

**Vaja 2:****Določanje merilne negotovosti merilnega sistema**

## Kazalo

<b>1</b>	<b>Uvod</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Definicija naloge</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Preizkuševališče</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Meritve</b> .....	<b>4</b>
4.1	Nastavitve in parametri okolice .....	4
4.2	Napake .....	5
4.3	Tabela meritev .....	6
<b>5</b>	<b>Grafi</b> .....	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Primer</b> .....	<b>8</b>
6.1	Merilnik hitrosti avtomobila .....	8
<b>7</b>	<b>Vprašanja</b> .....	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Zaključek</b> .....	<b>12</b>
<b>9</b>	<b>Literatura</b> .....	<b>13</b>
	<b>Priloga 1: Obrazec za vpis meritev in rezultatov</b> .....	<b>14</b>
	<b>Priloga 2: Meritve na testih (Kaj in kako merimo)</b> .....	<b>14</b>

## 1 Uvod

Namen vaje je spoznati pomen merilne negotovosti merilnih sistemov na praktičnem primeru. Noben merilni sistem v praksi seveda ni absolutno točen. Za določitev točnostnega razreda določenega sistema pa potrebujemo ustrezen referenčni merilni sistem, ki ima vsaj za en razred boljšo točnost kot sistem, ki ga merimo.

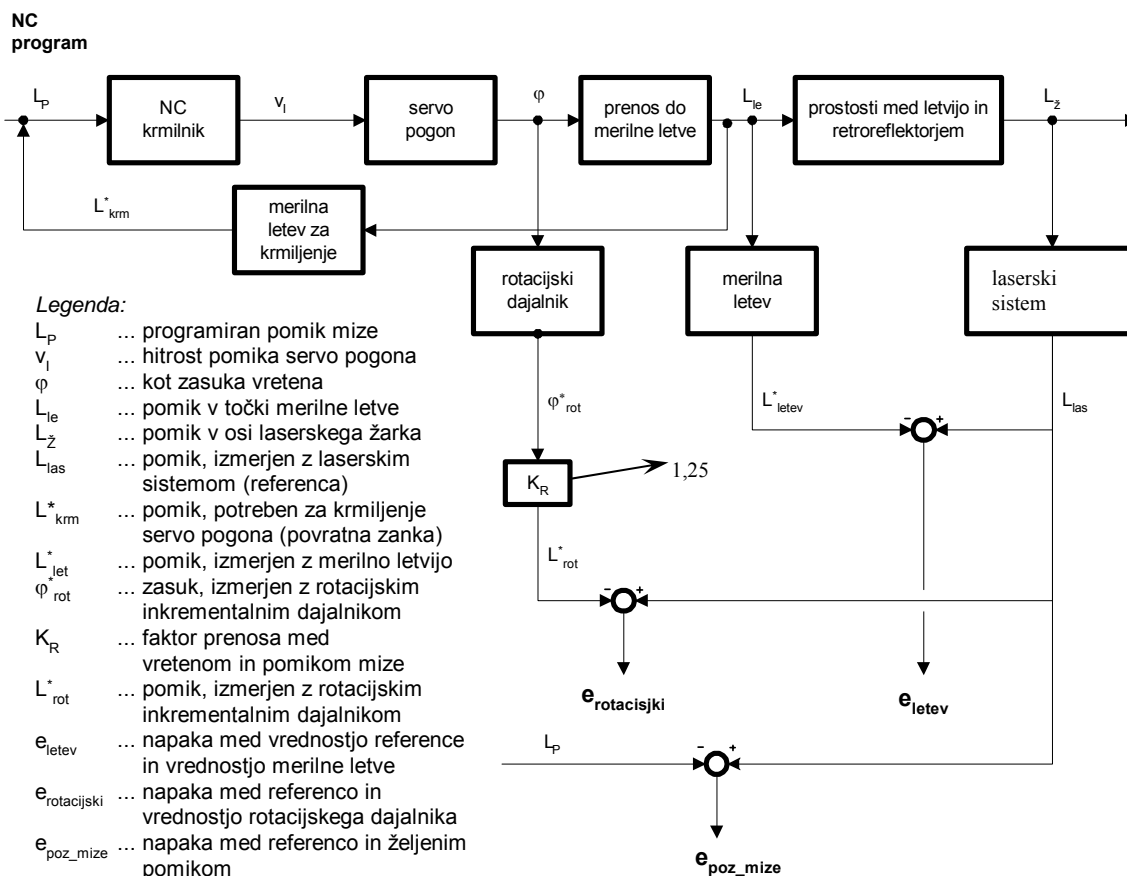
Objekt preizkušanja bodo inkrementalni dajalniki za merjenje pomika, ki so osnova skoraj vsakega numerično krmiljenega stroja. Študentje se bodo seznanili z osnovami delovanja inkrementalnih dajalnikov pomika.

Na vaji bo za referenčni merilni sistem uporabljen laserski merilni sistem, ki se uporablja predvsem za merjenje geometrijske točnosti obdelovalnih strojev. V skladu s tem bodo študentje spoznali tudi osnove laserskega merilnega sistema.

## 2 Definicija naloge

- Na postavljenem testnem mestu eksperimentalno preverite točnost obeh inkrementalnih dajalnikov pomika glede na laserski merilni sistem.
- Dodatno ocenite še mehanske napake CNC pozicionirne mize sistema
- Narišite vse diagrame napak za odvisnost pomika mize od merilnega sistema oziroma merilnega cikla.

## 3 Preizkuševališče



Slika na prejšnji strani prikazuje testno mesto za preverjanje točnosti merilne letve. Na pozicionirno mizo je v eni osi montirana merilna letev. Miza z letvijo se premika, drsnik letve je fiksno pritrjen na podnožje pozicionirne mize. Miza je gnana s servo pogonom, ki je krmiljen preko osebnega računalnika. Mizo pri meritvi pomikamo le v osi merilne letve, ostale osi so fiksirane.

Referenčni merilni sistem je laserski merilni sistem. Sistem sestavljajo laserski izvor, interferometer, retroreflektor, fotosprejemnik, kompenzacijska enota in računska enota. Laserski izvor je pritrjen na podlago pozicionirne mize. Retroreflektor je pritrjen na pozicionirno mizo tako, da je smer žarka vzporedna s pomikom mize v X smeri. Retroreflektor je v vertikalni odmknjen od drsnika merilne letve (zato je prisotna Abbejeva napaka).

Na vreteno, ki premika mizo, sta pritrjena servo pogon in rotacijski inkrementalni dajalnik zasuka.

## 4 Meritve

### 4.1 Nastavitve in parametri okolice

Za zgoraj opisani sistem smo opravili meritve in sicer po tri serije. Določili oziroma odčitali smo naslednje parametre preizkusa in okolice:

<b>Nastavitve :</b>	
Maksimalen pomik mize	400 mm
Dolžina pomika med dvema točkama merjenja	70 mm
Merilno območje	350 mm
Število točk meritve	6
Število pomikov	5

<b>Parametri okolice :</b>		
Temperatura zraka	17,64	°C
Zračni tlak	743,33	mm Hg
Relativna vlažnost	50	%
Temperatura merjenja	20,08	°C
<b>Konstante :</b>		
Razteznostni količnik merjenja	11,7	PPM/°C [Parts per million/°C]
Faktor kompenzacije materiala	0,99972	
Faktor kompenzacije okolice	0,99973	
<b>Parametri pri preizkusu :</b>		
Hitrost pomika	3	
Korak pomika	70	

Merilna dolžina	350
Število točk	6

Podatki o inkrementalnem dajalniku:	Linearni i.d.	Rotacijski i.d.	Prikazovalnik
Proizvajalec	RSF-Elektronik	RSF-Elektronik	/
Tip	MSA-3701	DG-120	Z-502
A/B signal	Da	/	/
Ločljivost [ $\mu\text{m}$ ] / [pulz/obrat]	r/4	1000	/

Laserski merilni sistem:	Glava	Kotni interferometer
Proizvajalec	HP	HP
Tip	5519-A	10770-A

Pozicionirna miza:	
Proizvajalec	Lakos
Tip	250-Lakos
Območje merjenja	350 mm – 400 mm

## 4.2 Napake

Absolutna napaka (pogrešek) je po dogovoru definirana kot:

$$e = L - L_{ref}$$

kjer je  $e$  napaka,  $L$  ciljna vrednost in  $L_{ref}$  referenčna vrednost izmerjena z vsaj desetkrat bolj natančnim merilnikom od preverjanega inštrumenta.

Za naš sistem izračunamo naslednje napake:

- Napaka merilne letve oziroma linearnega inkrementalnega dajalnika

$$e_{ld} = L_{ld} - L_{las}$$

- Napaka rotacijskega inkrementalnega dajalnika

$$e_d = L_{rd} - L_{las}$$

- Napaka pozicionirne mize

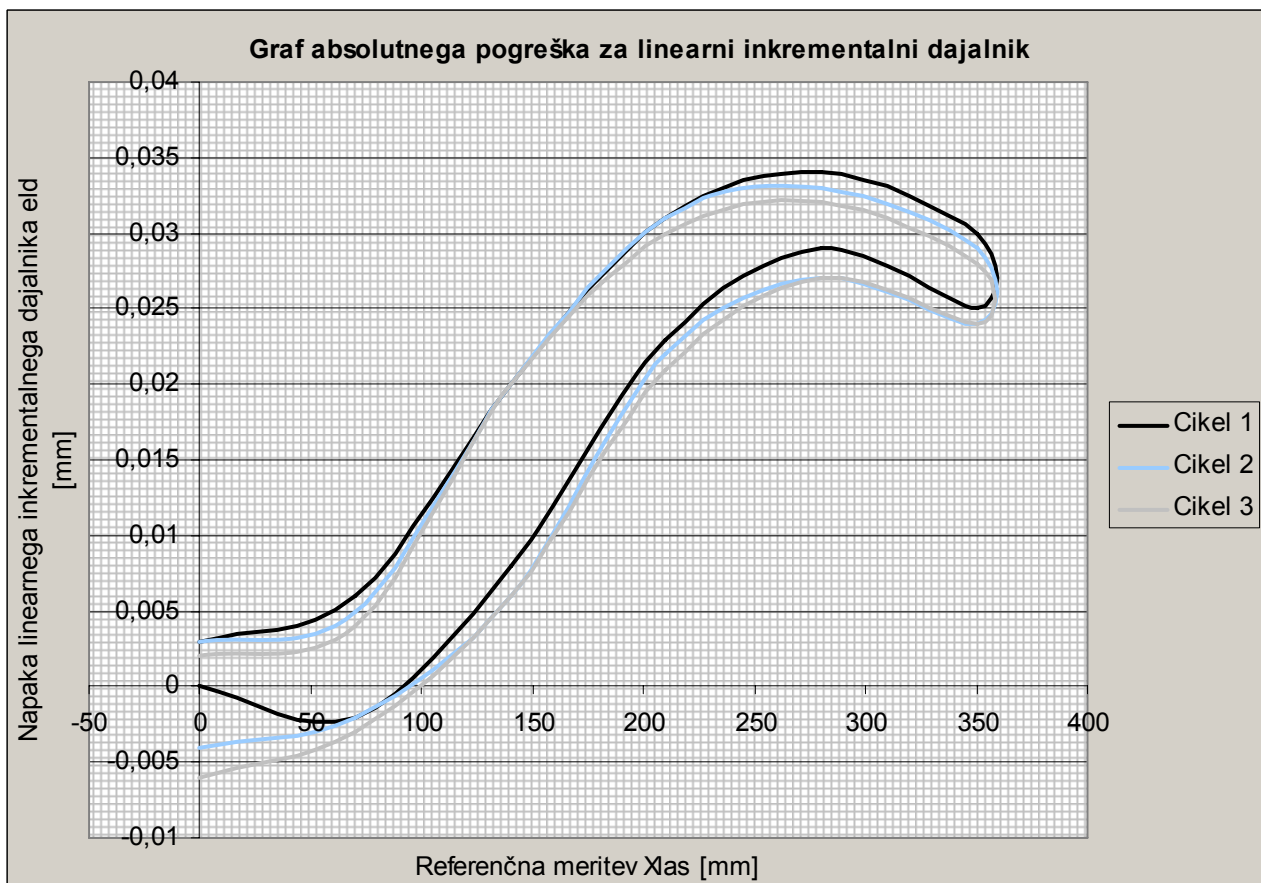
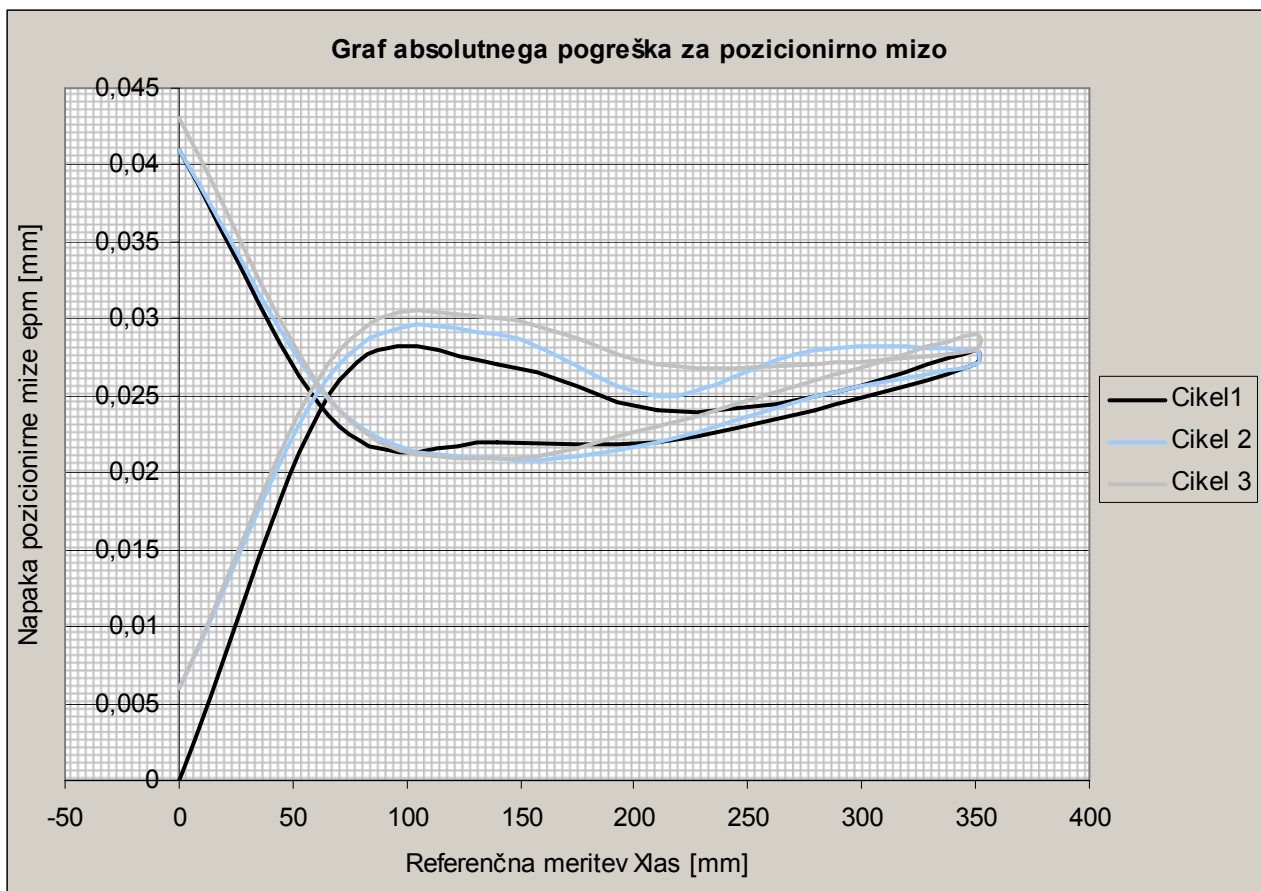
$$e_{pm} = L_{pm} - L_{las}$$

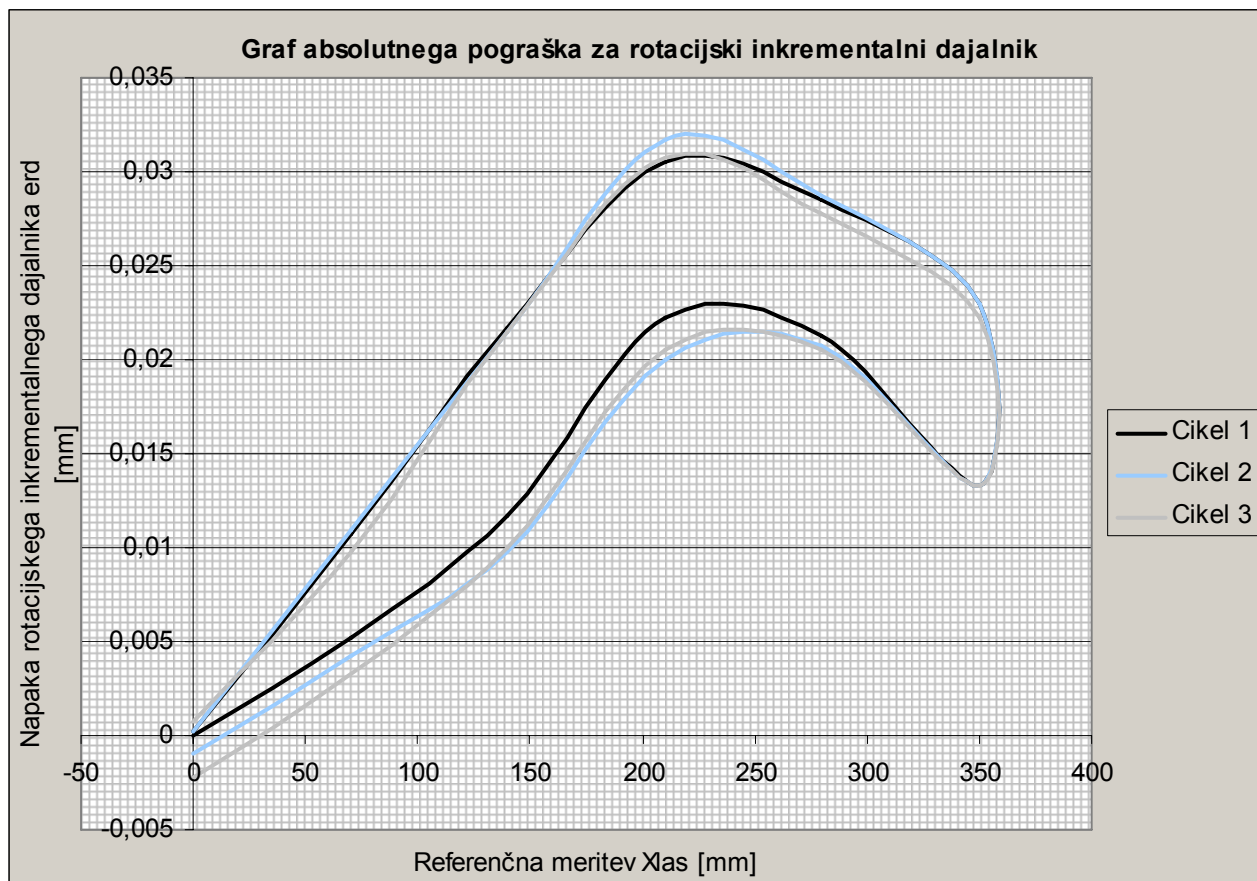
### 4.3 Tabela meritev

Tabela meritev in napak

Merilni cikel	Meritev	Ciljna vrednost	Meritev z laserjem-referenčnim sistemom	Meritev z linearnim dajalnikom	Meritev z rotacijskim dajalnikom	Meritev z rotacijskim dajalnikom	Napaka pozicionirne mize	Napaka linearnega dajalnika	Napaka rotacijskega dajalnika
		X [mm]	X <sub>las</sub> [mm]	X <sub>ld</sub> [mm]	X <sub>rd</sub>	X <sub>rd</sub> *1,25 [mm]	e <sub>pm</sub> =X - X <sub>las</sub> [mm]	e <sub>ld</sub> =X <sub>las</sub> - X <sub>ld</sub> [mm]	e <sub>rd</sub> =X <sub>las</sub> - X <sub>rd</sub> [mm]
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	70	69,974	69,976	55,975	69,96875	0,026	-0,002	0,00525
1	3	140	139,973	139,965	111,969	139,96125	0,027	0,008	0,01175
1	4	210	209,976	209,953	167,963	209,95375	0,024	0,023	0,02225
1	5	280	279,975	279,946	223,963	279,95375	0,025	0,029	0,02125
1	6	350	349,972	349,947	279,967	349,95875	0,028	0,025	0,01325
1	7	350	349,973	349,943	279,96	349,95	0,027	0,03	0,023
1	8	280	279,976	279,942	223,958	279,9475	0,024	0,034	0,0285
1	9	210	209,978	209,947	167,958	209,9475	0,022	0,031	0,0305
1	10	140	139,978	139,958	111,965	139,95625	0,022	0,02	0,02175
1	11	70	69,977	69,971	55,973	69,96625	0,023	0,006	0,01075
1	12	0	-0,041	-0,044	-0,033	-0,04125	0,041	0,003	0,00025
2	13	0	-0,006	-0,002	-0,004	-0,005	0,006	-0,004	-0,001
2	14	70	69,973	69,975	55,975	69,96875	0,027	-0,002	0,00425
2	15	140	139,971	139,965	111,969	139,96125	0,029	0,006	0,00975
2	16	210	209,975	209,953	167,964	209,955	0,025	0,022	0,02
2	17	280	279,972	279,945	223,961	279,95125	0,028	0,027	0,02075
2	18	350	349,972	349,948	279,967	349,95875	0,028	0,024	0,01325
2	19	350	349,973	349,944	279,96	349,95	0,027	0,029	0,023
2	20	280	279,975	279,942	223,957	279,94625	0,025	0,033	0,02875
2	21	210	209,978	209,947	167,957	209,94625	0,022	0,031	0,03175
2	22	140	139,979	139,959	111,966	139,9575	0,021	0,02	0,0215
2	23	70	69,976	69,971	55,972	69,965	0,024	0,005	0,011
2	24	0	-0,041	-0,044	-0,033	-0,04125	0,041	0,003	0,00025
3	25	0	-0,006	0	-0,003	-0,00375	0,006	-0,006	-0,00225
3	26	70	69,972	69,975	55,975	69,96875	0,028	-0,003	0,00325
3	27	140	139,97	139,964	111,968	139,96	0,03	0,006	0,01
3	28	210	209,973	209,952	167,962	209,9525	0,027	0,021	0,0205
3	29	280	279,973	279,946	223,962	279,9525	0,027	0,027	0,0205
3	30	350	349,972	349,948	279,967	349,95875	0,028	0,024	0,01325
3	31	350	349,971	349,943	279,959	349,94875	0,029	0,028	0,02225
3	32	280	279,974	279,942	223,957	279,94625	0,026	0,032	0,02775
3	33	210	209,977	209,947	167,957	209,94625	0,023	0,03	0,03075
3	34	140	139,979	139,959	111,966	139,9575	0,021	0,02	0,0215
3	35	70	69,976	69,972	55,973	69,96625	0,024	0,004	0,00975
3	36	0	-0,043	-0,045	-0,035	-0,04375	0,043	0,002	0,00075

## 5 Grafi





## 6 Primer

### 6.1 Merilnik hitrosti avtomobila

- Določite ločljivost merilnika hitrosti v vašem avtomobilu.



Ločljivost je količina, ki pove, v katerem primeru se še razločujejo podrobnosti pri opazovanju.

Merilnik hitrosti je prikazan na sliki levo. Ločljivost prvega dela merilnika (od 0 - 140 km/h) je 1 km/h, drugega dela merilnika (od 140 - 250 km/h) pa 3km/h.



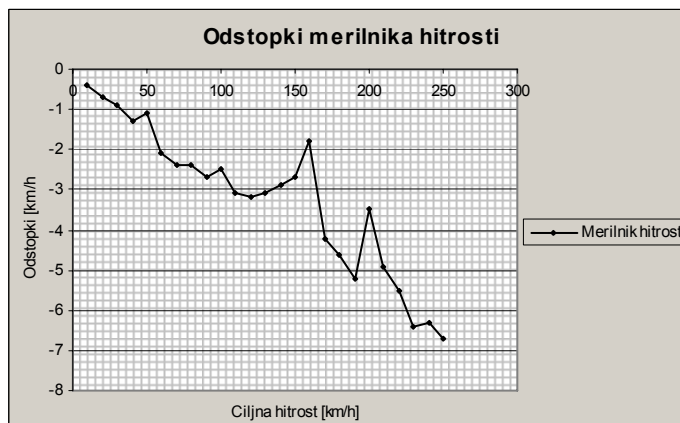
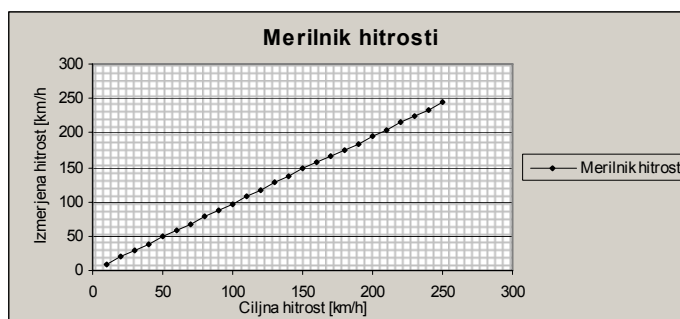
- Definirajte točnost merilnika hitrosti. Privzemite, da je dovoljena napaka pri 60 km/h enaka  $[+2, +7]$  km/h, ostale podatke, ki jih ne poznate si izmislite.

Točnost merilnika hitrosti je določena z merilno negotovostjo. Merilnik hitrosti je tako čim bolj točen, s čim večjo verjetnostjo lahko trdimo, da je merjena veličina v podanem intervalu  $[+2, +7]$  km/h. Točnost samega merilnika hitrosti bi lahko tudi opredelili z bolj natančnim sistemom oziroma etalonom. Hitrosti bi lahko ugotavljali z primerjavo raztrosa vrednosti glede na referenčni sistem. Natančnost hitrosti bo večja, čim manjši raztros bomo imeli.

- Skicirajte krivuljo napak iz namišljene meritve na celotnem merilnem območju merilnika hitrosti. Opišite referenčni merilni sistem za umerjanje in njegove karakteristike.

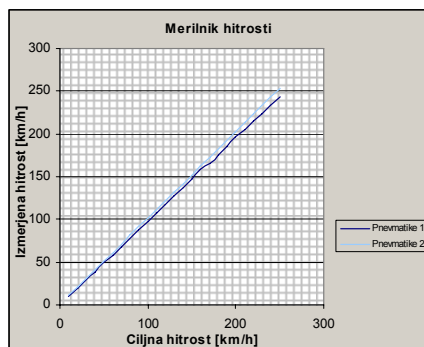
To vprašanje se nanaša tudi na zgornje. Pri 60 km/h mora biti napaka znotraj intervala  $[+2, +7]$  km/h. Z drugimi besedami povedano mora merilnik hitrosti glede na referenčno izmerjeno hitrost odstopati najmanj 2 km/h in največ 7 km/h. Tako recimo kaže pri referenčni hitrosti 58 km/h vrednost med 60 km/h do 65 km/h. Glede na zgornji zahtevi sem si izmislil naslednje podatke:

Ciljna hitrost	Izmerjena hitrost	Odstopki
10	9,6	-0,4
20	19,3	-0,7
30	29,1	-0,9
40	38,7	-1,3
50	48,9	-1,1
60	57,9	-2,1
70	67,6	-2,4
80	77,6	-2,4
90	87,3	-2,7
100	97,5	-2,5
110	106,9	-3,1
120	116,8	-3,2
130	126,9	-3,1
140	137,1	-2,9
150	147,3	-2,7
160	158,2	-1,8
170	165,8	-4,2
180	175,4	-4,6
190	184,8	-5,2
200	196,5	-3,5
210	205,1	-4,9
220	214,5	-5,5
230	223,6	-6,4
240	233,7	-6,3
250	243,3	-6,7



Referenčni merilni sistem za umerjanje merilnika hitrosti je lahko peto kolo pritrjeno ob bok avtomobila. Ker poznamo obseg oziroma parametre pritrjenega dodatnega kolesa lahko s pomočjo enačb izračunamo hitrost in jo primerjamo z hitrostjo odčitano z merilnika hitrosti. Na ta način postopek ponavljamo in umerimo merilnik. Gledano v splošnem se mi zdi še vredno omeniti, da je pri etalonu (referenci oziroma referenčnem merilnem sistemu) pomembno, da ima čim bolj linearno karakteristiko v merilnem območju. Ločljivost in natančnost etalona mora biti vsaj za desetkrat večja od preverjanega merilnega sistema.

- Razložite in prikažite na grafu nekatere predvidljive vzroke, ki lahko vplivajo na napako pri merjenju hitrosti.



Na napako pri merjenju hitrosti lahko vpliva več dejavnikov. Najpogosteje vplivajo na hitrost različne pnevmatike, sprememba temperature in sprememba tlaka, trenje, zračni upor, veter...

Levo je zgolj simboličen graf ki prikazuje spremembo hitrosti od izbire pnevmatike. Podobno lahko sklepamo tudi za ostale vzroke.

## 7 Vprašanja

- Razložite točnost merilnega sistema!

Merilna točnost je kvalitativen pojem. Gre za ujemanje rezultata s pravo vrednostjo merjene veličine. Bolj točen merilni sistem je tisti, ki ima majhno merilno negotovost oziroma lahko z večjo verjetnostjo trdimo, da je merjena veličina znotraj opredeljenega intervala.

- Kako bi določili točnost merilnega sistema, ki ga proizvajate?

Točnost proizvodnega merilnega sistema se določi z bolj točnim merilnim sistemom oziroma z referenco ali etalonom. Točnost merilnega sistema ugotovimo glede na raztros vrednosti v primerjavi z referenčnim merilnim sistemom (manjši ko je raztros, večja je merilna natančnost).

- Kakšne so zahtevane karakteristike referenčnega merilnega sistema pri merjenju točnosti?

Za referenčni merilni sistem je pomembno, da ima v svojem merilnem območju čimbolj linearne karakteristike. Natančnost in ločljivost morata biti vsaj desetkrat večja od preverjanega merilnega sistema.

- Razložite princip delovanja inkrementalnih dajalnikov!

LED presvetli masko in stekleno merilo kar povzroči da fotodioda zazna signal. Maska se pri tem giblje vzdolž merila. Signal na vhodu je konstanten, izhodni signal pa je žagasta funkcija.

- Kako določimo smer pomika pri inkrementalnih dajalnikih?

Pri inkrementalnih dajalnikih prerežemo masko po dolgem na dva dela in ju zamaknemo za četrtno reže. Tako je v eno smer zamik med signaloma ki ju prepuščata maski  $+1/4$ , v drugo smer pa  $-1/4$ . Zamik lahko zaznamo z merilnimi inštrumenti.

- Razložite delovanje laserskega merilnika razdalj!

Laser (I) oddaja koherentno svetlobo. Ta je sestavljena iz dveh pravokotno polariziranih komponent ( $f_1$  in  $f_2$ ). Na polprepustnem zrcalu (II) se ena odbije, druga pa prodre skozi. Prva potuje do fiksnega reflektorja (III), kjer se odbije, druga pa potuje do reflektorja (IV), ki je pritrjen na del gibajočega merilnega sistema. Če se reflektor (IV) premakne za  $\lambda/4$  naredi žarek  $\lambda/2$  večjo pot, kot pri mirujočem sistemu. Zaradi interference se pojavijo ojačitve in oslabitve, katere štejemo pri merilniku pomikov. Pomembno je, da zelo natančno poznamo vse parametre merjenja in delovanja, ker je laserski merilni sistem zelo občutljiv.

- Ali mora imeti kontrolni merilni sistem, s katerim preverjate točnost nekega merilnega sistema boljše ločljivost od merjenega. Obrazložite!

Ja, ker se lahko zgodi da v primeru slabše ločljivosti ne zaznamo dovolj dobro signala, da bi lahko natančno nadzorovali preverjan merilni sistem.

- Kako bi se spremenila točnost linearnega dajalnika, če bi ga prerezali na pol in kako, če bi ga dvakrat podaljšali? Kako lahko teoretično podaljšate linearni dajalnik tako, da bo imel isto točnost kot osnovni?

Če podaljšamo ali skrajšamo linearni inkrementalni dajalnik, se točnost spremeni zaradi linearnega temperaturnega koeficienta, raztros pa je enak. To napako lahko numerično zmanjšamo z ustreznim koeficientom. Teoretično lahko tako podaljšamo linearni inkrementalni dajalnik, vendar moramo množiti napako z neko določeno vrednostjo (koeficientom). Velja tudi obratno.

- Kako bi podali točnost rotacijskega merilnega dajalnika? Kako se spreminja točnost s številom obratov?

Točnost rotacijskega inkrementalnega dajalnika lahko podamo kot absolutni pogrešek merjen v [rad] ali pa z relativno napako, ki se pojavi pri enem obratu [rad/2 $\pi$ ]. Z večanjem števila obratov točnost pada zaradi prenosa informacij. Prenosni kabli zaradi svoje kapacitivnosti delujejo kot visokofrekvenčni filter.

- Zakaj se v računalniško vodenih strojih pogosteje kot rotacijski uporabljajo linearni dajalniki? Razložite!

Pri računalniško vodenih strojih se pogosteje uporabljajo linearni inkrementalni dajalniki, ker je z njimi lažje določiti pozicijo. V nasprotju s tem moramo pri rotacijskih dajalnikih upoštevati vijak, po katere se giblje delovna enota. Na tem mestu pride do pogreška zaradi zračnosti. Rotacijski

dajalniki pa imajo tudi dobro lastnost in sicer niso močno občutljivi na spremembe temperature okolice.

## 8 Zaključek

Merilna negotovost je parameter, ki je povezan z merilnim rezultatom in označuje raztros vrednosti, ki jih je mogoče upravičeno pripisati merjeni veličini. Zaključujem, da sem glede na vse dobljene meritve in izračunane napake ugotovil naslednje:

- Najbolj natančen je laserski sistem merjenja, katerega vrednosti smo privzeli za referenčne.
- "Prvi" najbolj natančen za referenčnim merilnim sistemom je linearni inkrementalni dajalnik. Do tega sklepa sem prišel na osnovi grafa, kjer se vidi da ima lin. i.d. najmanjši raztros vrednosti. Lin. i.d. ima to slabost, da se mu napaka večja z njegovo dolžino, vendar jo je mogoče odpraviti z korekcijskim faktorjem. V primerjavi z rotacijskim inkrementalnim dajalnikom se ga več uporablja in sicer zaradi lažje določitve pozicije.
- "Druga" najbolj natančna za referenčnim laserskim sistemom je pozicionirna miza. Če gledamo graf napak za pozicionirno mizo ugotovimo, da ima prav tako majhen raztros podatkov, le pri približevanju ničti vrednosti (vrednost=0) se raztros močno poveča. V osnovi je pozicionirna miza tudi linearni inkrementalni dajalnik.
- Najslabši se mi zdi rotacijski inkrementalni dajalnik ker ima največji raztros podatkov glede na narisani graf. Problem rotacijskih inkrementalnih dajalnikov je, da moramo upoštevati zračnost, ki je posledica razteznosti vijaka. Kot pri lin. i.d. je možno to napako odpraviti s korekcijskim faktorjem.
- Meritve smo opravili na tri decimalke natančno. Če bi privzeli natančnost na več decimalk bi po mojem mnenju prišli do zelo različnih rezultatov, ker bi imeli probleme s samim sistemom. S tem sem želel poudariti, da natančnost ni pogojena samo od kvalitete merilnega sistema vendar tudi od okolice. Tako smo recimo na vaji pokazali da laserske meritve od četrte decimalke naprej neprestano "plešejo". Tako točne vrednosti niso več konstantne, ker je prisotnih preveč zunanjih vplivov na sistem. Decimalke se spreminjajo zaradi nihanja temperature, nihanj oziroma vibracij podlage, "obremenitve" pozicionirne mize (če se naslonimo na pozicionirno mizo se merjene vrednosti razdalj skokovito spremenijo), spremembe tlaka, vlažnosti...
- Za resnejše meritve je potrebno izdelati ustrezno poročilo o preverjanju in umerjanju po ISO standardu. Ta standard predpisuje veliko zahtev. Nekatere med njimi so: Pri meritvi je potrebno izbrati naključne decimalke da se znebimo cikličnosti, stroj mora obratovati saj osem ur pred meritvijo, temperatura ne sme nihati za več kot  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , pri meritvi je potrebno opraviti "zamik" pri začetni in končni točki...

Sliki merilnega sistema:



skupina 9, podatki št.9



## **9 Literatura**

- [1] Laboratorij za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško tehnologijo & Laboratorij za proizvodnjo kibernetiko in eksperimentalne metode, Predloga za vaje 2005/2006, Ljubljana, Fakulteta za Strojništvo.

**Priloga 1: Obrazec za vpis meritev in rezultatov**

**Priloga 2: Meritve na testih (Kaj in kako merimo)**