Sa svakom osovinom potrebno je isporučiti izvlačnu maticu.
- 2 Za osobitosti konusnog držača, pogledati trenutnu ISO specifikaciju; dimenziju  $D_1$  tražiti u specifikaciji. Vreteno će imati bazu i upušten centar na svakome kraju.
- 3 Dio označen sa crtkanom linijom je onaj od osovine prikazanoj na slici 125 d); taj dodatak  $P$  je dodan kako bi se pomoglo pri proizvodnji. Cijela dužina će biti povećana za taj iznos.

TABLICA 4: Trnovi – Cilindrični dijelovi od 7/24 konusnih držača

Konus 7/24 broj	30	40	45	50	
				Kratko vreteno	Dugo vreteno
Mjerna duljina, $l$	200 mm	300 mm	300 mm	300 mm	500 mm
Broj konusnog vretena kojem se prilagođava cilindrični dio	3	4 i 5	4 i 5	4 i 5	6

TABLICA 5: Trnovi – Zahtjevi

Mjerna duljina, $l$	Dimenzije u milimetrima				
	75	150	200	300	500
Ukupno istrošenje duž cijele duljine	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
Najveće odstupanje u promjeru cilindričnog dijela	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
Tolerancija konusa	Točnost konusnih držača treba odgovarati točnosti konusa mjernih ura				

U slučaju šupljih osovina, krajnji-čepovi bi trebali biti kruto i sigurno fiksirani na taj način da neće nastati nikakvo naknadno naprezanje (npr. pomoću zamrznutog sklopa).

Strojni ispit koji koristi osovinu se sastoji od montiranja osovine između središta i ispitivanja gibanja kolebanja na nizu točaka jednako raspoređenih uzduž osi osovine, i također mjerenjem promjera cilindričnog dijela u dvije aksijalne ravnine koje odgovaraju 4 referentnim linijama. Tolerancije(TABLICA 5) će se primijeniti u odnosu na mjernu duljinu.

Na kraju, cilindrični dio će imati veoma finu završnu obradu kako bi se smanjilo trenje na mjestu kontakta sa trnom mjerne ure.

### 3.8.3 Mjere opreza pri korištenju

Konusni držač osovine je potrebno dobro učvrstiti u osovinu stroja; to može zahtijevati pažnju prema osovini.

Za mjerenje gibanja kolebanja, ispitnu osovinu je potrebno uzastopno umetnuti u osovinu u četiri pozicije, svaka zamaknuta za  $90^\circ$  prema prijašnjoj, a uzima se srednja vrijednost četiri rezultat.

Kako bi se provjerila točnost lateralne pozicije komponente ili paralelnosti, ispit će se napraviti sukcesivno na dvije suprotne referentne linije na cilindričnoj površini ispitne osovine, okrećući trn i osovinu kroz  $180^\circ$ .

Nakon umetanja trna u osovinu, potrebno je pričekati određeno vrijeme kako bi se raspršila toplina ruku operatora i kako bi se dozvolilo temperaturi da se stabilizira.

U slučaju trnova sa Morse-ovim konusom br.0 i br.1 potrebno je uzeti u obzir njihovu prirodnu deformaciju. Oni bi trebali biti korišteni samo sa mjernom urom sa očitanjem do 0,001 mm i silom koja ne prelazi 0,5 N. Preferira se da bi se mjerna ura trebala postaviti na donju stranu trna tako da bude suprotan njegovom prirodnom progibu.

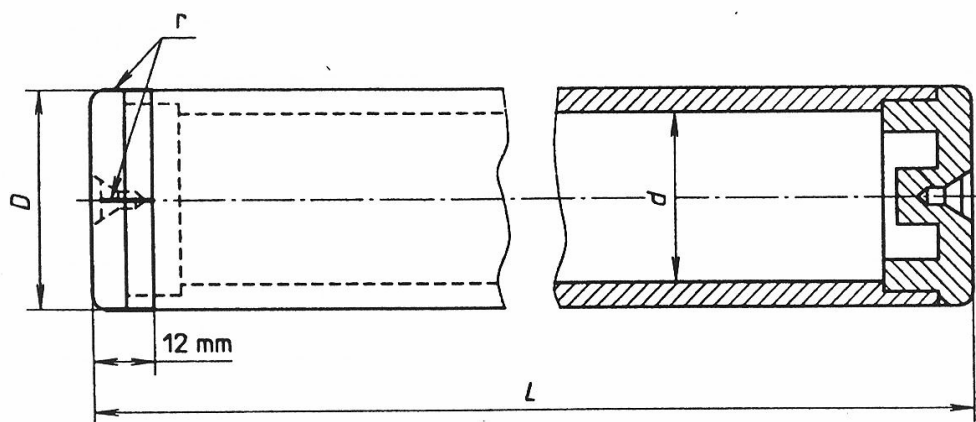
### 3.9 Trnovi između centara

#### 3.9.1 Opis

Dok trn sa konusnim držačem služi kao materijalni prikaz osi rotacije, trn koji je montiran između šiljaka (Slika 127) jednostavno predstavlja ravnu liniju koja prolazi između dvije točke. Os trna bi trebala biti ravna i njegova vanjska površina bi trebala biti stvarno cilindrična.

Ima, na svakom kraju, 4 referentne oznake smještene u dvije okomite aksijalne ravnine, i središta skrivena radi zaštite.

Te ispitne trnove uglavnom proizvode od bešavnih toplo vučenih čeličnih cijevi. Cijevi su opremljene sa finalnim čepovima sa baznim i središnjim utorima koji služe za obradu i ispitivanje. Završni čepovi bi trebali biti kruto i sigurno pričvršćeni, na taj način da se ne dogodi naknadno naprezanje. Vanjski dio cijevi bi trebao zafržati potrebni stupanj cilindričnosti. Operacija obrade zahtjeva debljinu stijenke koja inače nije dostupna kod uobičajenih cijevi, potrebno je koristiti pojačane visokotlačne cijevi. Metal mora biti stabiliziran prije završnog brušenja. Cilindar bi trebao biti stvrdnut i obložen tvrdim kromom da bi se povećala njegova otpornost na trošenje.



Slika 127: Osovina za montiranje između centara

#### 3.9.2 Točnost

Jedini pravi problem u vezi sa trnovima, između šiljaka je postizanje potrebne točnosti u njihovoj proizvodnji. Kako je centriranje alatnog stroja potrebno mjeriti na točnost od 0,01mm na 300 mm, cilindrični trn bi trebao biti ravan najmanje 0,003 mm duž iste dužine.

Preko 300 mm, ispitne osovine bi trebale biti u obliku cijevi, debljina stijenke tako izabrana da se reducira masa, ali ne na štetu krutosti.

Trnovi iznad 1600 mm dužine predstavljaju poteškoće u proizvodnji i njihova masa ima tendenciju napraviti ih nemogućima za manipulaciju. Za dulje dužine, potrebno je koristiti alternativnu testnu metodu kao što su optički uređaji, razapeta žica i mikroskop, itd.

Primjeri (TABLICA 6) su dani u četiri ranga ispitnih osovina koje su pogodne za izvođenje većine ispitivanja potrebnih za alatne strojeve.

Trnovi se ispituju tako da ih se montira između centara i provjerava na kontinuiranim intervalima, npr. svaki 50 mm ili 100 mm, gibanje kolebanja i promjeri u dvije aksijalne ravnine na 90°.

Te ravnine odgovaraju četvorima referentnim linijama koje su označene na cilindričnoj površini.

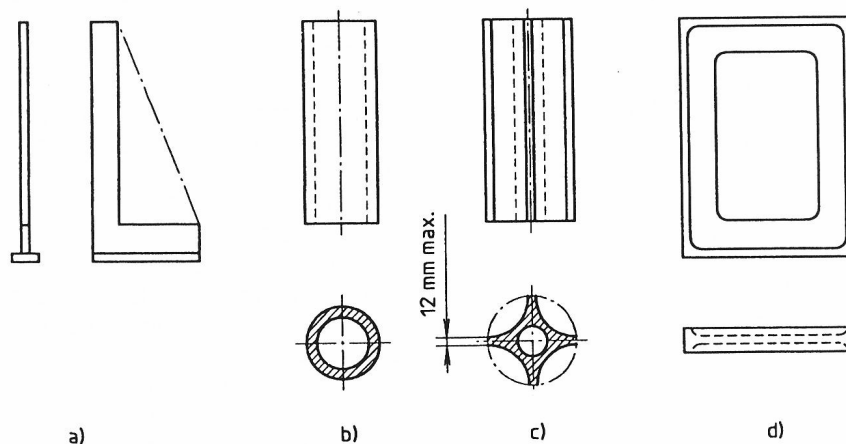
### 3.9.3 Mjere opreza pri korištenju

Za provjeru paralelnosti uzimaju se očitavanja jedne referentne linije na cilindričnoj površini ispitne osovine i tada na suprotnoj nakon što okrenemo ispitnu osovину kroz 180°. Ta dva seta očitavanja su tada ponovljena na istom paru referentnih linija nakon što okrenemo ispitnu osovину „end for end“. Srednja vrijednost tih četiri seta očitavanja tada daju odstupanje od paralelnosti. Ta metoda mjerenja služi za eliminaciju većine uzročnika odstupanja koji proizlaze iz netočnosti ispitne osovine.

## 3.10 Kutnici

Osnovni tipovi kutnika

- 1 Kutnik predstavljen od krakova pod pravim kutem sa ili bez ojačanih izbočina (Slika 128a);
- 2 Mjerni cilindar predstavljen od strane osi okomite na ravninu (Slika 128b) i (Slika 128c);
- 3 Mjerni blok sa ili bez ojačanih izbočina (Slika 128d);



Slika 128: Osnovni tipovi kutnika

TABLICA 6: Tipovi cilindara

Ukupna duljina $L$ mm	Vanjski promjer $D$ mm	Unutarnji promjer $d$ mm	Masa bez krajnjih zatvarača kg	Nazivno odstupanje <sup>1)</sup> mm	Točnost		Završna obrada površine
					Najveće odstupanje u promjeru mm	Najveće istrošenje mm	
150 ≤ $L$ < 300	40	0	1,5 to 3	0,000 02 to 0,000 04	0,003	0,003	Fino obrađeno
301 ≤ $L$ < 500	63	50	2,7 to 4,5	0,000 1 to 0,000 7	0,003	0,003	
501 ≤ $L$ < 1 000	80	61	8,3 to 18,5	0,000 5 to 0,008	0,004	0,007	
1 001 ≤ $L$ < 1 600	125	105	28,2 to 45	0,003 to 0,019	0,005	0,010	

1)  $E = 206 \text{ kN/mm}^2$

### 3.10.1 Opis

Dimenzije kutnika inače ne prelaze 500 mm. Da bi se provjerila okomitost većih dužina preferira se koristiti optičke metode, koje su praktičnije.

Kutnici se izrađuju od čelika, lijevanog željeza ili ostalih prikladnih materijala; Oni mogu biti kaljeni i stabilizirani.

### 3.10.2 Točnost

Kutnici će biti konstruirani tako da budu u skladu sa slijedećim zahtjevima.

#### 3.10.2.1 Tolerancije ravnosti i pravocrtnosti

Tolerancije ravnosti kutnika sa ručkama ili tolerancije pravocrtnosti cilindričnih kutnika, je dana od;

$$\frac{(2 + 0,01L)}{1000}$$

gdje je  $L$  radna dužina, u mm.

#### 3.10.2.2 Tolerancije pravokutnosti

0,005 mm za bilo koju mjernu duljinu od 300 mm.

Kut može biti veći ili manji od 90°.

Za kutnike tipa prikazanog na slici (Slika 128a), obje radne površine vertikalne ručke trebale bi biti okomite na bazu.

#### 3.10.2.3 Završna obrada radne površine

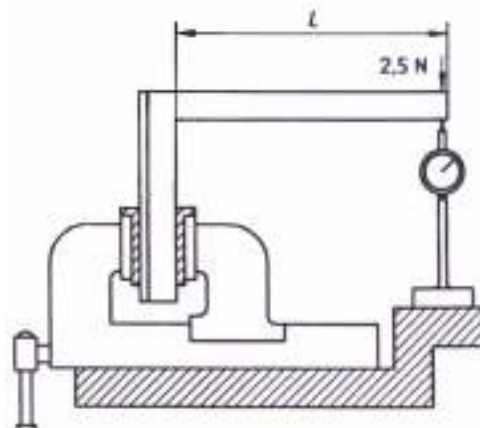
Radna površina će biti fino brušena ili dobro grecana.

#### 3.10.2.4 Tolerancija krutosti kutnika sa dva kraka

Kada se teret od 2,5 N primijeni na duži krak kutnika u smjeru paralelnom na drugu ručku (Slika 129), deformacija u milimetrima, ne bi trebala prelaziti:

$$\frac{(0,7\sqrt{L})}{1000}$$

gdje je  $L$  radna dužina slabije ručke kutnika, u mm.



Slika 129: Mjerenje krutosti kutnika sa dvije ručke

### 3.10.3 Mjere opreza pri korištenju

Tolerancije pravokutnosti koje uobičajeno susrećemo na alatnom stroju variraju od 0,03mm/1000 mm do 0,05mm/1000mm. Kutnici pogodno služe za rad sa tim tolerancijama. Za finije tolerancije, ipak, treba uzeti u obzir greške korištenog kutnika. Alternativno, neka druga metoda mjerenja koja ne uključuje korištenje kutnika može se uzeti u obzir.

## 3.11 Libele

Libela sa tekućinom i mjehurićem (Slika 130) i elektronička libela (Slika 131) su dva tipa preciznih libela.

Oba tipa libela imaju dvije glavne funkcije:

- a) utvrđivanje apsolutne horizontale;
- b) uspoređivanje malih promjena kuta i nagiba

Zahtijevana točnost izvođenog ispita određuje osjetljivost i tip zahtijevane libele.

### 3.11.1 Libela sa tekućinom i mjehurićem

#### 3.11.1.1 Opis

Libela može biti opremljena sa mikrometarskim vijkom ili sa gradacijskim linijama na cijevi, sa ili bez prilagodljivog vijka.

U prvom slučaju, promjene u nagibu se očitavaju devijacijom mikrometra; u drugom slučaju one su očitane direktno sa gradacijskih linija cijevi.

Konstanta libele ili očigledna osjetljivost,  $n$ , je promjena u nagibu, izražena u milimetima po milimetru (ili u sekundama luka), koji producira pomak mjehurića za jednu podjelu.

#### 3.11.1.2 Točnost

Preporučeno je da, za ispitivanje alatnih strojeva, libele trebaju imati točnost od 0,005 mm/1000mm do 0,01 mm/1000 mm i mjehurić se mora pomaknuti za najmanje jednu podjelu za promjenu kuta ne veću od 0,05 mm/1000mm.

Ravnost baze se mora pridržavati sljedećih tolerancija:

0,004 mm za  $L \leq 250$  mm;

0,006 mm za  $250 \text{ mm} < L \leq 500$  mm.

U slučaju da libela ima kontinuiranu neopterećenu ravnu bazu, važno je da baza nije konveksna.

#### 3.11.1.3 Mjere opreza pri korištenju

Ispitivanja sa libelom bi se trebala izvršavati u što je moguće kraćem vremenu i mjerenje bi se trebalo ponavljati u obrnutom smjeru kako bi se uzele u obzir varijacije u temperaturi koje mogu nastati između početnih i završnih očitavanja. Pošto su njihove staklene cijevi podložne deformaciji tijekom godina, libele sa tekućinom i mjehurićem bi trebalo rekalibrirati u određenim periodima. Datum svake kalibracije bi trebao biti naveden na kalibracijskom obrascu libele.

### 3.11.2 Elektroničke libele

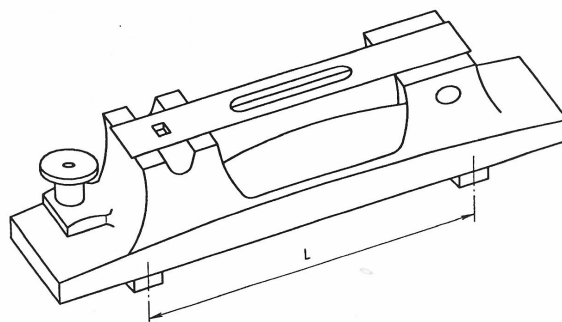
#### 3.11.2.1 Opis i točnost

Elektroničke libele u usporedbi sa libelama sa tekućinom i mjehurićem, su osjetljivije, brže reagiraju, manje reagiraju na temperaturu i mogu biti povezane na automatski uređaj za iscrtavanje.

#### 3.11.2.2 Mjere opreza pri korištenju

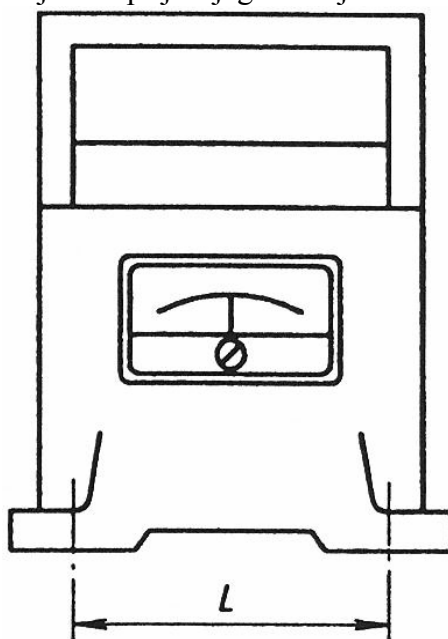
Pošto je povećalo elektroničkih libela podesivo, važno je da povećalo periodički kalibriramo koristeći sinusnu polugu da bi je nagnuli kroz poznat kut. Na neke elektroničke libele magnetska sila ima utjecaj, npr. magnetski stol ili baze magnetskog broječanog indikatora. Potrebno je osigurati da površina koja je pod  $90^\circ$  u odnosu na smjer mjerenja je nivelirana prema specifikaciji proizvođača uređaja. Kada se provjerava apsolutni nivo, potrebno je napraviti dva očitavanja na nivou, dok se drugo radi nakon što se libela rotira za  $180^\circ$ .

Dva očitavanja bi trebala biti algebarski zbrojena i podijeljena sa dva da bi se dobilo srednje očitavanje.



Slika 130: Podesiva libela

Pri izradi topografije površine, važno je znati razdaljinu  $L$  (Slika 130 i Slika 131) između sredine potpornih točaka i da bi se napravila očitavanja pomicanjem libele i njezinog potpornja u sjecište  $L-a$  između svakog očitavanja, i tako osiguravajući da zadnja noga okupira istu točku koju je vodeća noga zauzimala tijekom prijašnjeg očitavanja.



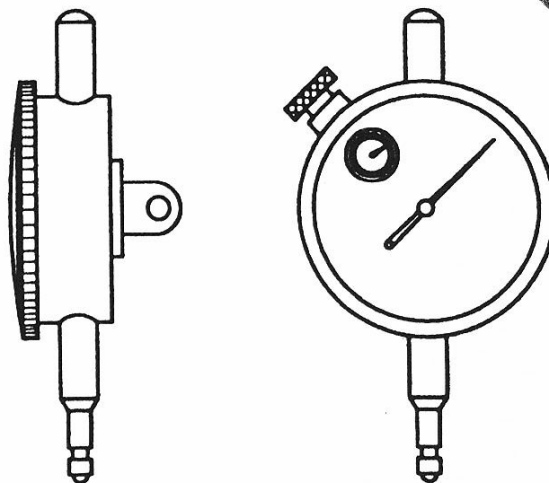
Slika 131: Elektronska libela

### 3.12 Ticala linearnog gibanja

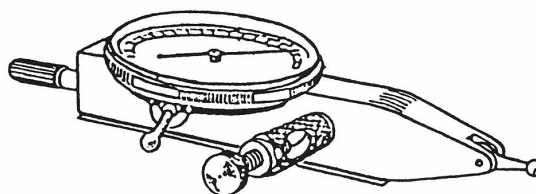
Dva tipa su prikazana kao primjeri: mjerna ura i elektronska sonda.

#### 3.12.1 Mjerne ure

Za detalje o mjernim urama referenca bi trebala biti ISO 468. Uobičajena ispitivanja se mogu napraviti sa 0,01 mm mjernim urama, ali za preciznija ispitivanja (npr. Gibanje kolebanja osovine ili alatnog stroja), trebaju se koristiti mjerne ure sa 0,001 mm rezolucijom.



Slika 132: Mjerna ura



Slika 133: Pupitas

Istaknuto je da su glavne karakteristike tih uređaja slijedeće:

- ukupna pogreška
- maksimalna vrijednost histereze
- ekstremna vrijednost mjerne sile na početku i na kraju hoda igle
- maksimalna lokalna varijacija mjerne sile
- ponovljivost gibanja osovine ticala
- mogućnost korištenja kada se koristi naopačke

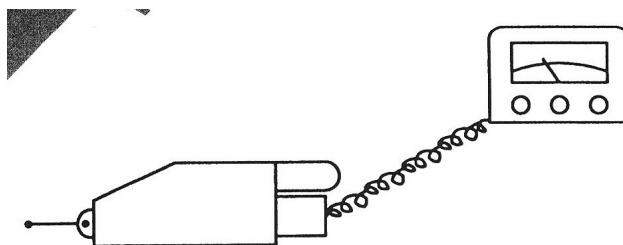
Preporučljivo je da mjerne ure koje se koriste, imaju kratki hod i pogotovo da imaju nisku histerezu i laganu kontaktnu silu.

#### 3.12.2 Elektronski komparator

Elektronski komparatori se sastoje od ticala koja su povezana sa pojačivačem. Pojačivač može prikazati linearno pomicanje glave mjerača sa visokom točnošću. Ticalo može biti, ili u obliku metka, ili poluge (Slika 134 i Slika 135).



Slika 134: Ticalo u obliku metka



Slika 135: Ticalo u obliku poluge

### 3.12.3 Mjere opreza pri upotrebi

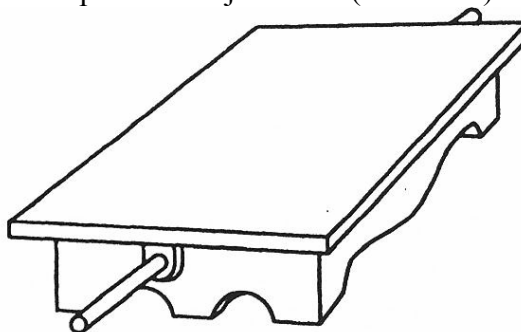
Mjerne klupice sa okruglom glavom i elektronski komparatori moraju biti dostatne tvrdoće da bi se spriječile neželjene greške.

Ticalo mjerne ure ili elektronskog komparatora bi trebalo biti okomito na površinu koja se ispituje, da bi se izbjegle netočnosti.

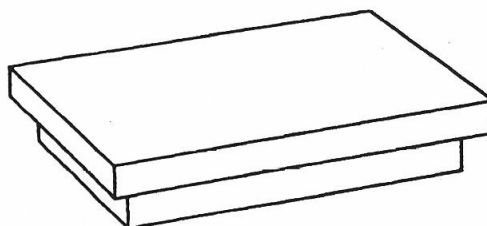
## 3.13 Mjerne ploče

### 3.13.1 Opis

Veličina ravnih površina se kreće od 260 mm x 100 mm do 2500 mm x 1600 mm. Lijevane željezne ploče manje od 400 mm x 250 mm su dostupne sa odgovarajućim ručnim držačima da bi se omogućila manipulacija (Slika 136). Lijevane željezne ploče veće od 400 mm x 250 mm imaju odvojive držače. Granitne ploče nemaju držača (Slika 137).



Slika 136: Tipična čelična ili lijevana željezna ploča

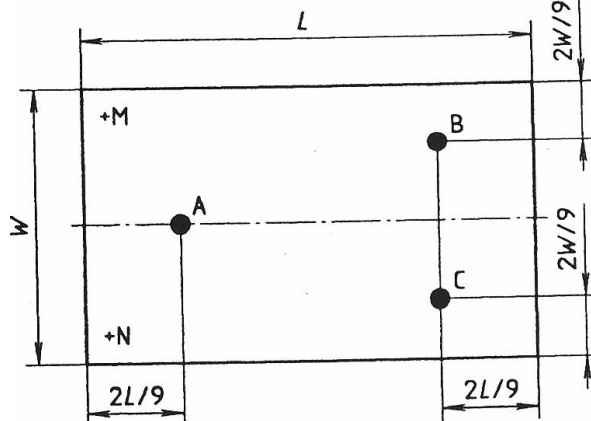


Slika 137: Tipična granitna ploča



### 3.13.2 Mjere opreza pri korištenju

Potporne noge ravnih površina, do i uključujući 1000 mm x 630 mm su dostupne sa tri podesive potporne noge; potporne noge za sprječavanje naginjanja su dostupne na samoj nozi na kraju ravnih površina veličine 400 mm x 250 mm i duže. Ravne površine veće od 1000 mm x 630 mm su potpornute sa pet ili više prilagodljivih nogu (Slika 138)



Slika 138: Pozicija nogu velike ravne površine

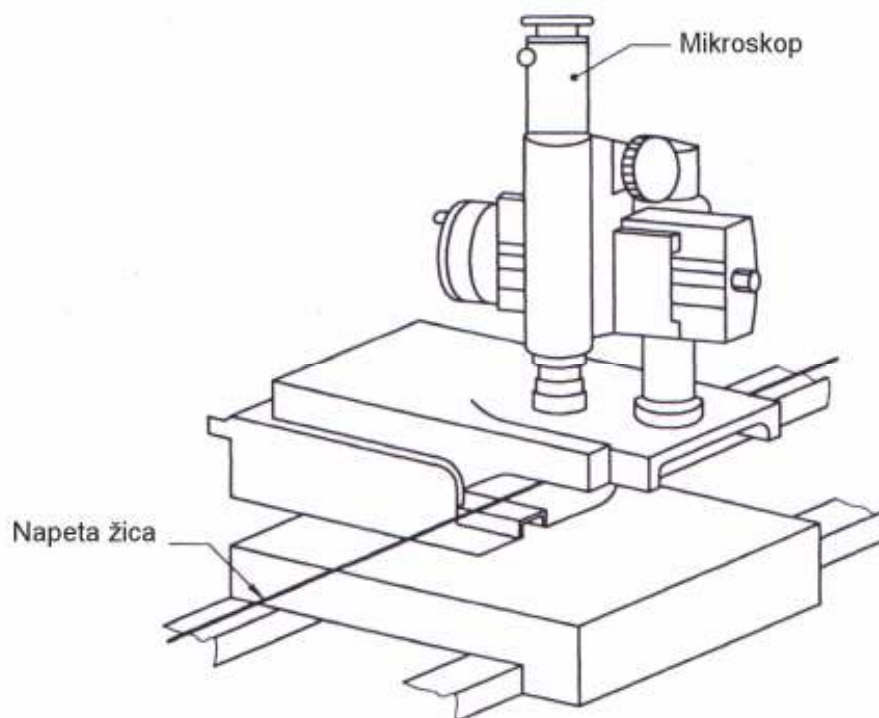
A,B,C: Potporne noge ravnih površina koje osiguravaju minimalno izvijanje pod vlastitim teretom.

M,N: Sigurnosne potporne noge.

## 3.14 Mikroskopi sa zategnutom žicom

### 3.14.1 Opis

Mjerni uređaj uključuje mikroskop sa nitnim križom i podešivačem mikrometra kako bi se točno naznačila njegova poziciju u odnosu na zategnutu žicu.



Slika 139: Mikroskop sa napetom žicom

### 3.14.2 Preciznost

Mikroskop se može pričvrstiti na stroj pomoću libele (koja može biti integrirana sa potporom mikroskopa). Dva kraja žice su poravnata pomoću naprave za precizno poravnanje mjernog mikroskopa. Očitavanja se uzimaju u horizontalnoj ravnini dok je stol u poprečnom položaju.

### 3.14.3 Mjere opreza pri korištenju

Treba biti na oprezu tijekom rukovanja sa žicom, koja bi trebala biti dovoljno napeta i bez izvijanja. Promjer žice bi trebao biti što je manji mogući, u svakom slučaju, ne veći od 0.1 mm. Duge podloge do 20 m i više mogu se ispitivati bez potrebe za posebnim mjerama opreza.

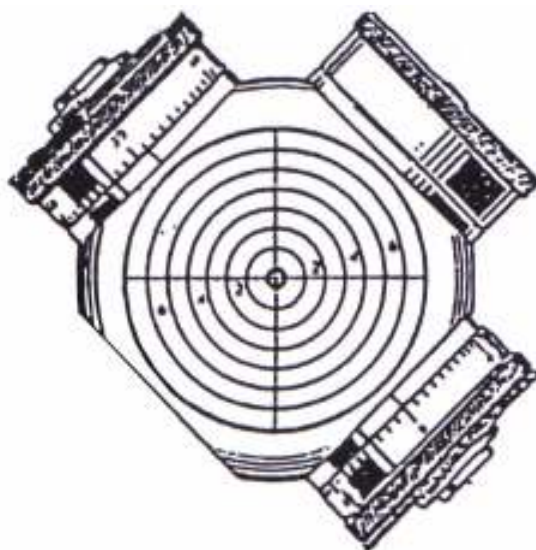
## 3.15 Kolimatori

### 3.15.1 Opis

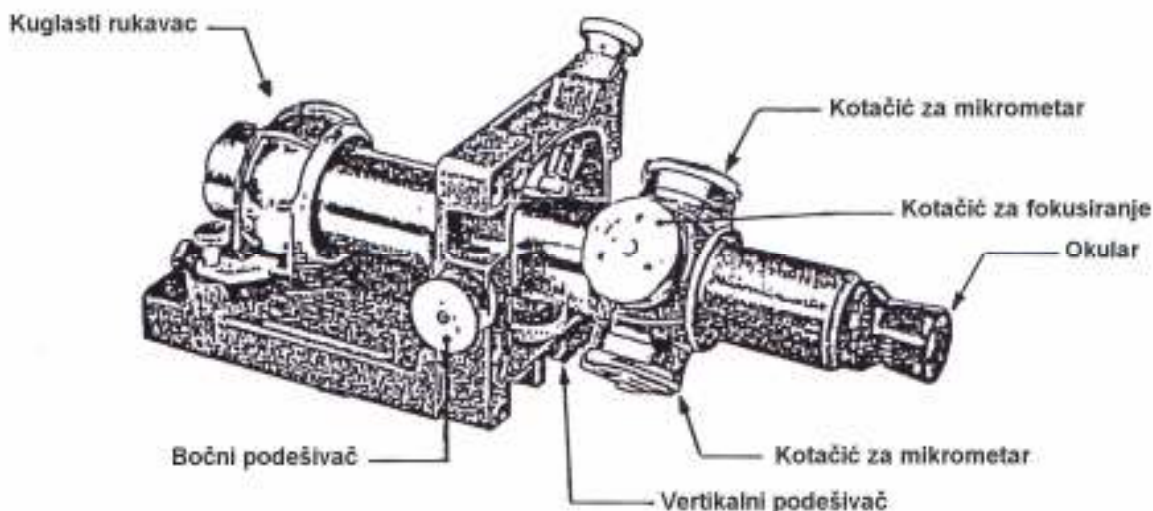
Kolimator (vidi sliku 141) sa dodacima je konstruiran da ispituje ravnine, paralelnost i okomitost. Kroz postavu leća koje se nalaze u cijevnom kućištu, pogled horizontalnih i vertikalnih ukriženih žica se može projektirati na metu.

### 3.15.2 Preciznost

Pomicanje horizontalnog i vertikalnog nitnog križa prema meti se direktno mjeri u milimetrima koristeći mikrometarski brojčanik (Slika 141). Fokusirajući brojčanik razlikuje poziciju fokusirajući leće, omogućavajući metama da budu fokusirane od nule do beskonačnosti. Fokus nitnog križa se namješta na okularu. Mikroskop se najčešće montira na horizontalnu bazu (Slika 140) koja omogućava bočna i vertikalna namještanja optičke vidljivosti. Pravocrtnost se može mjeriti pomicanjem mete uzduž linije optičke vidljivosti (Slika 142). Dodatni dijelovi za prilagodbu libela i optičkih kocki će povećati sposobnost uređaja za mjerenje paralelnosti i okomitosti.



**Slika 140: Pogled na ukrižene žice, metu i mikrometarski brojčanik**



Slika 141: Kolimator montiran na horizontalnu bazu

### 3.15.3 Mjere opreza pri korištenju

Slijedeće mjere opreza se trebaju primijeniti pri korištenju:

Izbjegavati korištenje gdje ima promjena u temperaturi koje mogu izazvati pretjeranu refrakciju.

Potrebno je osigurati da je baza magnetskog postolja mete čista.

Potrebno je osigurati da su čitanja sa skale mikrometra interpretirana ispravno, tj. + nije pobrkano sa -. Predloženo pravilo konvencije je „LURD“ princip (Slika 143) (tj. lijevo, gore, desno dolje).

Potrebno je osigurati da su postavke fokusa jasne.

Kad god je moguće, osigurati da je uređaj montiran kruto.

## 3.16 Autokolimator

### 3.16.1 Opis

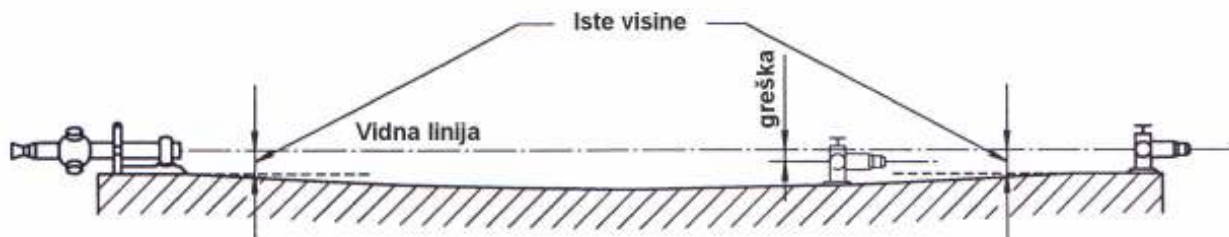
Provodnik cilja zauzima mjesto izvora svjetlosti i oni su osvijetljeni pomoću lampe i kondenzatora sa strane, svjetlost se reflektira duž optičke osi pomoću transparentnog reflektora. Reflektirani odraz slike, formiran u istoj ravnini kao sam provodnik, je gledan kroz mikroskop male snage opremljen sa mikrometarskim okularom, pomoću kojeg se mjere varijacije u poziciji reflektiranog odraza.

### 3.16.2 Točnost

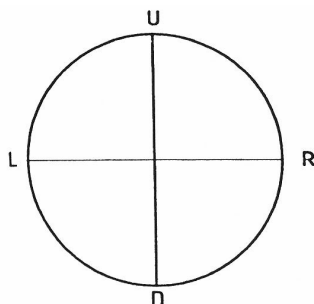
Bubanj mikrometra je stupnjevan u pola-sekunde i sa dobrom reflektirajućom površinom moguće je dobiti ponovljivost očitavanja unutar  $\frac{1}{4}$  sekunde.

### 3.16.3 Mjere opreza pri upotrebi

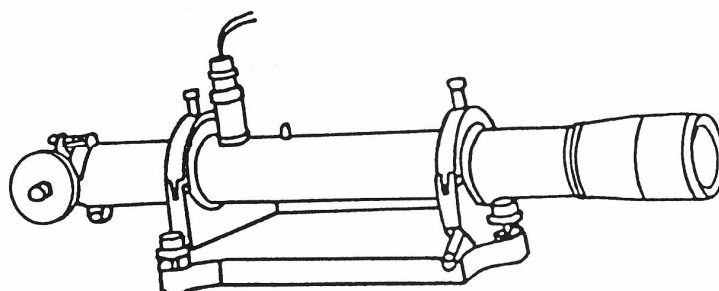
Tijekom mjerenja, teleskop autokolimatora bi trebao biti integriran sa komponentom ležaja na provjeravanoj liniji, i trebao bi biti montiran na mirnom i krutom osloncu. Potrebno je zabilježiti svaku deformaciju stroja. Važno je izbjeći vibracije ili značajne promijene temperature.



Slika 142: Mjerenje pravocrtnosti mjernim pomicanjem od linije vidljivosti



Slika 143: LURD princip



Slika 144: Autokolimator

### 3.17 Optički kutnik (vidi 3.4.3.2.4)

#### 3.17.1 Opis

Optički kutnik se koristi zajedno sa centrirajućim teleskopom i tri mete za uspostavljanje referentne ravnine koja omogućava provjeru površine na ravnoću (Slika 145). Teleskop je montiran u okvir koji nosi rotirajuću optičku jedinicu koja je kućište pentagonalnoj prizmi. Okvir sadržava podesive oslonce da dovede ravninu u doseg uređaju na centar mete.

#### 3.17.2 Točnost

Mete su fokusirane kao što je opisano u prethodnom poglavlju i brojčanik mikrometra na rotirajućoj optičkoj jedinici mjeri vertikalno pomicanje meta u odnosu na poprečne žice.

#### 3.17.3 Mjere opreza pri korištenju

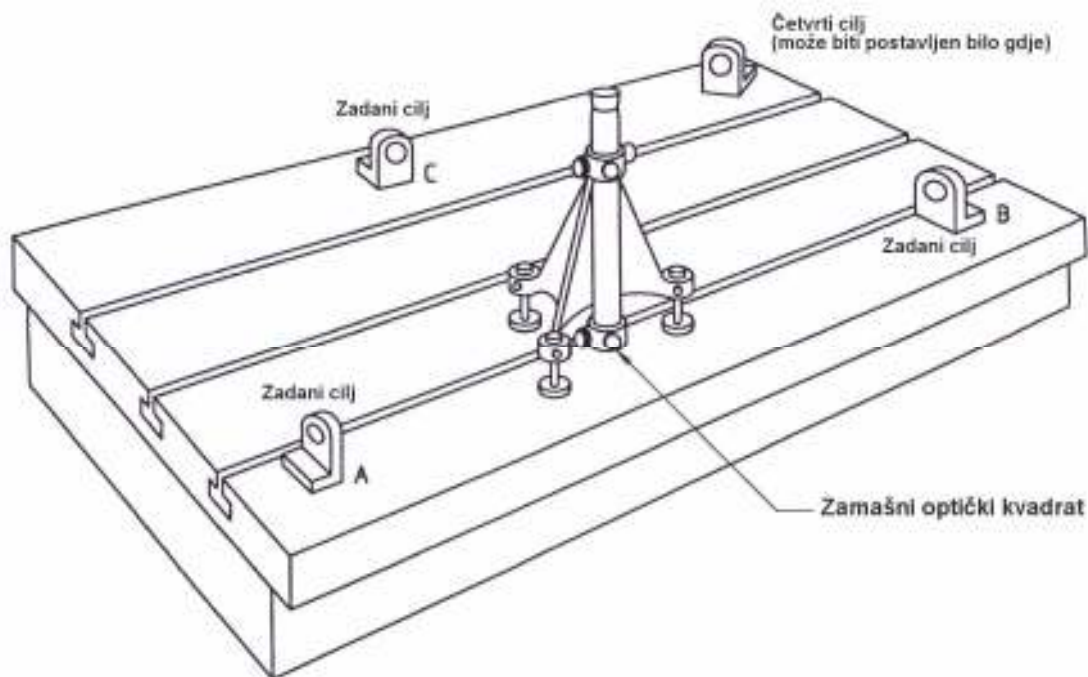
Slijedeće mjere opreza se trebaju primijeniti pri korištenju:

- Izbjegavati korištenje gdje ima promjena u temperaturi koje mogu izazvati pretjeranu refrakciju.
- Potrebno je osigurati da je baza magnetskog postolja mete čista.
- Potrebno je osigurati da su čitanja sa skale mikrometra interpretirana ispravno, tj. ve nije pobrkan sa -. Predloženo pravilo konvencije je „LURD“ princip (Slika 143) (tj. lijevo, gore, desno dolje).
- Potrebno je osigurati da su postavke fokusa jasne.
- Kad kod je moguće, osigurati da je uređaj montiran kruto.

## 3.18 Laserski interferometri

### 3.18.1 Opis

Razvoj laserskih interferometara je dao industriji alatnih strojeva standard visoke točnosti koji se može koristiti na alatnim strojevima svih tipova i veličina. Stabilizirani helium-neon laser koji trenutno predstavlja remek djelo u standardu laserske dužine i postao je u praktičnim terminima u posebnim slučajevima prihvaćeni standard dužine.



Slika 145: Postavke optičkog kutnika

### 3.18.2 Točnost

Točnost inferometra je određena laserskom duljinom vala i bolja je od 0,5 dijelova po milijunu.

Laserski inferometar je sposoban mjeriti pet od šest stupnjeva slobode: linearno pozicioniranje, horizontalnu pravocrtnost, vertikalnu pravocrtnost, nagib i skretanje, kao i okomitost između dvije osi. Svih šest stupnjeva slobode su od jednake važnosti pošto greške pozicioniranja, koje proizlaze iz neželjenih kutnih pomicanja ili pomicanja od idealne pravocrtnosti, mogu biti potencionalno veći od grešaka linearnog pozicioniranja na osi koordinate.

Ostali izvori grešaka na koje treba obratiti pažnju prije mjerenja su:

#### a) Greške okoline

Za linearna mjerenja potrebno je uzeti u obzir da je apsolutna točnost laserskog interferometra direktno određena time koliko su točno poznati ambijentalni uvjeti i, u stvari, koliko su oni stabilni. Greška od otprilike jedan dio po milijonu će nastati za svaku grešku od 1°C u ambijentalnoj temperaturi, 2.5 mmHg u apsolutnom tlaku i 30% u relativnoj vlažnosti. Te greške mogu se djelomično prevladati korištenjem manualne kompenzacije ili jednim od automatskih kompenzatora koji mogu biti priključeni na laserski displej.

Ali, najvažnije je da uvjeti ostaju stabilni tijekom perioda ispitivanja.

## b) Temperatura površine stroja

Drugi važan izvor greške u interferometrijskom ocjenjivanju alatnog stroja je utjecaj temperature samog alatnog stroja. Za alatne strojeve koji koriste čelični vijak za transformiranje rotacionog u linearno gibanje za određivanje pozicije prijenosa, taj efekt predstavlja ekspanziju od otprilike  $0,000\ 010\ 8\ \text{mm/mm}$  za  $1^\circ\text{C}$  povećanje u temperaturi vretena za transformiranje rotacionog u linearno gibanje. Ako je ukupna putanja prijenosa  $1000\ \text{mm}$ , taj efekt predstavlja u dužini vijka za transformiranje rotacionog u linearno gibanje od  $0,010\ 8\ \text{mm}$  po  $1^\circ\text{C}$  promjene u temperaturi.

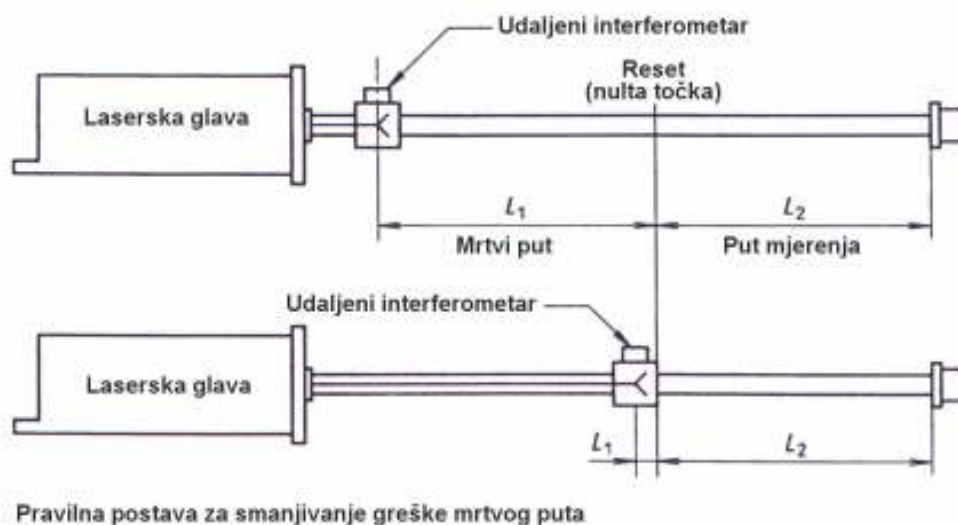
## c) Mrtvi hod

Mrtvi hod je greška povezana sa promjenama u uvjetima okoliša tijekom mjerenja. Jednostavnim riječima, to je greška zbog nekompenzirane dužine putanje laserskog svjetla i ona se javlja kada se atmosferski uvjeti koji okružuju lasersku zraku mijenjaju (uzrokujući promjenu u dužini laserskog vala) i tada se temp. materijala na koji su optički interferometar i reflektor mete montirani, mijenja (uzrokujući razdaljinu između interferometra i retroreflektora da se povećava ili smanjuje) (Slika 146)

Područje mrtvog hoda je razdaljina između optičkog interferometra i nulte pozicije (ili 0) pozicije mjerenja ( $L_1$ ). Ukoliko nema kretanja između optičkog interferometra i kutne kocke (retroreflektora) i promjene uvjeta okoliša koji okružuju putanju laserske zrake tada će se duljina vala mijenjati preko cijele putanje ( $L_1 + L_2$ ). Ukoliko se mijenja kompenzacijska vrijednost brzine svjetlosti da bi se ispravili novi uvjeti okoliša, sistem laserskog mjerenja će ispraviti za promjenu laserske valne dužine preko duljine  $L_2$ , ali nikakva korekcija se ne radi preko mrtvog hoda duljine  $L_1$ .

## d) Greška kosinusa

Ekscentričnost putanje laserske zrake sa osi gibanja alatnog stroja će rezultirati greškom između mjerene udaljenosti i stvarne prijedene udaljenosti. Ta greška ekscentričnosti se uobičajeno naziva greška kosinusa, zbog toga što je vrijednost greške proporcionalna kosinusu kuta ekscentra između zrake i gibanja .



Slika 146: Greška mrtvi hod



Kada je laserski mjerni sustav ekscentričan u odnosu na os pomicanja alatnog stroja, greška kosinusa će uzrokovati da mjerna udaljenost bude kraća od stvarne udaljenosti (Slika 147).

Udaljenost mjerena pomoću laserskog mjernog sustava je  $L_{LMS}$  dok je prava udaljenost prijeđena od alatnog stroja  $L_M$ . Iscrtavanjem luka sa radijusom  $L_{LMS}$  sa centrom na poziciji A, jednostavno je primijetiti da  $L_{LMS}$  je kraći od  $L_M$ .

e) Abbe-ova greška odmaka

**Ako je mjerenje napravljeno na mjestu koje je odmaknuto od pomaka koje se mjeri, svako kutno gibanje elementa će unijeti grešku (**

Slika 148).

Pravilo palca korisno u aproksimiranju greške pripisane kutnom gibanju: za svaku lučnu sekundu kutnog gibanja nastala greška je otprilike  $5 \mu\text{m}/\text{m}$  razmaka. Za 200 mm Abbe-ov odmak i 2 lučne sekunde kutnog gibanja, greška u mjerenju pomicanja je  $200 \text{ mm} \times 5 \mu\text{m}/\text{m}/\text{lučne sekunde kutnog gibanja} = 2 \mu\text{m}$ .

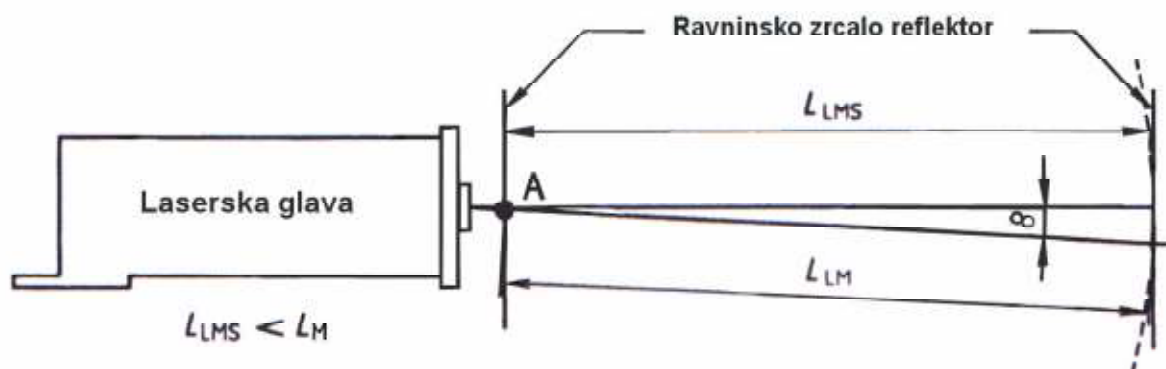
### 3.18.3 Mjere opreza pri korištenju

U postavljanju laserskog mjernog sustava za ocjenu alatnog stroja, tri osnovne smjernice je potrebno slijediti:

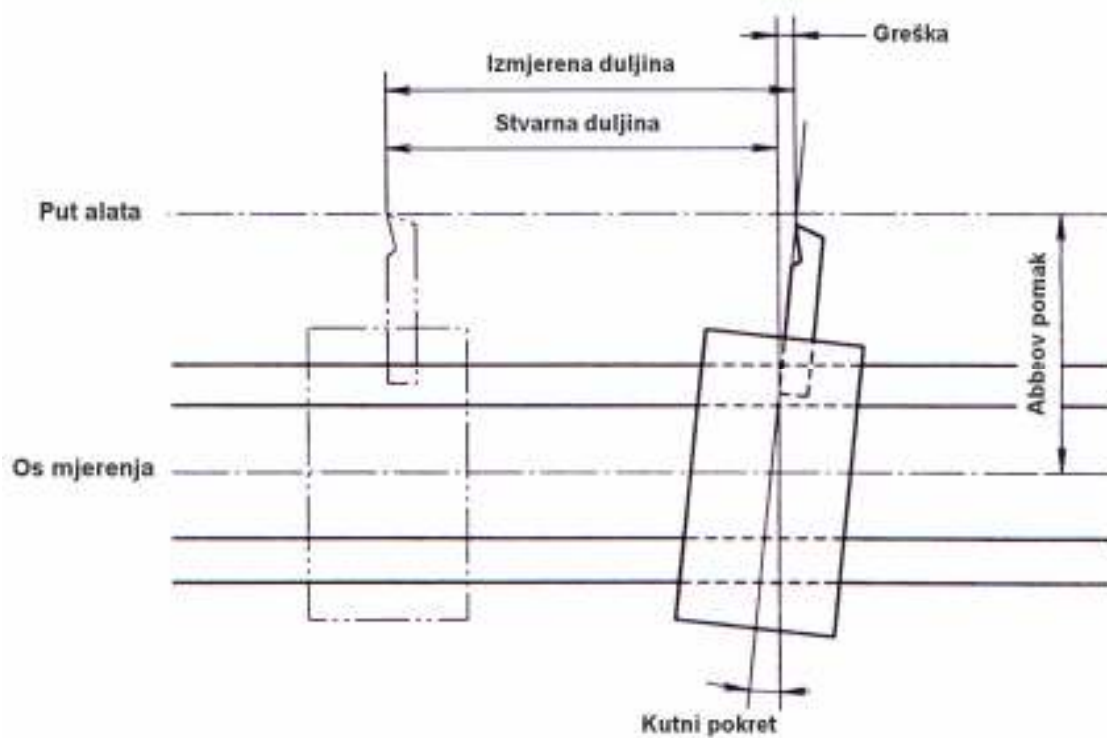
- odabrati ispravne postavke za mjerenje željenih parametara;
- minimizirati potencijalne izvore grešaka (centriranje, kompenzaciju, deathpath, etc.);
- simuliranje radnih uvjeta alatnog stroja što je bliže moguće

Sve individualne postavke je potrebno pažljivo analizirati kako bi se osiguralo da mjerenje grešaka alatnog stroja predstavlja greške radnog komada. Mjerenje bi trebalo odražavati relativno kretanje reznog alata i radnog komada. Uvijek bi trebalo biti organizirano tako da se jedna optička komponenta montira na mjesto gdje bi trebao biti rezni alat, a druga optička komponenta na mjesto radnog komada.

Laser bi trebalo smjestiti da se maksimizira broj mjerenja koje se mogu napraviti bez repositioniranja laserske glave. Iako je laserski mjerni sustav izuzetno točan, mora biti uvriježeno u razmišljanjima ljudi da njihova točnost ovisi o inicijalnim postavkama i eliminaciji potencijalnih grešaka.



Slika 147: Greška kosinusa



Slika 148: Abbe-ova greška odmaka



## 4 Oprema za ispitivanje ravnoće površina

### 4.1 Popis opreme za ispitivanje ravnoće površina alatnih strojeva LFSB-a

**TABLICA 7: Popis opreme LFSB-a**

1. Elektronička libela	Proizvođač:	Rank Taylor Hobson
	Oznaka:	LIB4-300
	Serijski broj:	6585
	Mjerno područje:	+2,5 mm/m +0,5 mm/m +0,25mm/m
2. Koincidentna libela	Proizvođač:	Carl Zeiss
	Oznaka:	LIB3-263
	Serijski broj:	3528
	Mjerno područje:	+10 mm/m
3. Optička kutna libela	Proizvođač:	Carl Zeiss
	Mjerno područje:	+120°
4. Laserski mjerni sustav	Proizvođač:	Helwett Packard
	Oznaka:	MU35-299
	Serijski broj:	2532A02509
	Mjerno područje:	do 40 m
5. Laser	Proizvođač:	Renishaw
	Oznaka:	MU46-426
	Serijski broj:	G12343
	Mjerno područje:	473612829,2 MHz
6. Autokolimator	Proizvođač:	Carl Zeiss
	Oznaka:	MU49-429
	Serijski broj:	70001914
	Mjerno područje:	+20'
7. Autokolimator	Proizvođač:	Rank Taylor Hobson
	Oznaka:	MU23-199
	Serijski broj:	038S
	Mjerno područje:	10'
8. Granitni mjerni lineal	Proizvođač:	Cej
	Oznaka:	RET140-362
	Serijski broj:	111417
	Mjerno područje:	750 mm

## 4.2 Opis mjernih uređaja libele i autokolimatora

### 4.2.1 Libela

Libele se upotrebljavaju za određivanje nagiba ispitivane površine prema horizontali ili vertikali i to u principu za manje vrijednosti nagiba.

Glavni dio libele je staklena cijev (cijevna libela) djelomično ispunjena tekućinom vrlo niskog ledišta (eter, alkohol) tako da u ostatku prostora ostaje zračni mjehur. Staklena cijev je savinuta po strogo definiranom radijusu. Pošto zračni mjehur želi zauzeti najvišu točku, ukoliko je cijevna libela postavljena horizontalno, krajevi mjehurića će se postaviti simetrično s obzirom na okomicu spuštenu na horizontalnu ravninu.

Pomoću izraza  $\varphi=L/R$  definira se osjetljivost libele, koja se mjeri centralnim kutom  $\varphi$ , koji odgovara luku od 1 parsu (pomak od 2mm, tj.  $L = 2 \text{ mm}$ ). Osjetljivost libele to je veća (kut  $\varphi$  manji) što je radijus veći, tj. pomak mjehura uz istu promjenu nagiba veći (libela brže i uočljivije reagira na promjene mjernog položaja, pa se njom preciznije vrši horizontiranje). Cijevne libele, koje se upotrebljavaju kod ispitivanja nagiba u metaloprerađivačkoj industriji, nemaju veću osjetljivost od 10".

Razmak  $L$  između ucrtanih linija tj. vrijednost skale može biti dana u slijedećim mjernim veličinama:

- kutnim jedinicama
- vrijednostima nagiba mm/m.

Radijus zakrivljenosti postiže se savijanjem cjevčice ili kod preciznijih libela brušenjem sa unutarnje strane. Inače su cijevne libele osjetljive na uvjete okoline, tj. povećanje temperature uvjetuje da se tekućina rasteže smanjujući tako prostor za mjehurić i obratno. To se kompenzira tako da su glavne crtice (obično veće dužine) koje pokazuju središnji položaj mjehura postavljene na većem razmaku nego dužina mjehura kod  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Za otklanjanje rastezanja stakla cjevčice libele promjenom temperature, finije graduirane libele imaju elastično postolje za otklanjanje napetosti.

Prema konstrukciji libele dijelimo na:

- koincidentne libele
- tehničke libele
- kutne libele
- elektroničke libele

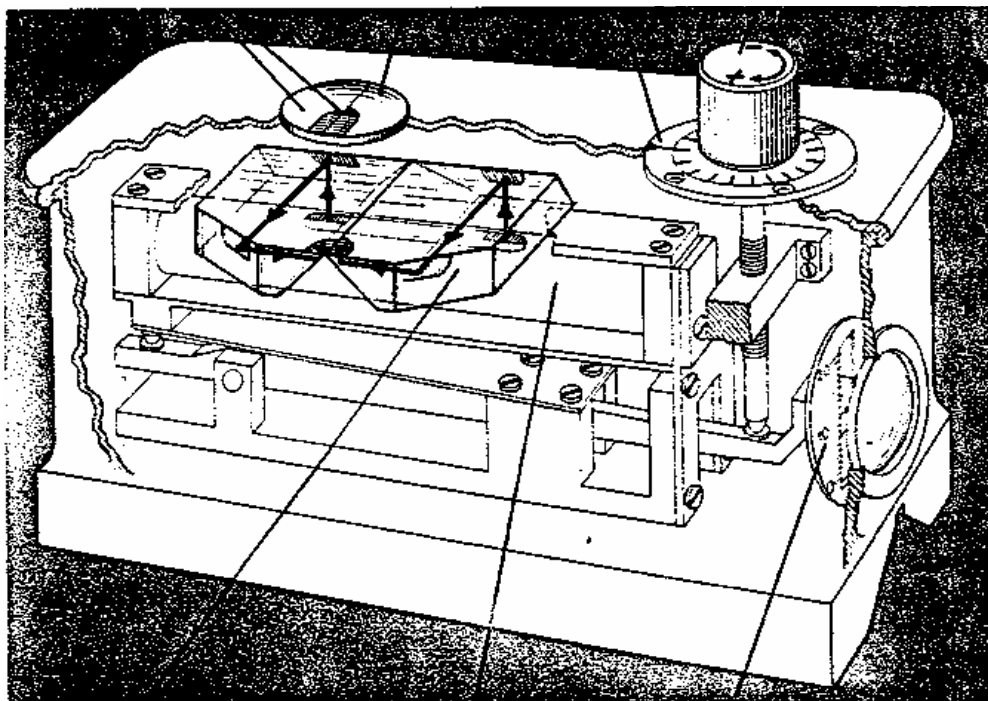
#### 4.2.1.1 Koincidentne libele

To su precizne libele za točna mjerenja nagiba ravnih i cilindričnih površina u odnosu na horizontalnu ravninu sa mogućnošću očitavanja nagiba od 0,01 mm/m što odgovara kutu od približno 2".

One se upotrebljavaju za mjerenje nagiba na šablonama, kutnicima, kutomjerima i sl., kao i za ispitivanje točnosti libela, horizontiranje radnih stolova, postolja, vodilica itd. Tom je libelom moguće mjerenje nagiba površine koji ne prelazi vrijednost  $\pm 10 \text{ mm/m}$ .

Pomoću metode koincidencije i optičkog povećanja, promjena kuta nagiba za 2" prikazuje se kao prividni put mjehura od 0,8 mm, što omogućuje da se i najosjetljivija mjerenja izvode brzo i lako.

Konstrukciona izvedba koincidentne libele prikazana u presjeku dana je na slici.

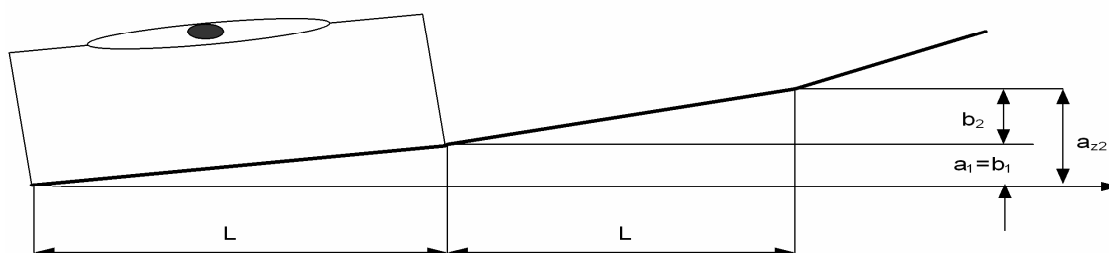


Slika 149: Koincidentna libela

Metoda koincidencije ostvaruje se pomoću specijalnog optičkog sistema sastavljenog od dvije prizme koje služe za preslikavanje krajeva mjehurića u zajedničku referentnu ravninu. Kada je libela postavljena horizontalno dolazi do zatvaranja konture slike krajeva mjehurića u kontinuiranu polukružnu liniju.

Cijevna se libela u horizontalan položaj dovodi pomoću mikrometarskog vijka, na kojem se nalazi fina skala za očitavanje nagiba, i poluge koja je vezana za cijevnu libelu. Gruba skala nalazi se na prednjoj strani koincidentne libele, a njezina marka je vezana za polugu za naganjanje cijevne libele.

**MJERENJE PRAVOCRTNOSTI SA LIBELOM**



$a_1$  - Očitavanje nagiba segmenta

$L$  - Duljina mjerne baze

$C=1000/L$  ;  $b_1 = a_1/C$

Slika 150: Mjerenje pravocrtnosti libelom



**Slika 151: Libela**

Proizvođač:	Carl Zeiss
Mjerno područje :	+/-10 mm/m
Podjela skale:	0,01 mm/m
Dimenzije:	165x47x100
Težina:	1.08 kg

#### **4.2.1.2 Tehničke libele**

Ove libele služe za ustanovljavanje horizontalnosti i vertikalnosti površina kod montaže strojeva i slične opreme gdje je ona zahtijevana.

Prema DIN 877 dijele se u 4 klase prema području vrijednosti skala uzdužne cijevne libele. Svako od njih dana je pripadajuća cijevna libela prema DIN 2276 sa vrijednošću podjele skale mm/m koje se kreću od 0,03 do 1,6 mm/m. Osim toga proizvođači ove opreme imaju svoje standarde koji su približno jednaki DIN standardu.

Tehničke se libele izrađuju uglavnom iz metala (za više klase obavezno) sa različitim dužinama mjernih ploha. Za otklanjanje toplinskih udara, kojima je uzrok rukovanje, precizni tip libela je načinjen iz kompaktnog odljevka i sadrži termički izoliranu ručku.

Cijevne libele (uzdužne i poprečne) smještene su u kućištima vezanim uz tijelo libela uz strogo ostvarenu horizontalnost i vertikalnost sa mjernim ploham.

Kod libela s izvedenim V- žlijebom pod 120° na mjernim ploham, omogućeno je ispitivanje horizontalnosti i vertikalnosti cilindričnih površina. Radna točnost tih libela u principu kreće se u granicama jedne podjele vrijednosti skale, osim ako se ne vrši mjerenje u strogim laboratorijskim uvjetima mjerenja.

### 4.2.1.3 Kutne libele

Upotrebljavaju se kod izrade strojeva i uređaja za točno mjerenje i ispitivanje položaja kuta na ravnim i cilindričnim dijelovima, te posebno za horizontiranje strojeva, strojnih dijelova, osovina itd.

Karakteristika tih libela je da specifičnom konstrukcijom omogućuju proširenje mjernog područja cijevnih libela tako da je kod nekih izvedbi kutnih libela omogućeno očitavanje u području  $0^\circ$  do  $360^\circ$ .

Osnovni element kutne libele je osjetljiva cijevna libela koja se nalazi u zasebnom kućištu čvrsto vezanom za rotirajući disk. Zakretanjem cijevne libele okreće se rotirajući disk, za koji je vezana kružna ploča sa skalom u kutnim vrijednostima.

Sve zajedno postavljeno je na horizontalno smještenu osovinu oslonjenu na kućištu. Postavljanjem mjerne površine kutne libele, koja može sadržavati i V-žlijeb za ispitivanje nagiba cilindričnih površina, te dovođenjem cijevne libele u horizontalnu poziciju rotiranjem diska, može se sa kružne skale očitati kutno odstupanje mjerene ravnine od horizontale. To je jedna od mogućnosti ostvarivanja nagiba koja se koristi u mjernoj tehnici.

Druga mogućnost mjerenja koju pružaju kutne libele je ostvarivanje kuta između dviju međusobno nagnutih površina. To se radi tako da se za svaku od površina odredi kutno odstupanje od horizontale i razlika tih dvaju očitavanja daje kut između tih ravnina.

Kutne libele proizvode se u nekoliko izvedbi sa različitom osjetljivošću i mjernom točnošću. Česti tip kutnih libela koji se susreću u radionicama je tip s metalnom ili staklenom kružnom skalom te mikrometarskim vijkom koji omogućuje očitavanje vrijednosti kuta nagiba do  $1'$ .

Kod kutnih libela sa mogućnošću direktnog optičkog očitavanja horizontiranje se vrši pomoću vlastite koincidentne libele sa mogućnošću namještanja unutar  $1''$ . Optički sistem pomoću kojeg se vrši očitavanje sa staklene kružne skale opremljen je uređajem za promatranje dviju nasuprotnih linija ( $180^\circ$ ) i vršenja koincidencije između njih, čime se smanjuje greška uzrokovana pojavom ekscentričnosti između montirane kružne skale i osi rotacije. Mjerno područje je  $360^\circ$ , a maksimalna greška koja može nastati između bilo koja dva očitavanja iznosi  $5''$ .

#### 4.2.1.4 Elektroničke libele

Elektroničke libele su precizni uređaji za horizontiranje i ispitivanje horizontalnosti i vertikalnosti ravnina i cilindara. Opremljene su sa elektronskom mjernom jedinicom koja daje odstupanja od horizontale i vertikale na galvanometru baždarenom u kutnim jedinicama ili vrijednostima nagiba mm/m.

Elektronska mjerna jedinica može biti zajedno s osjetnim elementom smještena u jednom kućištu na kojem su smještene mjerne plohe ili odvojena u zasebnom kućištu te spojena pomoću kabela s osjetnom jedinicom.

Proizvode se u različitim konstrukcijskim izvedbama, ali sa zajedničkom karakteristikom, a to je korištenje indukcijske zavojnice kao osjetnog elementa.

Prednosti elektroničke libele su mogućnost daljinskog očitavanja vrijednosti i vrlo dobra ponovljivost rezultata. Prikaz elektroničke libele dan je na slici ispod.



**Slika 152: Elektronička libela**

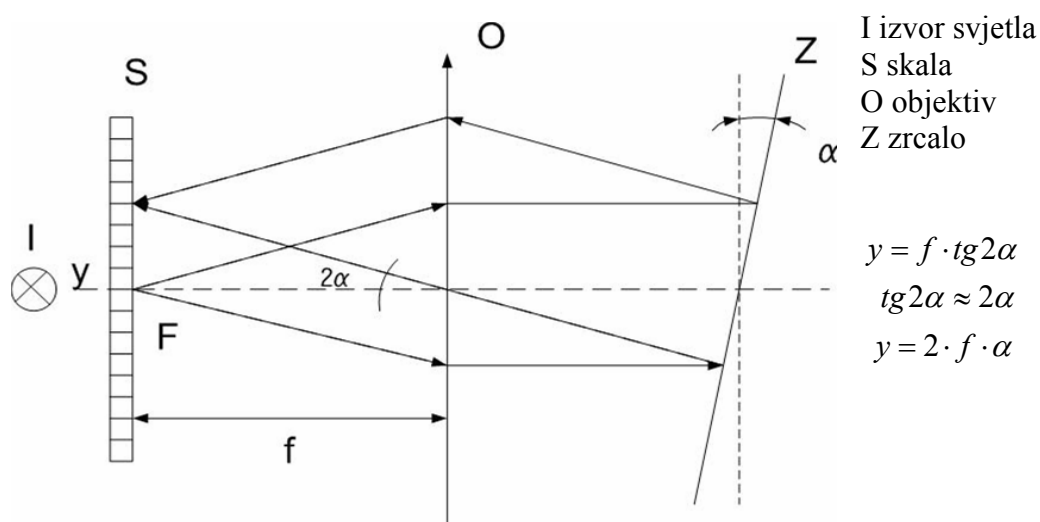
Mjerno područje:  $\pm 2,5$  mm/m,  $\pm 0,5$  mm/m i  $\pm 0,25$  mm/m

Podjela skale: 0,1, 0,02 i 0,01 mm/m

Dimenzije : 185x185x215 mm

### 4.2.2 Autokolimatori

Autokolimator je optički uređaj za ustanovljavanje malih vrijednosti kuta s velikom točnošću. Osnovni princip autokolimacije prikazan je na slici ispod.



Slika 153: Princip autokolimacije

U žarišnoj ravnini kolimacione leće smještena je mjerna skala koja se prosvjetljava izvorom svjetla. Slika skale preslikava se u beskonačnost. Ako se na put paralelnog svjetlosnog snopa stavi ogledalo te ukoliko ono ne stoji okomito na os autokolimatora, u okularu, koji sadrži ciljnu marku, dolazi do pomaka reflektirane slike skale prema ciljnoj marci u ovisnosti od nagiba ogledala po zakonu refleksije.

Na temelju tog osnovnog principa autokolimacije razvijen je čitav niz autokolimatora koji se međusobno razlikuju po konstrukciji i mjernim mogućnostima. Najčešće se susreće cijevni tip autokolimatora.

Da bi se smanjile dimenzije autokolimatora razvijen je specijalni tip, gdje žarišna duljina ostaje ista uz smanjenje dužine durbina. To se postiže pomoću dva paralelna ravna zrcala.

Ovisno o tipu autokolimatora postoje različiti načini očitavanja vrijednosti kutnih odstupanja. Uobičajena je izvedba s optičkim viziranjem i očitavanjem vrijednosti. Osnovna skala koja je reflektirana od ogledala vidljiva je u okularu, u kojem se nalazi nitni križ.

Postoje autokolimatori koji omogućuju očitavanje kutnih odstupanja u jednoj ravnini ili u dvije okomite ravnine (horizontalnoj i vertikalnoj). Mjerna područja, kao i vrijednosti podjele skala, ovise o konstrukcijskoj izvedbi, pri čemu mogu biti primjenjeni različiti optički sistemi uz korištenje mehaničkog ili optičkog mikrometerskog vijka.

Tipovi autokolimatora: -autokolimator s kontinuiranim servo namještanjem  
-autokolimator s automatskim pozicioniranjem  
-fotoelektrični autokolimator

Prikaz autokolimatora dan je na slijedećoj slici:



**Slika 154: Autokolimator**

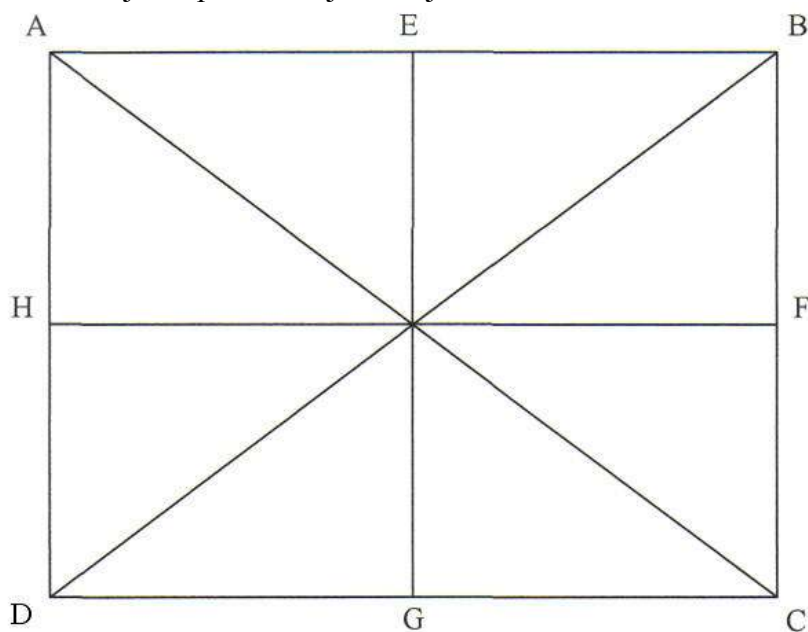
Proizvođač:	Carl Zeiss
Oznaka:	MU49-429
Serijski broj:	70001914
Mjerno područje:	+20'
Podjela skale:	4"
Mjerne osi:	2
Dimenzije:	200x290x130 mm
Masa:	3,3 kg



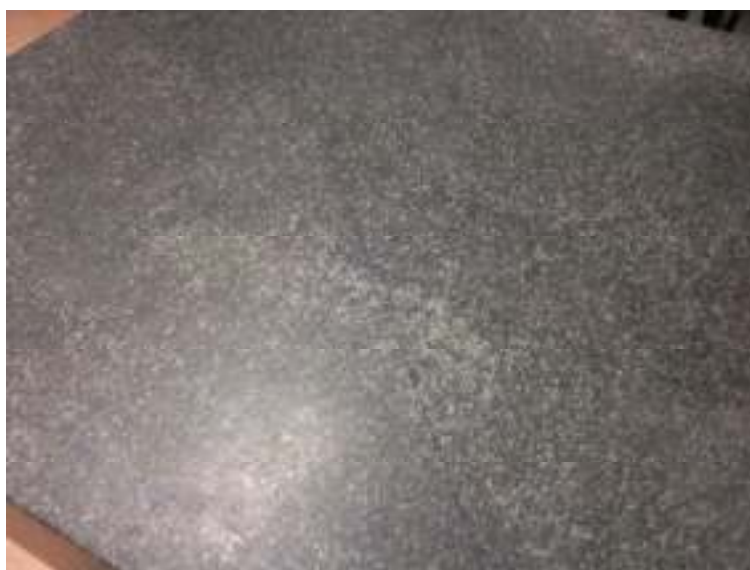
## 5 Eksperimentalni dio

### 5.1 Opis eksperimentalnog dijela

Ispitivanja ravnoće mjerne ploče metodom libele i autokolimatora provedena su na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina. Cilj mjerenja je ispitivanje ravnoće mjerne ploče dimenzija 600 mm x 600 mm metodom libele i autokolimatora, te usporedba dobivenih rezultata. Na mjernoj ploči sam ucrtao mrežu pravaca prema dijagonalnom tipu rasporeda pravaca ("Union- Jack") , te podijelio pravce na baze od 100 mm. Mjerenje se vrši po bazama od 100 mm na svim pravcima mjerne ploče i to u oba smjera radi ponovljivosti rezultata. Dobiveni se rezultati obrađuju programskim alatom Rank Taylor-Hobson. Prikaz mjerne ploče dan je na slijedećim slikama:



Slika 155: Dijagonalna ili "Union Jack" metoda



Slika 156: Mjerna ploča



**Slika 157: Mjerna ploča**

## 5.2 Metoda libele

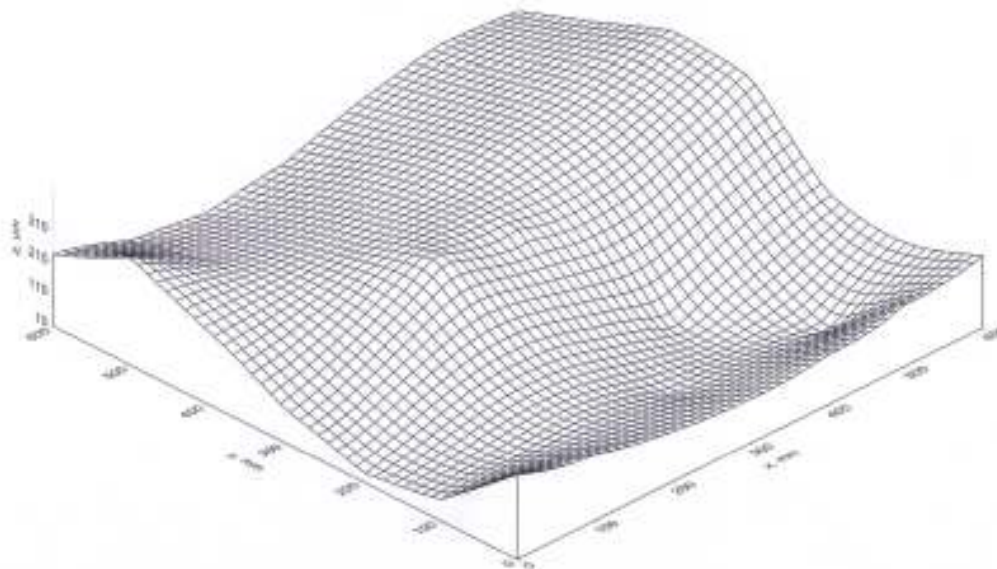
Ispitivanje ravnoće mjerne ploče je izvršeno koincidentnom libelom proizvođača Carl Zeiss-a s mjernim područjem od  $\pm 10$  mm/m. (Libela detaljno opisana u Opisu mjernih uređaja). Prikaz koincidentne libele na slici ispod:



**Slika 158: Koincidentna libela**

Postavio sam koordinatni sustav u točki D i krenuo s ispitivanjem. Očitavao sam dobivene vrijednosti baza pravaca AB, DC, AD, BC, AC, HF, EG i DB u mm/m i to za oba smjera, računao njihovu aritmetičku sredinu i pretvarao ih u kuteve (minute i sekunde). Slijedeći korak je upisivanje vrijednosti kuteva u programski alat Rank Taylor-Hobson, dobivanje rezultata i grafičkog prikaza površine mjerne ploče.

Prikaz površine mjerne ploče, mjerenje izvršeno libelom



**Slika 159: Grafički prikaz površine mjerne ploče, mjerenje libelom**

TABLICA 8: Prikaz rezultata mjerenja libelom

RANK TAYLOR-HOBSON  
LEICESTER ENGLAND

DATE: 06-26-2008  
IDENT: LIBELA  
MEASURED AREA: 600 mm x 600 mm

VARIABLE	VALUE SEC	COR. VALUE um	VARIABLE	VALUE SEC	COR. VALUE um
AB( 0)		236.4	HF( 0)		113.0
AB( 1)	-722.0	157.6	HF( 1)	-333.0	206.0
AB( 2)	-629.0	123.9	HF( 2)	-228.0	349.9
AB( 3)	-483.0	161.0	HF( 3)	-615.0	306.1
AB( 4)	-393.0	241.7	HF( 4)	-620.0	259.9
AB( 5)	-459.0	290.5	HF( 5)	-386.0	327.2
AB( 6)	-594.0	273.8	HF( 6)	-301.0	435.7
DC( 0)		273.8			
DC( 1)	-629.0	214.8			
DC( 2)	-608.0	166.0			
DC( 3)	-544.0	148.2			
DC( 4)	-471.0	165.8			
DC( 5)	-428.0	204.2			
DC( 6)	-441.0	236.4			
AD( 0)		236.4	EG( 0)		161.0
AD( 1)	378.0	349.9	EG( 1)	341.0	244.5
AD( 2)	-82.0	240.4	EG( 2)	271.0	294.1
AD( 3)	-119.0	113.0	EG( 3)	187.0	302.9
AD( 4)	-14.0	36.5	EG( 4)	-249.0	100.4
AD( 5)	217.0	72.0	EG( 5)	46.0	40.9
AD( 6)	560.0	273.8	EG( 6)	390.0	148.2
BC( 0)		273.8			
BC( 1)	387.0	361.7			
BC( 2)	404.0	457.8			
BC( 3)	160.0	435.7			
BC( 4)	-300.0	190.5			
BC( 5)	131.0	154.3			
BC( 6)	375.0	236.4			
AC( 0)		236.4	DB( 0)		273.8
AC( 1)	-503.0	225.3	DB( 1)	-620.0	90.0
AC( 2)	-418.0	272.5	DB( 2)	-265.0	149.7
AC( 3)	-475.0	280.6	DB( 3)	-161.0	280.6
AC( 4)	-876.0	13.8	DB( 4)	-250.0	350.5
AC( 5)	-507.0	0.0	DB( 5)	-371.0	337.5
AC( 6)	-142.0	236.4	DB( 6)	-445.0	273.8

MAX PEAK: 457.8 um AT BC 2

CLOSING ERROR IN HF: 25.5 um

CLOSING ERROR IN EG: 22.3 um



### 5.3 Metoda autokolimatora

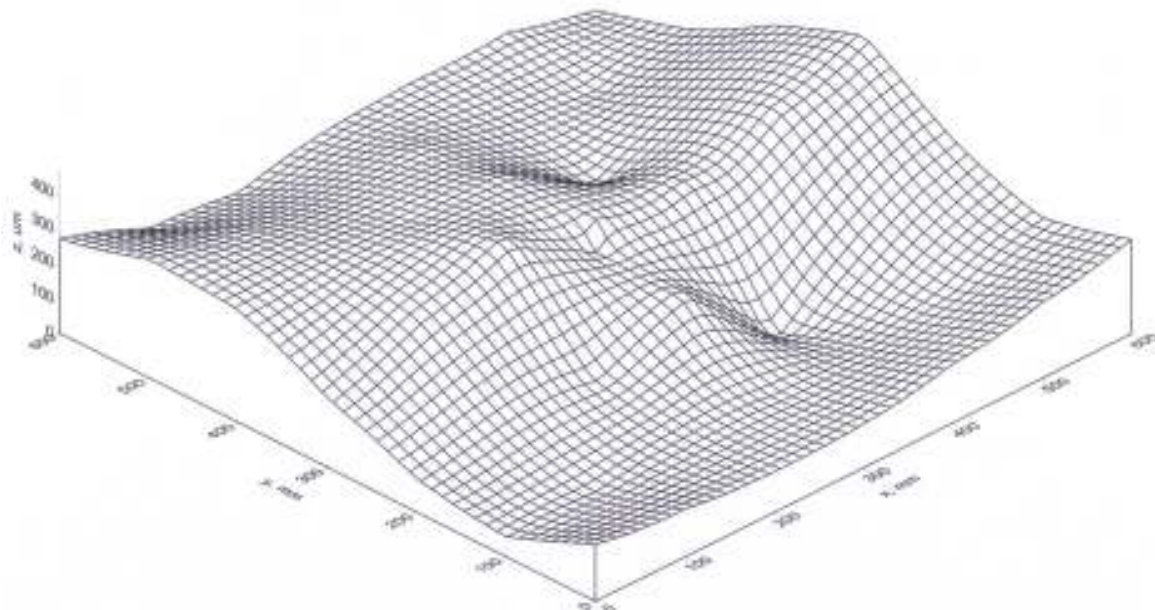
Ispitivanje ravnoće mjerne ploče je izvršeno autokolimatorom proizvođača Carl Zeiss-a s mjernim područjem od  $\pm 20'$ . (Autokolimator detaljno opisan u Opisu mjernih uređaja).



**Slika 160: Autokolimator**

Za ispitivanje ravnoće mjerne ploče autokolimatorom, koristio sam jednaki koordinatni sustav kao i kod libele. Očitavao sam vrijednosti baza pravaca AB, DC, AD, BC, AC, HF, EG i DB u oba smjera u minutama i sekundama. Slijedi upisivanje vrijednosti kuteva u programski alat Rank Taylor-Hobson, dobivanje rezultata i grafičkog prikaza površine mjerne ploče.

Prikaz površine mjerne ploče, mjerenje izvršeno autokolimatorom



**Slika 161: Grafički prikaz površine mjerne ploče, mjerenje autokolimatorom**

**TABLICA 9: Prikaz rezultata mjerenja autokolimatorom**

RANK TAYLOR-HOBSON  
LEICESTER ENGLAND

DATE: 06-30-2008  
IDENT: AUTOKOL  
MEASURED AREA: 600 mm x 600 mm

VARIABLE	VALUE SEC	COR. VALUE um	VARIABLE	VALUE SEC	COR. VALUE um
AB( 0)		278.1	HF( 0)		204.5
AB( 1)	⊘-1011.0	181.2	HF( 1)	-564.0	311.0
AB( 2)	-863.0	156.0	HF( 2)	-601.0	399.6
AB( 3)	-700.0	209.9	HF( 3)	-946.0	320.9
AB( 4)	-775.0	227.4	HF( 4)	-813.0	306.7
AB( 5)	-796.0	234.7	HF( 5)	-610.0	390.9
AB( 6)	-940.0	172.2	HF( 6)	-603.0	478.5
DC( 0)		172.2			
DC( 1)	⊘-1277.0	145.5			
DC( 2)	⊘-1268.0	123.1			
DC( 3)	⊘-1202.0	132.8			
DC( 4)	⊘-1132.0	176.4			
DC( 5)	⊘-1119.0	226.3			
DC( 6)	⊘-1115.0	278.1			
AD( 0)		278.1	EG( 0)		209.9
AD( 1)	-289.0	346.5	EG( 1)	-234.0	284.4
AD( 2)	-467.0	328.6	EG( 2)	-287.0	333.3
AD( 3)	-686.0	204.5	EG( 3)	-364.0	344.9
AD( 4)	-639.0	103.3	EG( 4)	-584.0	249.8
AD( 5)	-506.0	66.4	EG( 5)	-714.0	91.7
AD( 6)	-212.0	172.2	EG( 6)	-303.0	132.8
BC( 0)		172.2			
BC( 1)	-177.0	245.5			
BC( 2)	-44.0	383.3			
BC( 3)	-132.0	478.5			
BC( 4)	-677.0	309.4			
BC( 5)	-525.0	214.0			
BC( 6)	-196.0	278.1			
AC( 0)		278.1	DB( 0)		172.2
AC( 1)	⊘-1549.0	297.2	DB( 1)	192.0	71.0
AC( 2)	⊘-1529.0	330.0	DB( 2)	440.0	139.7
AC( 3)	⊘-1696.0	248.3	DB( 3)	498.0	248.3
AC( 4)	⊘-1939.0	0.0	DB( 4)	234.0	175.8
AC( 5)	⊘-1390.0	128.1	DB( 5)	360.0	189.8
AC( 6)	⊘-1358.0	278.1	DB( 6)	314.0	172.2

MAX PEAK: 478.5 um AT HF 6

CLOSING ERROR IN HF: 72.6 um

CLOSING ERROR IN EG: 96.6 um

## 6 ZAKLJUČAK

Svrha ovog završnog rada je određivanje mogućnosti Laboratorija za precizna mjerenja dužina za ispitivanje ravnoće površina alatnih strojeva, ispitivanje metodama libele i autokolimatora u eksperimentalnom dijelu rada, te usporedba samih metoda.

U završnom radu je prevedena norma ISO230-1 koja se odnosi na metode ispitivanja geometrijskih točnosti alatnih strojeva. U Laboratoriju za precizna mjerenja dužina LFSB-u odabrana je mjerna ploča i pripremljena za ispitivanje uz pomoć stručnog kadra Laboratorija. Na temelju znanja stečenih o metodama libele i autokolimatora izvršena su mjerenja ravnoće na odabranoj mjernoj ploči. Rezultati mjerenja su obrađeni programskim alatom Rank Taylor Hobson.

Na temelju izvršenih mjerenja pomoću libele i autokolimatora, zaključio sam da je metoda libele zahtjevnija pri ispitivanju odabrane mjerne ploče dimenzija 600mm x 600mm iz razloga što daje očitavanje kuta u mm/m te je potrebno izvršiti preračunavanje u minute i sekunde. Libela ima konstantnu referencu, a to je horizontala, dok se kod autokolimatora referenca mijenja zbog njegovog učestalog pomicanja pri mjerenju. Metoda autokolimatora je jednostavnija i pogodnija za ispitivanje mjernih ploča većih dimenzija i većih duljina mjernih baza. Svaka metoda ima svoje prednosti i mane, te je zato potrebno ovisno o uvjetima i predmetu ispitivanja ravnoće odabrati najprikladniju metodu.

## 7 LITERATURA

- Marko Ivić, Geometrijska točnost TOC-a, PowerPoint dijaprojeksija, Zagreb 2004.
- ISO230-1, Test code for machine tools, 1996.
- LFSB, baza podataka, Zagreb 2008.
- Dr.sc. Sanjin Mahović, Predavanja Ravnoća, Zagreb 2008.