



Univerza v Mariboru

*Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko*

Denis Krajnc

SISTEM ZA REGULACIJO REZALNIH SIL PRI VISOKOHITROSTNEM FREZANJU

Diplomsko delo

Maribor, julij 2011

Diplomsko delo univerzitetnega strokovnega študijskega programa Mehatronika UN

**SISTEM ZA REGULACIJO REZALNIH SIL PRI VISOKOHITROSTNEM
FREZANJU**

Študent: Denis Krajnc

Študijski program: 1.stopnja UN Mehatronika

Smer:

Mentor FS: doc. dr. Uroš Župerl, univ. dipl. inž. stroj.

Mentor FERI: izr. prof. dr. Aleš Hace, univ. dipl. inž. elektrot.

Lektor: prof. slov. jezika Aljoša Harlamov

Angleški lektor: George Yoeman MA

Maribor, julij 2011



Univerza v Mariboru

Fakulteta za elektrotehniko,

računalništvo in informatiko

Številka: BMEH-15

Datum in kraj: 10. 06. 2011, Maribor

Na osnovi 330. člena Statuta Univerze v Mariboru (Ur. l. RS, št. 1/2010)

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

1. ~~Denisu Krajncu, študentu univerzitetnega študijskega programa MEHATRONIKA, se dovoljuje izdelati diplomsko delo pri predmetu Mikrokrmilniki.~~
2. MENTOR FERI: izred. prof. dr. Aleš Hace
MENTOR FS: doc. dr. Uroš Župerl
3. Naslov diplomskega dela:
* SISTEM ZA REGULACIJO REZALNIH SIL PRI VH FREZANJU
4. Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:
CUTTING FORCE CONTROL SYSTEM IN HIGH SPEED MILLING
5. Diplomsko delo je potrebno izdelati skladno z "Navodili za izdelavo diplomskega dela" in ga oddati v treh izvodih (dva trdo vezana izvoda in en v spiralo vezan izvod) ter en izvod elektronske verzije do 10. 06. 2012 v referatu za študentske zadeve.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na senat članice v roku 3 delovnih dni.



Obvestiti:

- kandidata,
- mentorja,
- somentorja,
- odložiti v arhiv.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Urošu Župerlu za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomskega dela. Prav tako se zahvaljujem somentorju Alešu Haceju. Hvala tudi asistentu Marku Reibenschuhu za pomoč pri testiranju programske in strojne opreme ter Aljošu Harlamovu za lektoriranje diplomskega dela.

Posebna zahvala velja staršem, ki so mi med študijem stali ob strani.

SISTEM ZA REGULACIJO REZALNIH SIL PRI VISOKOHITROSTNEM FREZANJU

Ključne besede: obdelovanje, mehatronika, upravljanje sil, glasovno upravljanje, zajemanje podatkov, obdelovalni parametri, rezalni parametri

UDK: 621.86:681.5.015(043.2)

Povzetek

Glavni namen diplomskega dela je izdelati sistem, ki z digitalnim nastavljanjem podajanja regulira rezalno silo in posledično varuje rezalno orodje pred poškodbami in lomom, ter sistem, ki bo meril rezalne sile med postopkom visokohitrostne obdelave na frezalnem stroju. Z izmerjenimi silami želimo med postopkom frezanja nadzorovati dinamično obremenjenost orodja, stroja in obstojnost rezalnih ploščic.

CUTTING FORCE CONTROL SYSTEM IN HIGH SPEED MILLING

Key words: machining, mechatronics, force control, force control, data acquisition, machining parameters, cutting conditions

UDK: 621.86:681.5.015(043.2)

Abstract

The main purpose of this diploma work was to create a system which, by using digital settings, would regulate the cutting force and consequently protect the cutting tool from harm and breakage. In addition, it was to work on a system that would measure the cutting force during the high speed milling procedure. The aim was to use the measured forces in order to control the dynamic stress of the tool, the machine, and the persistence of milling lamella, during the milling procedure.

VSEBINA

1	UVOD	1
1.1	OPIS SPLOŠNEGA PODROČJA RAZISKAV.....	1
1.2	NAMEN, CILJ RAZISKAVE	1
1.3	STRUKTURA DELA	1
1.4	PREGLED STANJA	2
2	SPLOŠNO O FREZANJU	3
2.1	NAČINI FREZANJA	3
2.2	FREZALNO ORODJE	4
2.3	REZALNE SILE PRI FREZANJU	5
3	STROJNA OPREMA.....	6
3.1	KOMPONENTE STROJNE OPREME.....	6
3.2	DELOVANJE STROJNE OPREME	11
4	PROGRAMSKA OPREMA	14
4.1	INSTALACIJA PROGRAMA NATIONAL INSTRUMENTS LABVIEW.....	14
4.2	PREIZKUŠANJE PROGRAMSKE OPREME NI LABVIEW.....	20
5	PROGRAM ZA REGULACIJO REZALNIH SIL PRI VISOKOHITROSTNEM FREZANJU	22
5.1	SESTAVLJANJE BLOKOVNE PROGE ZA ZAJEMANJE SIL	22
5.2	SESTAVLJANJE PROGE ZA REGULACIJO SIL	26
5.3	SESTAVLJANJE PROGE ZA REGULACIJO PODOJANJA, ŠTEVILA VRTLJAJEV IN KOMUNIKACIJE S CNC KRMILJEM.....	27
6	DELOVANJE SISTEMA ZA REGULACIJO REZALNIH SIL PRI VISOKOHITROSTNEM FREZANJU	29
6.1	KOMUNIKACIJA PROGRAMSKE OPREME NI LABVIEW S CNC KRMILJEM FAGOR 8040 PREKO PODATKOVNEGA KABLA RS 232 IN USB PRIKLJUČKA	29
6.2	REGULACIJA PODOJANJA IN ŠTEVILA VRTLJAJEV	31

6.3	ODPIRANJE COM PORT-A	32
6.4	CIKLIČNO REDUNDANČNO KODIRANJE (CRC)	34
6.5	PRENOS SPOROČIL	35
6.6	DNC KOMUNIKACIJA V PROGRAMU LABVIEW	36
7	REZULTATI.....	39
7.1	ANALIZA MERITEV	39
8	SKLEP	40
9	ZAKLJUČEK	41
10	VIRI	42
11	PRILOGE.....	43

UPORABLJENI SIMBOLI

E	-	modul elastičnosti [N/mm ²]
F	-	sila [N]
σ_n	-	normalna napetost [N/mm ²]
τ	-	tangencialna napetost [N/mm ²]
a_p	-	globina reza [mm]
ρ	-	gostota [g/cm ³]
λ	-	toplotna prevodnost [W/m.K]
ζ	-	specifična upornost [Ohm mm ² /m]
c	-	specifična toplota [J/g.K]
f	-	podajanje [mm/min]
t	-	čas [s]
n	-	število obratov [min ⁻¹]

UPORABLJENE KRATICE

CAD - Computer Aided Design

FS - Fakulteta za strojništvo

ISO - International Organisation for Standardization

MKE - Metoda končnih elementov

NI - National Instruments

FPGA - Field - Programmable Gate Array

RAM - Random Access Memory

PCI - Peripheral Component Interconnect

NOS - Number Of Samples

CNC - Computer Numerical Control

PFI - Programmable Function Interface

NIST - National Institute of Standards and Technology

LAN - Local Area Network

BNC - Bayonet Neill–Concelman konektor

USB - Universal Serial Bus

ASCII - American Standard Code for Information Interchange

COM1 - komunikacijska vrata

CRC-16 - kontrolna koda pri prenosu podatkov

DNC - direktno numerično krmiljenje

DNCFRO - DNC-spremenljivka za korekcijo podajanja (%)

DNCSSO - DNC-spremenljivka za korekcijo vrtilne hitrosti (%)

EIA RS-232 - standard za povezavo dveh računalnikov s serijsko povezavo

FRO - (Feedrate Override) korekcija podajanja (%)

NI-DAQ - paket za zajemanje podatkov (National Instruments)

1 UVOD

1.1 Opis splošnega področja raziskav

Diplomsko delo zajema sistem za merjenje rezalnih sil med procesom visokohitrostne obdelave in sistem za regulacijo rezalnih sil pri visokohitrostnem frezanju. Oba sistema sta povezana v programskem okolju National Instruments LabVIEW, v katerem smo izdelali program. Ta predstavlja le del celote, ki zajema še CNC krmilje, obdelovalni center in merilne naprave. S temi komponentami smo samo področje raziskav zelo razširili, predvsem v smeri avtomatike in strojništva.

1.2 Namen, cilj raziskave

Naš namen je bil izdelati programsko orodje s pomočjo NI LabVIEW, ki uporabniku omogoča grafično spremljanje vrednosti sil in njihovo regulacijo ter obenem še nastavljanje vrednosti podajanja in vrtljajev samega orodja. Vse to smo želeli upravljati v enem samem programu, ki se izvaja na prenosnem računalniku v NI LabVIEW, saj je uporaba okolja Windows in NI LabVIEW uporabniku prijaznejša in lažje razumljiva kot npr. nastavljanje parametrov na CNC čelni plošči.

1.3 Struktura dela

Diplomsko delo zajema opis programske in mehanske strukture sistema regulacije rezalnih sil pri visokohitrostnem frezanju in njegovega delovanja, torej instalacijo programske opreme NI LabVIEW in sestavo programa, povezavo vseh členov regulacije v regulacijsko progo ter preizkušanje delovanja na dejanskem modelu.

1.4 Pregled stanja

Frezanje kot obdelovalna tehnika je že precej raziskano in tudi v slovenskih pisnih virih razdelano področje, prav tako tudi meritve sil. Tak regulacijski krog, kot smo ga povezali mi v sistemskem okolju LabVIEW, pa še ni bil ne opisan in ne izdelan, vsaj v slovenskih virih tega nismo zasledili. Regulacija kot taka je, kar se tiče študijske snovi, neke vrste "novost", saj je tudi študijska smer Mehatronika še sorazmerno nova in se temelji šele postavljajo. Sistemsko okolje LabVIEW razvijalci že nekaj let redno izboljšujejo in prilagajajo uporabnikom, za posodobitve in razvoj skrbi med drugim tudi njihov slovenski center s svojo poslovalnico v Celju. Z regulacijskim krogom utiramo novo pot regulacijam in večamo avtomatiziranost obdelovalnega postopka frezanja.

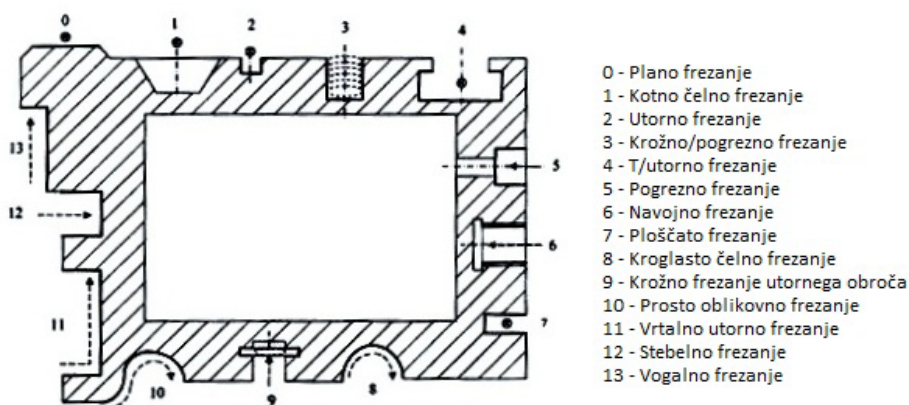
2 SPLOŠNO O FREZANJU

Frezanje, včasih tudi rezkanje, spada med nekontinuirane večrezilne postopke. Kot rezalni del obravnavamo samo del rezil frezala in še na teh rezilih je prerez odrezka različen. Vsak začetek kot tudi konec rezanja posameznega rezila na frezalu je udarec, kar povzroča dinamične obremenitve in vibracije. Frezanje je postopek odrezavanja, pri katerem glavno gibanje (vrtilno) opravlja orodje oziroma frezalo, podajalna gibanja pa večinoma izvedemo s premikanjem obdelovanca. Frezanje velja za drugi najpomembnejši način oziroma postopek odrezavanja, takoj za struženjem.

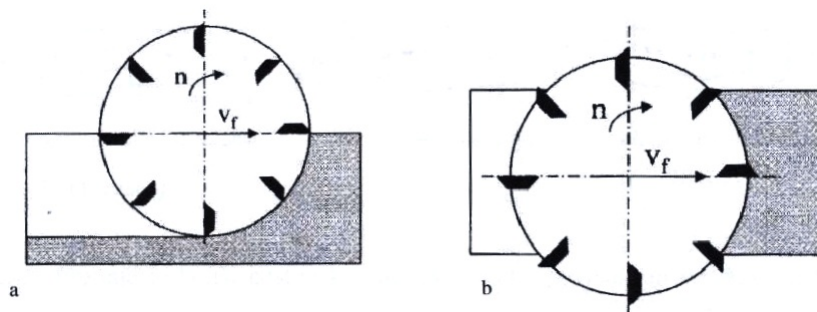
2.1 Načini frezanja

Poznamo dva osnovna načina frezanja: čelno in valjasto frezanje. Pri valjastem frezanju ima frezalo rezila na obodu. Na valjasto frezalo z ravnimi rezili na obodu ne delujejo aksialne sile, medtem ko na valjasto frezalo s poševnimi zobmi aksialne sile delujejo. Razlikujemo istosmerno in protismerno valjasto frezanje.

O čelnem frezanju govorimo takrat, ko imamo os frezala pravokotno na obdelovalno površino. Čelno frezalo ima rezalne robove tako na obodu kot tudi na čelni strani. Poznamo protismerno, istosmerno in simetrično čelno frezanje.



Slika 1: Načini frezanja



Slika 2: a) valjasto frezanje, b) čelno frezanje

2.2 Frezalno orodje

Frezala so lahko iz hitroreznega ali orodnega jekla. Pri frezalnih glavah pogosto uporabljamo karbidne trdine, saj so rezalne hitrosti že dovolj velike. Pri kaljenju se frezalo zelo rado izkrivi, ker se k temu nagiba že sama oblika. Če frezalo ne teče centrično, so nekatere ostrine bolj obremenjene od drugih, obraba je neenakomerna, slabša je kvaliteta površine in stroj se med obdelavo trese.

Večinoma uporabljamo za frezanje standardna frezala; posebne izvedbe prihajajo v poštev praktično samo pri profilnih frezalih z individualno izbranimi profili. Kot standardna frezala lahko smatramo tudi izvedbe, ki jih serijsko izdelujejo specializirane tovarne in jih imajo stalno na zalogi, niso pa zajete v uradnih standardih.



Slika 3: Frezalna orodja

2.3 Rezne sile pri frezanju

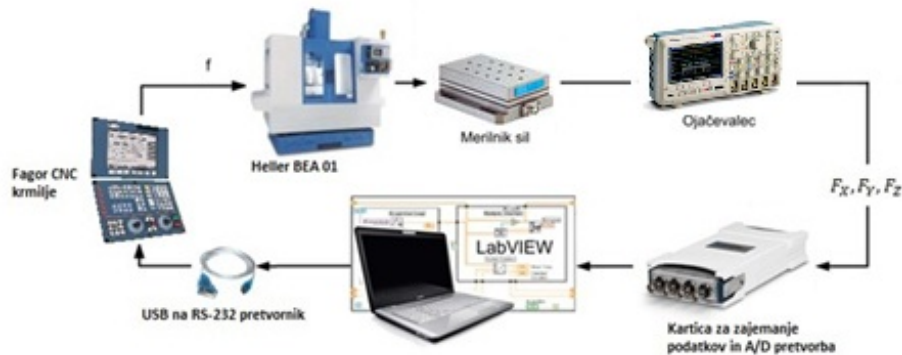
Rezne sile pri frezanju se ves čas spreminjajo, ker se med vrtenjem frezala spreminja debelina odrezka. Odvisne so tudi od tega, koliko zob reže hkrati. Ker konice zob opisujejo komplicirane krivulje (podaljšane cikloide), je natančno računanje zelo težavno. V praksi računamo debelino odrezka po približnih, bolj preprostih enačbah, ki pa dajejo skoraj enake vrednosti kot natančni izračuni. V našem primeru se nismo toliko ukvarjali z izračuni, temveč nas je zanimalo, na kakšen način zajemati sile na obdelovancu v smereh x , y in z .



Slika 4: Smeri zajemanja rezalnih sil

3 STROJNA OPREMA

Naš sistem za regulacijo rezalnih sil pri visokohitrostnem frezanju lahko delimo na strojni in programski del, ki je nameščen na strojno opremo (prenosni računalnik). Na spodnji sliki je prikazan krog povezave vseh strojnih delov sistema regulacije, od zajemanja sil do prenosa podatkov na CNC krmilje, in obdelovalni center Heller BEA 01.



Slika 5: Regulacijski krog strojne opreme

3.1 Komponente strojne opreme

Pri izbiri vsakega člana smo morali biti pozorni, da so karakteristike vsake komponente posebej ustrezale našim predpostavkam. Tako smo na primer izbrali kartico za zajemanje podatkov, ki nam omogoča 4-kanalno zajemanje signala, skupno pa kar 400 000 zajetih vzorcev na sekundo.

Tabela 1: Kartica za zajemanje podatkov

Ethernet povezava	10/100 BASE-TX Ethernet port (100 Mbits/s)
Maksimalna oddaljenost z linijsko povezavo	Do 100 m na segment
Število PFI linij	Dve digitalni PFI liniji za proženje in vzorčno uro In/Out
Programska oprema	LabVIEW Signal Express LE data-logging
Vhodi	Štirje ± 10 V vhodi vse do 100 kS/s/kanal
Register	16-bit successive approximation register ADC
Kalibracija	NIST-traceable calibration



Slika 6: Kartica za zajemanje podatkov National Instruments 9215

Tabela 2: Računalnik Toshiba Satellite

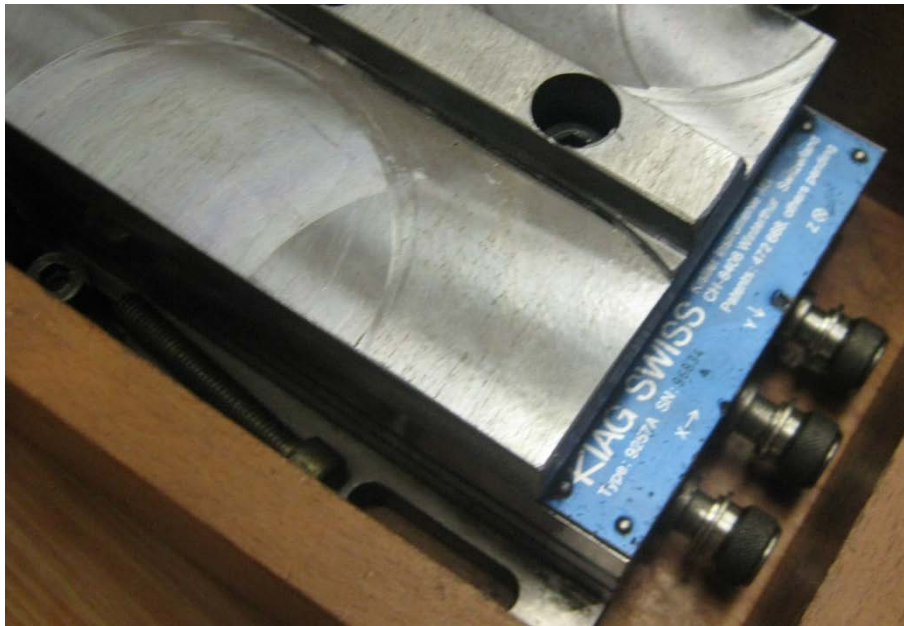
Operacijski sistem	Windows 7
Matična plošča	AMD Turion X2 dvojedni procesor RM-74 2.2 GHz
RAM	4,096MB DDR2 RAM (800 MHz)
Trdi disk	400 GB (5,400 obratov/min)
Grafična kartica	ATI Mobility Radeon HD 4570 supp. Hyper Memory tech.
Zunanje enote DVD/CD-ROM	DVD Super Multi drive (Double Layer)
Mrežna kartica	Fast Ethernet LAN 10BASE-T/100BASE-TX



Slika 7: Računalnik Toshiba Satellite L550D-107

Tabela 1: Merilnik za zajemanje sil Kistler Instruments AG 9257 A

Zajemanje sil	x, y, z os
Število BNC izhodov	3

**Slika 8:** Merilnik za zajemanje sil Kistler Instruments AG 9257 A**Tabela 4:** Ojačevalnik naboja Kistler Instruments AG 5001

Število vhodov, izhodov	3 vhodi, 3 izhodi
Območje transdukcijske občutljivosti	0,1...110 k



Slika 9: Ojačevalnik naboja Kistler Instruments AG 5001

Tabela 5: Podatkovni kabel

Število konektorjev na RS 232 vodilu	9
Verzija USB vodila	2.0



Slika 10: Podatkovni kabel za pretvorbo vodila RS 232 na USB

Tabela 6: Obdelovalni center Heller BEA 01

Dolžina, širina, višina	5520 mm, 4040 mm, 3350 mm
Leto izdelave	1986
Skupna moč, teža	24 kW, 11 ton
Delovno območje (x,y,z)	630 mm, 500 mm, 630 mm
Maksimalna teža obdelovanca	500 kg
Število orodij v skladišču	40/20 kosov
Delovno podajanje	1-10000 mm/min
Hitri hod	15000 mm/min
Sila pomika po x, y in z osi	x, y = 12500 N, z = 20000 N
Maksimalni moment	750 Nm
Območje vrtljajev	x...4000 min ⁻¹

**Slika 11:** Obdelovalni center Heller BEA 01**Tabela 7:** CNC krmilje Fagor 8040

Časovni zamik	12 ms
Leto izdelave	256 Kb z možnostjo povečanja do 1 Mb
Memkey spominska kartica	512 Kb z možnostjo povečanja do 2 Mb
Trdi disk	Opcijsko
Ethernet	Opcijsko
Komunikacijsko vodilo	RS-232



Slika 12: CNC krmilje Fagor 8040

3.2 Delovanje strojne opreme

Merilnik za zajemanje sil je občutljiv na sile v smereh x, y in z. Ko na merilnik pritrdimo obdelovanca, nanj z določeno silo pritiska orodje, s katerim ga obdelujemo. Te sile pretvorimo v signale in jih po treh linijah pošljemo do ojačevalnika signalov.

Ojačevalnik je bilo potrebno prednastaviti na pravo merilno območje glede na zajemanje podatkov. Samo območje smo nastavljali s spodnjim sredinskim vrtljivim gumbom, opazovali pa smo merilno območje nad njim. Ob vklopu smo morali ojačevalnik tudi »resetirati«, saj smo le tako lahko ponovno vzpostavili začetno stanje. Vklpili smo ga z gumbom spodaj desno, resetirali pa z gumbom na levi strani. Seveda pa je potrebno na tem ojačevalniku to storiti za vsako os posebej, saj ima vsaka os svoj ojačevalnik, kar lahko opazimo tudi na prejšnji sliki ojačevalnika.

Iz ojačevalnika dobimo ojačan signal v treh linijah, ki jih pripeljemo na vhode kartice za zajemanje podatkov. Le-ta signale obdela in jih pošlje v digitalni obliki na prenosni računalnik, v našem primeru je to Toshiba Satellite L550D-107, kjer imamo nameščen program za regulacijo sil, podajanja ter obratov.

Obdelane podatke pošljemo preko podatkovnega kabla do CNC krmilja. Podatkovni kabel pri tem opravlja pomembno nalogo, saj pretvarja podatkovno vodilo USB na serijsko vodilo RS-232. Slednje se lahko v prosti uporabi pojavlja v dveh različicah; 9-pinsko serijsko vodilo, kot ga uporabljamo v našem primeru, in 25-pinsko vodilo. Danes se v glavnem uporablja za priključitev vmesnikov za zajemanje podatkov in upravljanje zaradi preprostega programiranja. V sodobnem računalniku pa ga zaradi svoje univerzalnosti in hitrosti prenosa močno izpodriva USB. Leta 1997 se je RS-232 preimenoval v EIA-232.



Slika 13: RS-232 9-pinski in 25-pinski priključek

Univerzalno serijsko vodilo, krajše USB, je večnamensko vodilo, namenjeno priklopu različnih perifernih naprav na računalnik. K njegovi priljubljenosti prispeva preprostost uporabe. Prenos poteka po štirižilnem kablu; ozemljitev, napajanje +5 V in par za prenos podatkov. Hitrosti vmesnika USB so med 1,5 in 12 Mbps, različica USB 2.0 pa zmore delovati z višjo hitrostjo, in sicer do 480 Mbps.



Slika 14: USB priključek

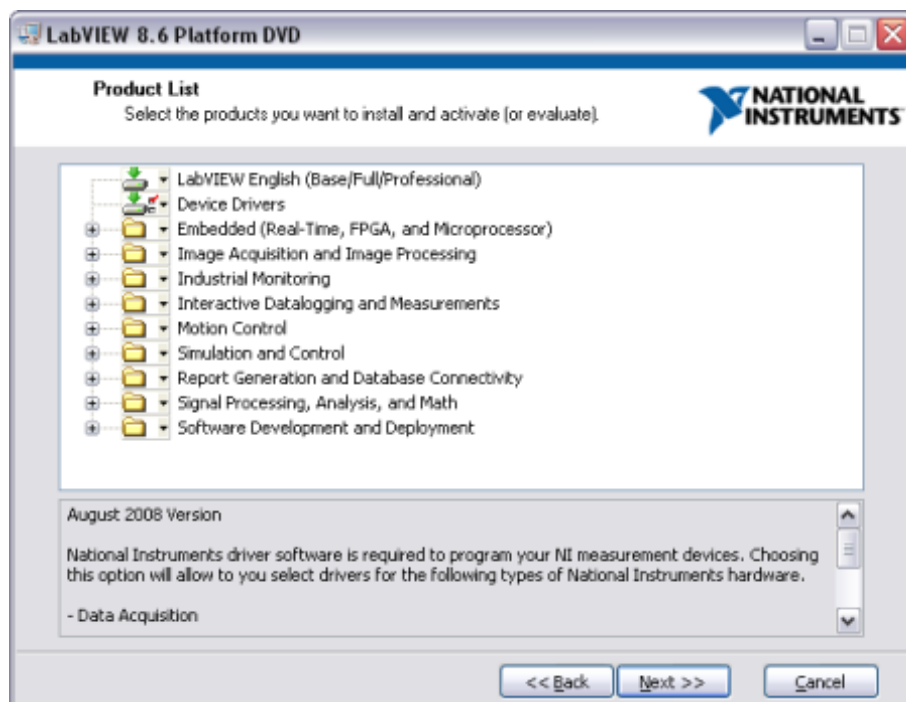
Ko CNC krmilje pridobi podatke, se spremenita vrednosti podajanja in števila obratov. Te se odzovejo po navodilu programa za regulacijo, nameščenega na računalniku. Iz CNC krmilja se potem podatki o številu vrtljajev in podajanju prenesejo na obdelovalni center Heller BEA 01, kjer se z orodjem na obdelovancu izvršijo ukazi.

4 PROGRAMSKA OPREMA

Družba National Instruments, ki obstaja od leta 1976, se je v zadnjih dveh desetletjih okoli NI LabVIEW vedno bolj razvijala. Novejši paketi vključujejo že več kot 25 dodatkov oziroma orodij, kar pomeni da se razvijajo, a so tudi vedno bolj zahtevni pri namestitvi. Za poenostavitev postopka namestitve se je pojavila nova različica NI LabVIEW 8.6. Praktično vse izdelke z gonilniki naprav NI je mogoče najti na skupno treh DVD-jih.

4.1 Instalacija programa National Instruments LabVIEW

Uporaba na področju avtomatizacije, krmiljenja ter regulacije zahteva več kot le "LabVIEW Development System" za namizje. Večinoma ima vgrajene tudi dodatke, kot sta "LabVIEW Real time" in "FPGA". Prejšnje pakete je bilo potrebno namestiti s pomočjo 6 CD-jev, CD-je v pogonu je bilo potrebno zamenjati petkrat, štirikrat pa je bilo potrebno operacijski sistem ponovno zagnati. Pomemben delež je prispeval uporabnik, ki se je moral soočiti s številnimi licenčnimi pogodbami ter pozivi za vnos serijskih števil. Z novo platformo pa so za vso instalacijo potrebni le trije DVD-ji.

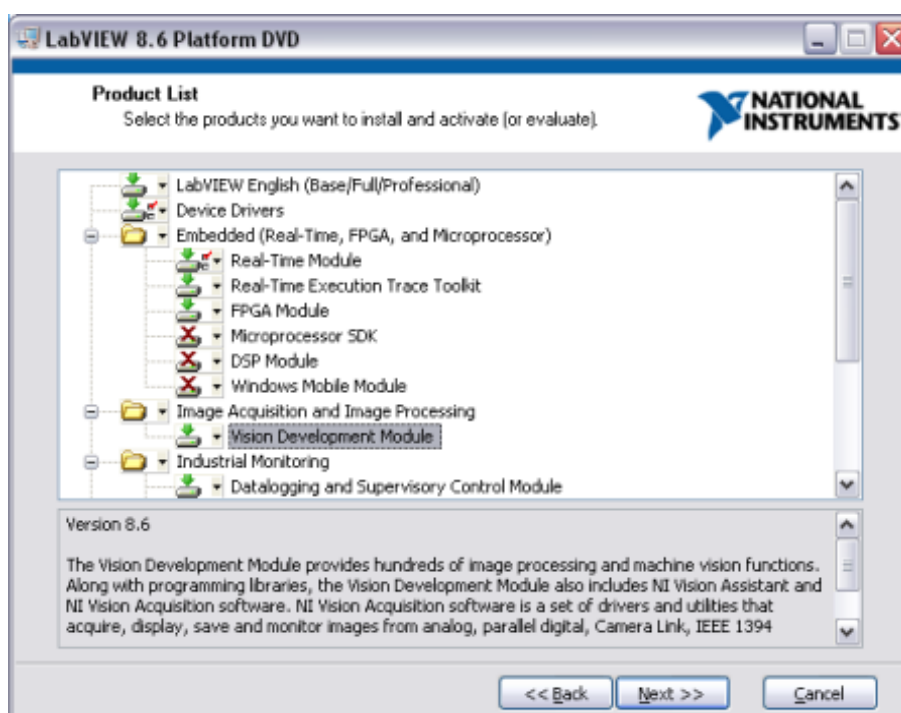


Slika 15: Razdelitev programska oprema LabVIEW na intuitivne kategorije

Platforma nadomešča predhodno izdane CD-je za namestitev dodatkov in orodij. National Instruments priporoča instalacijo platforme ob zagotovitvi kompatibilnosti med programom NI LabVIEW in njegovimi dodatki.

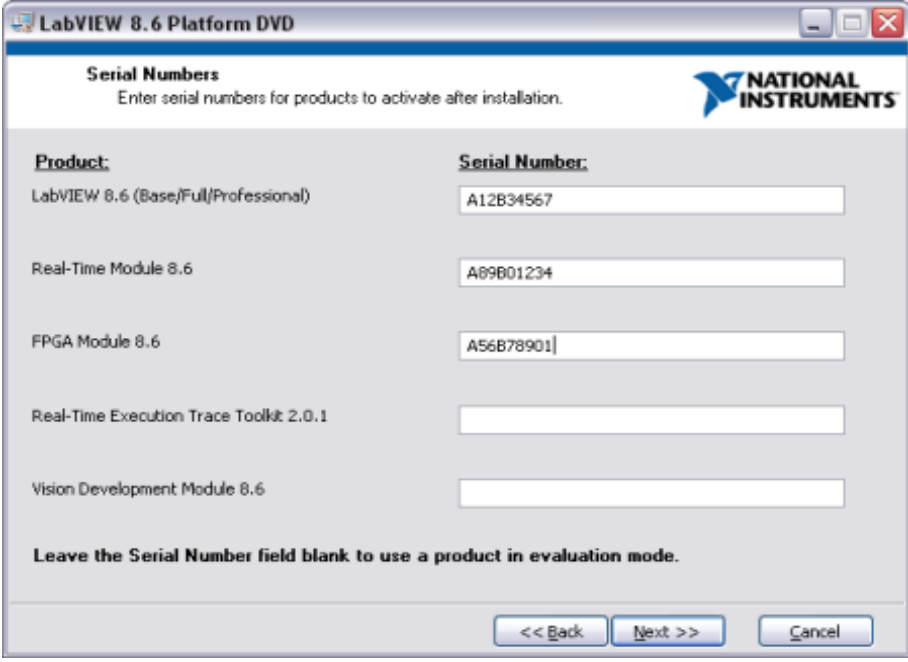
Vodič namestitve:

Prvi korak: Vstavite DVD 1 in izberite izdelke, ki jih želite namestiti. Namestitveni programi bodo za izbrane izdelke obdelani v ustreznem zaporedju.



Slika 16: V NI LabVIEW "Development System-u" lahko namestimo več kot 25 dodatkov

Drugi korak: Vpišite vaše serijske številke kupljenih izdelkov. Če želite izdelke samo oceniti lahko polje za serijsko številko pustite prazno, vendar lahko serijsko številko tudi kasneje vpišete s pomočjo programa "NI Licence Manager".

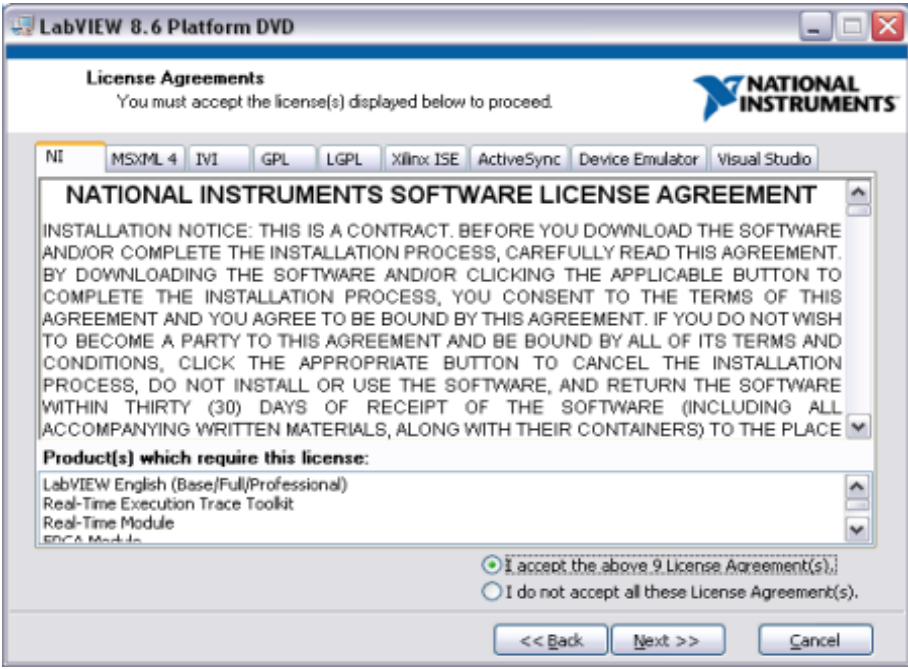


The screenshot shows a dialog box titled "LabVIEW 8.6 Platform DVD" with the "Serial Numbers" section. It prompts the user to "Enter serial numbers for products to activate after installation." The dialog contains a table with two columns: "Product:" and "Serial Number:". The products listed are LabVIEW 8.6 (Base/Full/Professional), Real-Time Module 8.6, FPGA Module 8.6, Real-Time Execution Trace Toolkit 2.0.1, and Vision Development Module 8.6. The serial numbers entered are A12B34567, A69B01234, and A56B78901. There are also empty input fields for the Real-Time Execution Trace Toolkit and Vision Development Module. At the bottom, there is a note: "Leave the Serial Number field blank to use a product in evaluation mode." and three buttons: "<< Back", "Next >>", and "Cancel".

Product:	Serial Number:
LabVIEW 8.6 (Base/Full/Professional)	A12B34567
Real-Time Module 8.6	A69B01234
FPGA Module 8.6	A56B78901
Real-Time Execution Trace Toolkit 2.0.1	
Vision Development Module 8.6	

Slika 17: Polja, kjer vpišemo serijske številke

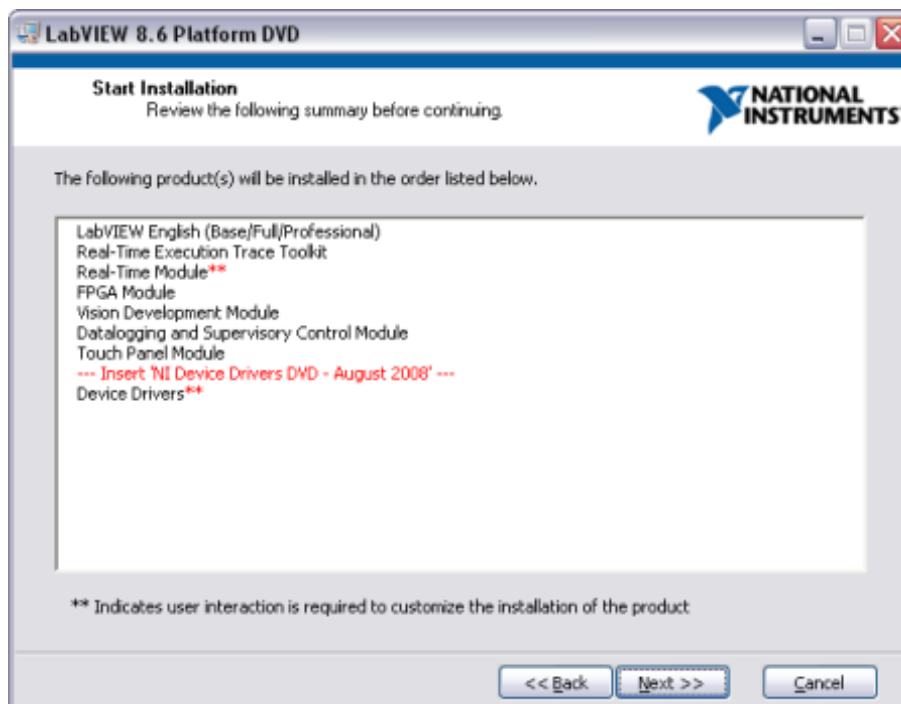
Tretji korak: Izberite namestitveni direktorij in sprejmite licenčno pogodbo, ki je prikazana na spodnji sliki. Upoštevajte, da je licenčna pogodba za vse izdelke zbrana v le enem oknu. To je edini korak v celotni namestitvi, ko bo program od vas zahteval sprejetje licenčne pogodbe.



The screenshot shows a dialog box titled "LabVIEW 8.6 Platform DVD" with the "License Agreements" section. It prompts the user to "You must accept the license(s) displayed below to proceed." The dialog contains a list of license agreements: NI, MSXML 4, IVI, GPL, LGPL, Xilinx ISE, ActiveSync, Device Emulator, and Visual Studio. The "NI" license agreement is selected and expanded, showing the "NATIONAL INSTRUMENTS SOFTWARE LICENSE AGREEMENT" text. Below the text, there is a section titled "Product(s) which require this license:" with a list of products: LabVIEW English (Base/Full/Professional), Real-Time Execution Trace Toolkit, Real-Time Module, and FPGA Module. At the bottom, there are two radio buttons: "I accept the above License Agreement(s).", which is selected, and "I do not accept all these License Agreement(s).". There are also three buttons: "<< Back", "Next >>", and "Cancel".

Slika 18: Licenčna pogodba zmanjšuje zahtevo po vnosu večih uporabnikovih podatkov

Četrty korak: Preverite navodila za namestitev na zaslonu, saj lahko le tako vidite, kdaj boste morali vnesti podatke. Ob potrebi zamenjave DVD-ja se vam bo na zaslonu prikazala ikona. Zvezdice označujejo polja, kjer mora uporabnik nujno vnesti podatke.



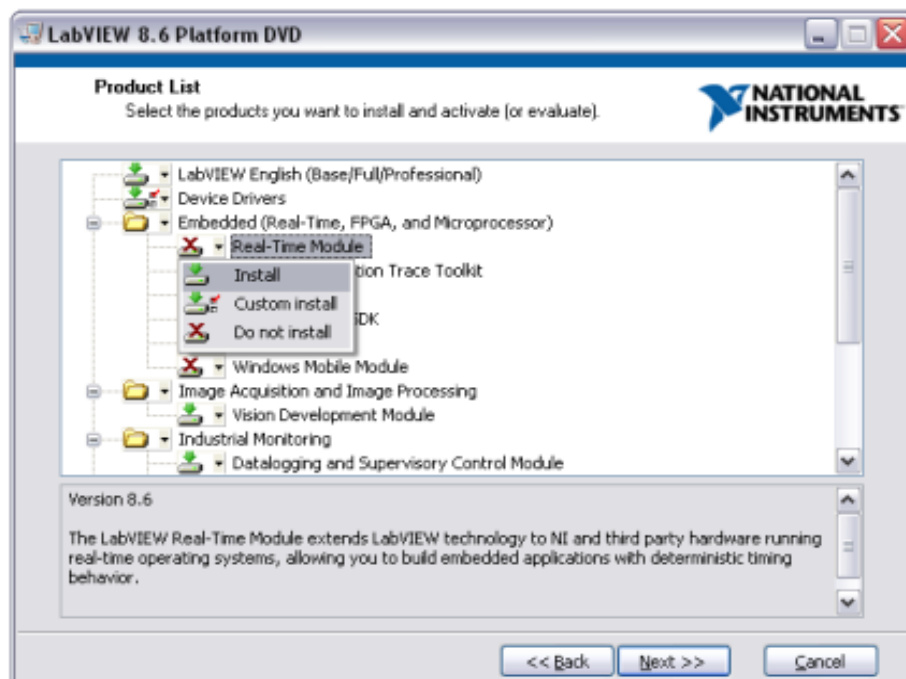
Slika 19: Začetek instalacije NI LabVIEW in izbranih dodatkov

Peti korak: Vstavite DVD 2 ali gonilnik na DVD-ju, ko namestitveni program to zahteva.

Šesti korak: Na koncu še preverite ali so vaši izbrani dodatki ter program pravilno nameščeni.

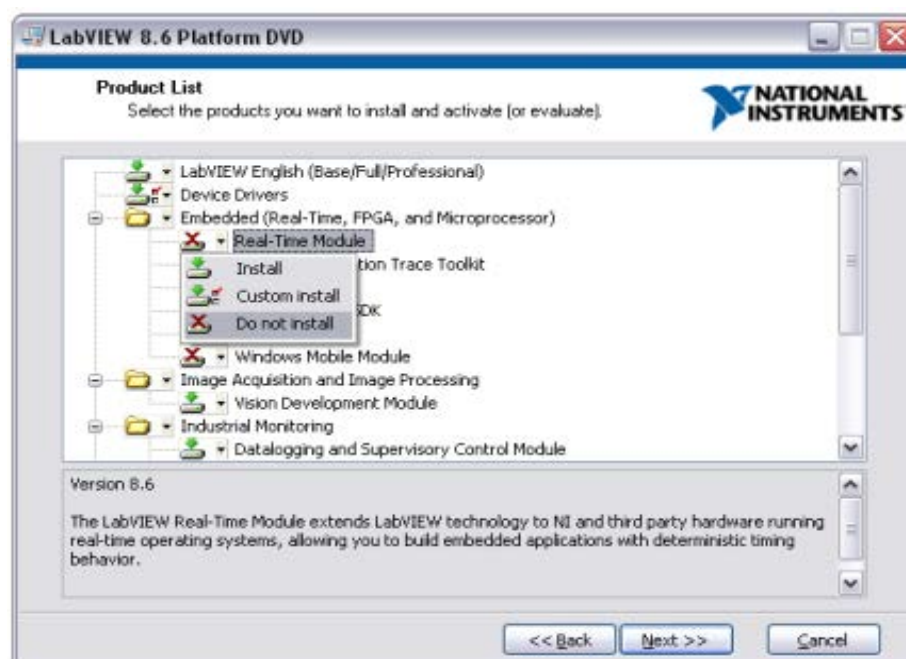
Napotki oziroma nasveti za uporabo:

1 - Konfigurirajte namestitev in ostalo prepustite namestitvenemu programu. Za instalacijo izdelka s seznama izdelkov se vam pojavijo tri opcije: namestitev, namestitev po meri in ne namesti. Opcija "namestitev" nastavi namestitveni program s privzetimi nastavitvami, torej ni potrebno, da bi si pred namestitvijo ogledali mape za vsak izdelek ali da bi morali vnašati nadaljnje podatke. Ob želji, da namestimo vse izdelke, le zamenjamo DVD.



Slika 20: Opcija "namestitev" zmanjšuje zahtevo po vnosu podatkov med namestitvijo

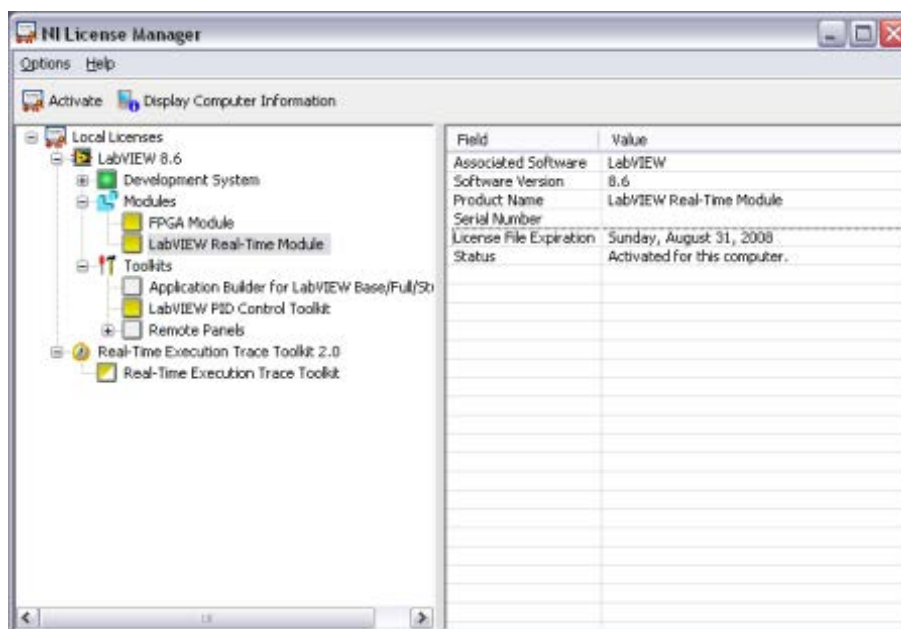
2 - Opcija "namestitev po meri" podaljša namestitev za korak, a omogoči uporabniku, da sam izbere komponente, ki se bodo pri vsakem izdelku namestile. Vsakokrat, ko izberemo namestitev po meri, se pred namestitvijo prikaže mapa z dodatki. Če za izdelek nimamo na razpolago mape, izbira nastavitve po meri za ta izdelek ni mogoča.



Slika 21: Izberite opcijo nastavitve po meri, če želite izbrati namestitveni direktorij

3 – Svojo serijsko številko lahko uporabljate vsepovsod, saj imajo vsi LabVIEW izdelki vseživljenjsko veljavo serijske številke. Če kupite nadgradnjo, lahko za novo pridobljeno programsko opremo aktivirate vašo obstoječo serijsko številko.

4 - Programska oprema, ki ste jo že namestili, ne sme biti ponovno nameščena. Če želite označiti izdelke iz platforme, bo nameščena različica ustreznega izdelka z vsemi funkcijami. Ob nakupu izdelka vam programske opreme ne bo potrebno odstraniti in ponovno namestiti niti po poteku ocenjevalnega obdobja. V tem primeru le uporabite NI License Manager in aktivirajte vašo kupljeno programsko opremo s serijsko številko.



Slika 22: Z NI License Manager aktiviramo kupljene izdelke

Namestitev razvojnega okolja LabVIEW z dodatki in orodji je bila do nedavnega dolgotrajna in zapletena ter je zahtevala veliko CD-jev. Ta različica ponuja več kot 25 LabVIEW dodatkov, vključno z gonilniki naprav NI, na treh DVD-jih. Platforma, ki obenem olajšuje ocenjevanje vseh izdelkov, je lahko konfigurirana tako, da pri namestitvi uporabnik vnaša podatke.

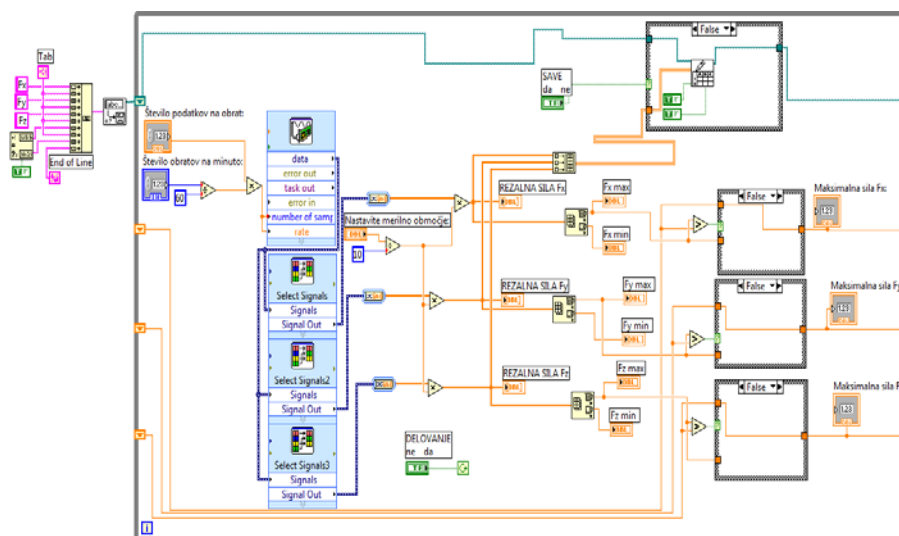
Instalacija programske opreme NI LabVIEW 8.6 je časovno zahtevala okrog štiri ure. Razlog za dolgotrajno namestitev je operacijski sistem Windows 7, saj NI LabVIEW 8.6 za ta operacijski sistem ne podpira avtomatskega zagona. Zato smo morali vsebujoče

dodatke in orodja platforme LabVIEW nameščati posebej. Namestitveni program je zahteval tudi gonilnike, vendar jih zaenkrat nismo potrebovali.

Za vsak dodatek posebej smo morali po procesu instalacije sprejeti licenčno pogodbo ter vpisati serijsko številko. Ob končani namestitvi vseh dodatkov je bilo potrebno še ponovno zagnati operacijski sistem.

4.2 Preizkušanje programske opreme NI LabVIEW

Po namestitvi programske opreme NI LabVIEW smo le-to tudi preizkusili. Seveda smo se ob tem držali naših smernic, zato smo izdelali manjši program, ki je zajemal signale s kartice za zajemanje podatkov ter jih prikazoval v grafični obliki. Med delovanjem programa so se podatki shranjevali v beležnico.



Slika 23: Program za zajemanje in prikazovanje sil – blokovna shema

Ugotovili smo, da je bila izdelava programa uspešna, saj smo uspeli zajemati signale vseh treh priključkov na kartici za zajemanje podatkov, program pa je pravilno grafično prikazoval signale ter jih sprotno zapisoval v beležnico. Program smo nato malce preuredili ter zamenjali blok DAQ Assistant z linijo DAQmx blokov, saj smo ugotovili, da je takšno zajemanje podatkov hitrejše, ker smo več nalog razdelili med več blokov in je

tako vsak blok posebej opravljal svojo nalogo. Program smo nato uporabili kot izhodiščno točko za nadaljnjo izdelavo sistema za regulacijo rezalnih sil pri visokohitrostnem frezanju.



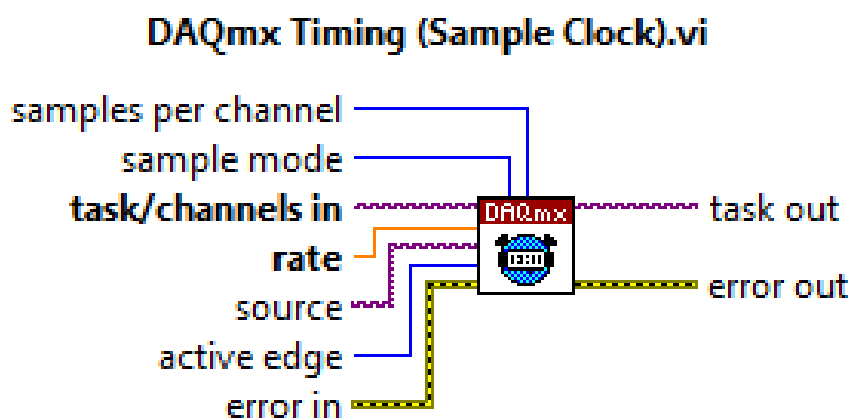
Slika 24: Program za zajemanje in prikazovanje sil – čelna plošča

5 PROGRAM ZA REGULACIJO REZALNIH SIL PRI VISOKOHITROSTNEM FREZANJU

Pri preverjanju delovanja programske opreme smo tako že izdelali del končnega programa, potrebno ga je bilo le še posodobiti. Dodatno je bilo potrebno izdelati program za regulacijo sil, podajanja in števila obratov. Najprej smo obstoječi program nadgradili z DAQmx blokovno linijo za zajemanje podatkov.

5.1 Sestavljanje blokovne proge za zajemanje sil

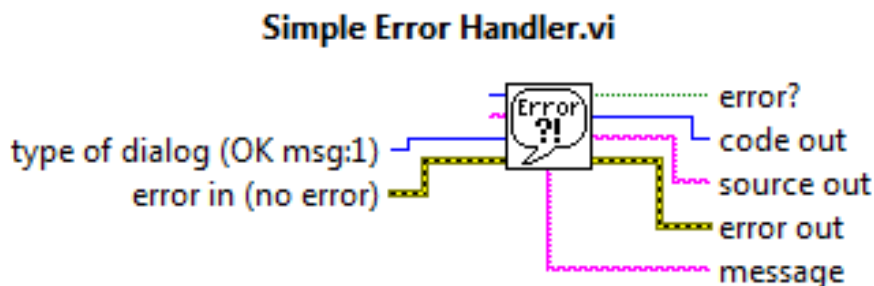
V programu LabVIEW smo izdelali program, ki nam zagotavlja zajemanje sil na obdelovalnem centru Heller BEA 01 med postopkom obdelave. Za zajemanje sil imamo v knjižnici programa LabVIEW množico blokov, ki nam omogočajo, da z njimi sile zajemamo, obdelujemo, izbiramo njihovo hitrost zajemanja in jih pretvarjamo v za nas uporabne programske signale. Tukaj smo zato izbirali elemente knjižnice DAQmx, ki nam omogoča, da preko NI kartice za zajemanje podatkov sile zajemamo in jih z določenim zaporedjem blokov pripeljemo v sam program LabVIEW.



Slika 25: Blokovna shema DAQmx Timing (Sample Clock)

Slika 23 prikazuje povezave bloka DAQmx Timing (Sample Clock). "Sample per channel" je povezava, kjer nastavimo število vzorcev po kanalu. Seveda je to število omejeno navzgor s številom, ki ga podamo na povezavi "rate". Povezava "sample per channel" ima

lahko vrednost enako povezavi "rate" ali manjšo, vendar nikakor večjo, saj je nemogoče imeti večje število vzorcev kot je število zajetih vzorcev. "Task/channels in" predstavlja povezavo, po kateri v blok pripeljemo signal. Povezavi "error in" ter "error out" predstavljata pot napak, ki mora biti povezana s sosednjimi bloki, saj lahko le tako zaznamo napake. Povezava "task out" predstavlja pot, kjer naš signal zapusti blok.



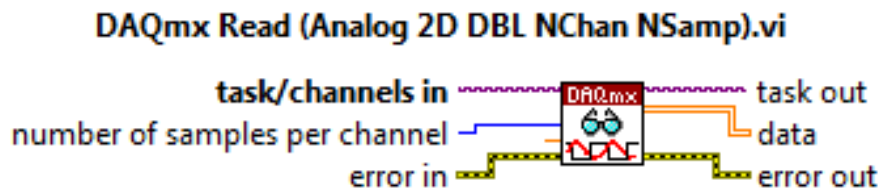
Slika 26: Blokovna shema Simple Error Handler

Simple Error Handler predstavlja blok, ki preverja, ali je prišlo do napake. Na prvo levo vhodno linijo pripeljemo naš signal, medtem ko linijo "error in" povežemo s prejšnjim blokom. Linija "type of dialog" predstavlja množico opcij, na kakšen način bomo javljali napako. Izhodne linije povežemo tako kot pri prejšnjem bloku, torej linija "task out", ki je v tem primeru "source out", in linijo "error out", potrebno pa je povezati še prvo izhodno linijo "error?", ki nam zagotavlja, da se bo v primeru napake program zaustavil.



Slika 27: Blokovna shema DAQmx Start Task

Blok, ki je prikazan na sliki 25 zažene signal, ki smo ga v prejšnjih dveh blokih obdelali. Vsa nastavljanja signala se v tem bloku dokončajo in začne se zajemanje signala. Blok vsebuje dva vhoda "task/channels in" in "error in" ter dva izhoda "task out" in "error out".



Slika 28: Blokovna shema DAQmx Read (Analog 2D DBL NChan Nsamp)

DAQmx Read (Analog 2D DBL NChan Nsamp) blok je prikazan na sliki 26. V tem bloku signale preberemo in prevedemo v tak signal, kot ga program potrebuje za nadaljnje delo. Blok vsebuje vhodne povezave "task/channels in", kamor pripeljemo signale, ter "number of samples per channel", kjer lahko, če imamo več signalov, le-tem določimo število vzorcev. Kot vhodno enoto imamo tudi "error in", kamor iz prejšnjega bloka pripeljemo povezavo za napake. Izhodne povezave so "task out", torej linija signalov, "error out", od koder nadaljujemo povezavo napak in "data", ki pa obdelan signal v obliki programu primernih podatkov pelje naprej po programu.



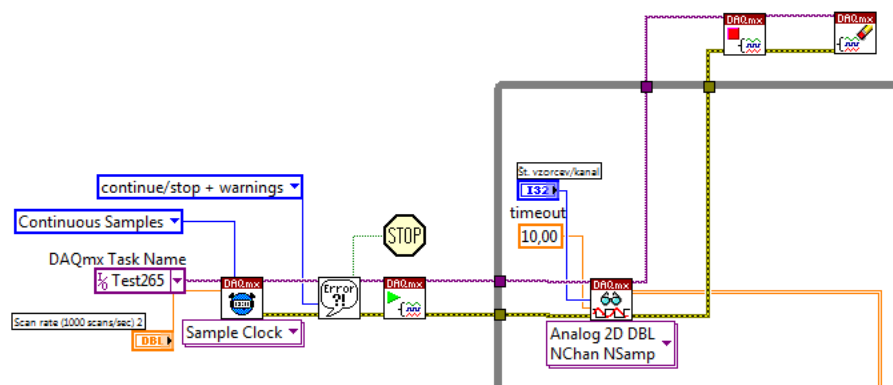
Slika 29: Blokovna shema DAQmx Stop Task

DAQmx Stop Task blok zaključi prenos signala iz kartice za zajemanje podatkov. Podoben je bloku DAQmx Start Task, le da ima obratno nalogo.



Slika 30: Blokovna shema DAQmx Clear Task

DAQmx Clear Task blok potrebujemo, da izbrisemo naše nastavitve signala in končamo s prenosom signala. Tukaj se končata tako povezava signala kot tudi povezava napak. Uporabili smo samo vhodni povezavi.

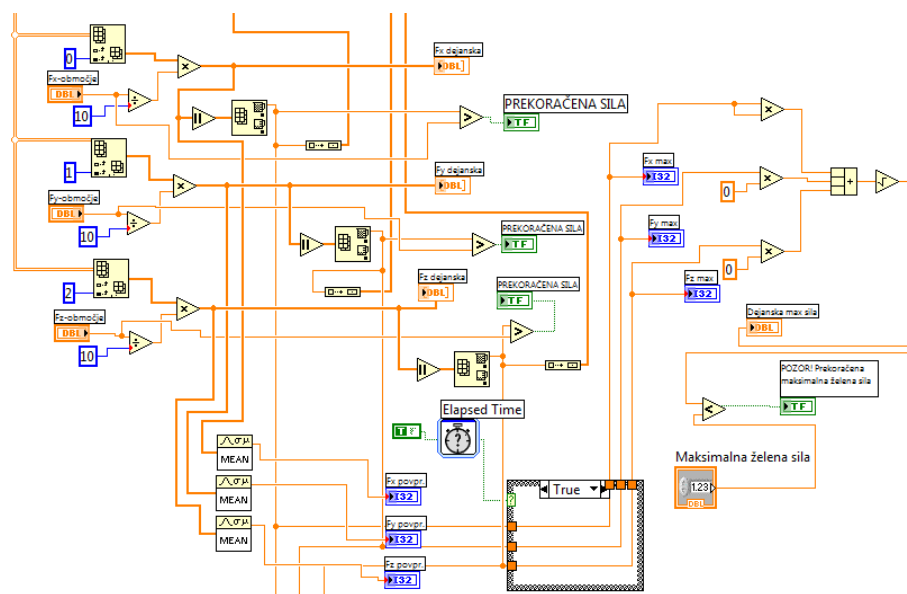


Slika 31: Blokovna shema povezanih DAQmx blokov

Na sliki 29 imamo prikazano shemo, v kateri so vsi DAQmx bloki povezani med seboj v zaporedju, ki zagotavlja pravilno delovanje programa. Pot signala se prične z blokom "AI Voltage", nadaljuje nato pri "Sample Clock" ter naprej. Črta, ki jo opazimo za tretjim blokom, prikazuje linijo, kjer se začne "While Loop", torej zanka. V sami zanki se nahaja blok "Analog 2D DBL NChan NSamp", od koder potuje signal v obliki podatkov naprej v program. V isti zanki, kot je ta blok, se nahaja tudi program. Bloka, ki sta naprej povezana s "task" in "error" linijo, se spet nahajata zunaj zanke in predstavljata zaključek poti zajetega signala in napak.

5.2 Sestavljanje proge za regulacijo sil

Regulacija sil sama po sebi ne vsebuje regulacijske zanke, ampak je povezana z nastavljanjem števila obratov in podajanja. Če predhodno nastavimo maksimalno željeno silo in se med delovanjem zgodi, da to silo prekoračimo, se nam na čelni plošči programa prižge rdeča luč v območju nastavljanja maksimalne željene sile. S tem nam želi program signalizirati, da je potrebno zmanjšati podajanje ali pa povečati obrate, kar pa lahko storimo ročno v programu s premikanjem drsnikov.



Slika 32: Blokovna shema regulacije sil

Na sliki zgoraj je predstavljena celotna blokovna shema za regulacijo sil. Na začetku lahko opazimo, da dvodimenzijski podatkovni signal razdelimo na tri enodimenzijske signale s pomočjo bloka "Index Array". Ta nam za $n-1$ dimenzij zmanjša signal, ki je potem v za nas uporabni dimenziji. Število n je za vsako os koordinatnega sistema x , y in z različna, kar je razvidno iz slike, saj števila 0, 1 in 2 predstavljajo število n . Ker imamo za vse tri osi tako rekoč enake nadaljnje povezave, lahko opišemo samo eno, ostali dve pa po istih navodilih sestavimo.

Okvir oranžne barve z napisom "DBL" pod blokom "Index Array" predstavlja naše območje sile, ki ga podamo v čelni plošči programa. Bloki z matematičnimi simboli

predstavljajo matematične operacije med zajetimi signali, ki jih pripeljemo v posamezne bloke.

Podoben blok oranžne barve "[DBL]" zajema signale in jih grafično prikazuje na čelni plošči programa.

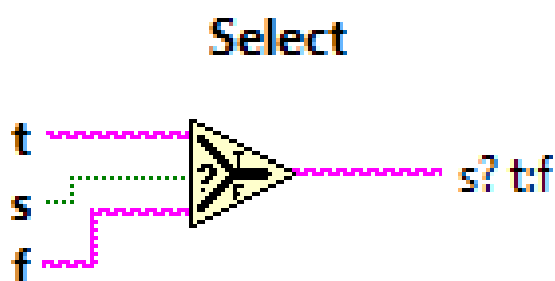
Naslednji blok v povezavi je "Array Max & Min", ki nam omogoča, da izpostavimo tako maksimalno vrednost sile kot tudi njeno minimalno vrednost. V našem primeru zajemamo samo maksimalno silo, ki jo nato primerjamo z našim območjem ter tako ugotovimo ali smo presegli začrtano mejo. To nam ob preseženi vrednosti javlja zelen gumb "T F", kar pomeni T-true, resnično, oziroma F-false, napačno.

Bloki, obarvani modro, predstavljajo zajemanje in prikazovanje vrednosti signala, vendar ne v grafični, temveč v obliki številske vrednosti.

Manjši bloki, ki jih opazimo na linijah signala, so pomembni zato, da pretvjarjajo obliko signala, saj nekateri bloki ne podpirajo signala vseh vrst.

5.3 Sestavljanje proge za regulacijo podajanja, števila vrtljajev in komunikacije s CNC krmiljem

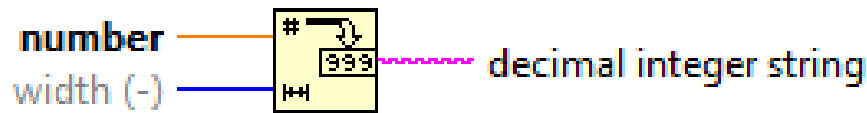
Blokovno shemo podajanja, števila obratov in komunikacije s CNC krmiljem lahko predstavimo enotno, saj se namembnost signala od bloka do bloka spreminja. Vsekakor pa je komunikacija s CNC krmiljem tista, ki je obvezna, da delujeta tako nastavljanje podajanja kot nastavljanje števila obratov.



Slika 33: Blok Select

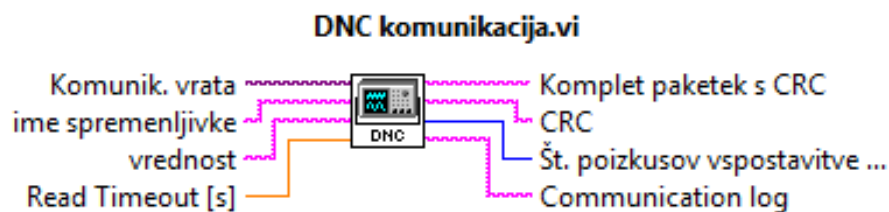
Pri bloku "Select" gre za izbiro, namreč za odločitev o tem, ali bo izbrana vhodna pot "t" ali "f", kar izberemo s pomočjo tretjega vhoda, ki ima prav tako opcijo "true" ali "false".

Number To Decimal String



Slika 34: Slika bloka Number To Decimal String

"Number To Decimal String" pretvarja število v niz decimalnih mest. Če je število s plavajočo vejico ali fiksno točko, je pred pretvorbo zaokroženo na 64-bitno celo število.



Slika 35: Blok DNC komunikacija

Blok, ki omogoča komunikacijo s CNC krmiljem, je prikazan na sliki 33. V bistvu gre za programski blok, saj ob dvokliku nanj odpremo novo programsko okno, kjer se prikaže blokovna shema DNC komunikacije. Blok je najpomembnejši člen pri omogočanju komunikacije s CNC krmiljem.

Celotna blokovna shema podajanja, števila obratov in komunikacije s CNC krmiljem zajema tudi večino blokov, opisanih v prejšnji točki, celotna shema pa je dodana kot priloga.

6 DELOVANJE SISTEMA ZA REGULACIJO REZALNIH SIL PRI VISOKOHITROSTNEM FREZANJU

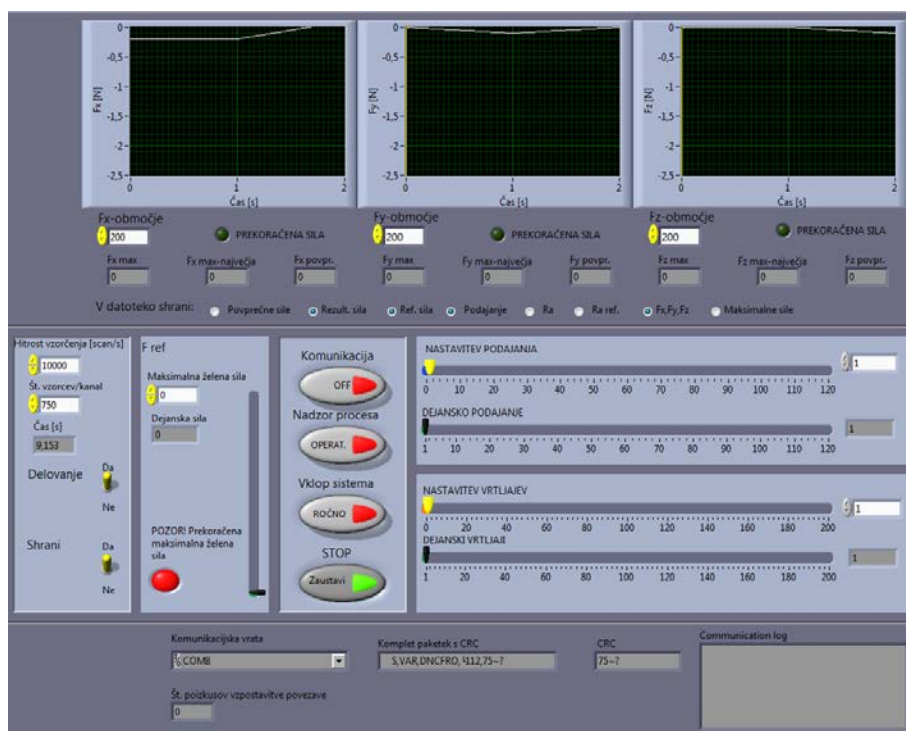
Pri delovanju sistema za regulacijo rezalnih sil pri visokohitrostnem frezanju je zelo pomembno, da pravilno sklenemo vso strojno opremo, ob tem pa upoštevamo, da je potrebno CNC krmilje in obdelovalni center Heller BEA 01 ponovno zagnati, saj lahko le tako vzpostavimo komunikacijo preko podatkovnega kabla med CNC krmiljem in programsko opremo na prenosnem računalniku. Pomemben člen predstavljajo tudi mnoge programske nastavitve, ker ni pomembna samo vzpostavitev komunikacije, temveč tudi, da CNC krmilje prepozna prave napotke oziroma ukaze, ki jih pošiljamo preko podatkovnega kabla.

6.1 Komunikacija programske opreme NI LabVIEW s CNC krmiljem Fagor 8040 preko podatkovnega kabla RS 232 in USB priključka

Povezavo med CNC krmiljem Fagor 8040 in programsko opremo NI LabVIEW, predhodno instalirano na prenosni računalnik, smo poskušali vzpostaviti preko podatkovnega kabla RS-232, priklopljenega na CNC krmilje. Nato smo imeli pretvornik na USB priključek, ki je bil povezan na prenosni računalnik.

Najprej smo celoten sistem preizkusili izključno s podatkovnim kablom RS-232, povezanim med CNC krmiljem in osebnim računalnikom, torej brez USB pretvornika. Povezava je potekala tako, da smo najprej povezali obe komponenti, nato pa zagnali program v NI LabVIEW-u. V programu smo za komunikacijo uporabljali štiri gumb: komunikacija, nadzor procesa, vklop sistema in STOP. Ob pritisku na gumb "komunikacija" smo pričeli komunicirati s CNC krmiljem. Gumb "nadzor procesa" je ob vklopu prevzel nadzor nad CNC krmiljem oziroma nastavitvijo podajanja na CNC krmilju. Naslednji gumb, "vklop sistema", omogoča ročno ali avtomatsko zaganjanje komunikacije in prevzemanje nadzora nad podajanjem CNC krmilja. Z gumbom "STOP" pa zaključimo delovanje programa v NI LabVIEW in s tem tudi prisilno končamo komunikacijo s CNC krmiljem. Ta gumb uporabimo samo v primeru, ko želimo takojšnje končanje programa in komunikacije, saj ob pritisku tega gumba CNC krmilju ne vrnemo nadzora nad podajanjem. Ker pa le to želimo, je potrebno ob zaustavitvi komunikacije najprej izklopiti

gumb "nadzor procesa", nato z gumbom "komunikacija" prekinemo komunikacijo s CNC krmiljem in šele potem lahko ustavimo delovanje programa v NI LabVIEW s pritiskom na rdeč gumb v orodni vrstici programa NI LabVIEW ali pa s pritiskom na gumb "STOP".

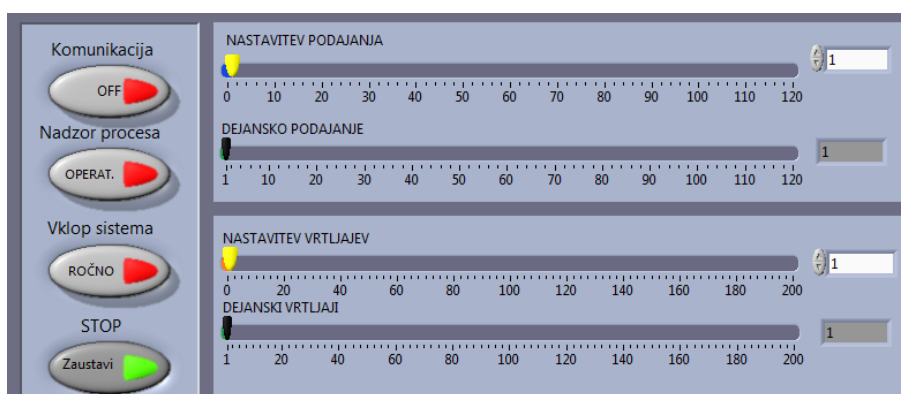


Slika 36: Opazimo lahko štiri gumbе za omogočanje komunikacije med CNC krmiljem Fagor 8040 in programskim paketom NI LabVIEW: komunikacija, nadzor procesa, vklop sistema, STOP.

Ugotovili smo, da komunikacija deluje tako, kot smo si predstavljali. Nato pa smo poskušali uporabiti pretvorbo RS-232 na USB priključek, saj smo želeli vzpostaviti povezavo tudi na prenosnem računalniku. Ta povezava nam je na začetku povzročala težave, nato pa smo jo uspeli usposobiti s pomočjo namestitve pravih gonilnikov pretvornika "USB na serijski priključek", ki smo jih našli na strani proizvajalca le-tega. Nato je ob prednastavitvi pravih vrat ("port") na shematični plošči programa v NI LabVIEW-u komunikacija stekla tudi preko prenosnega računalnika na CNC krmilje.

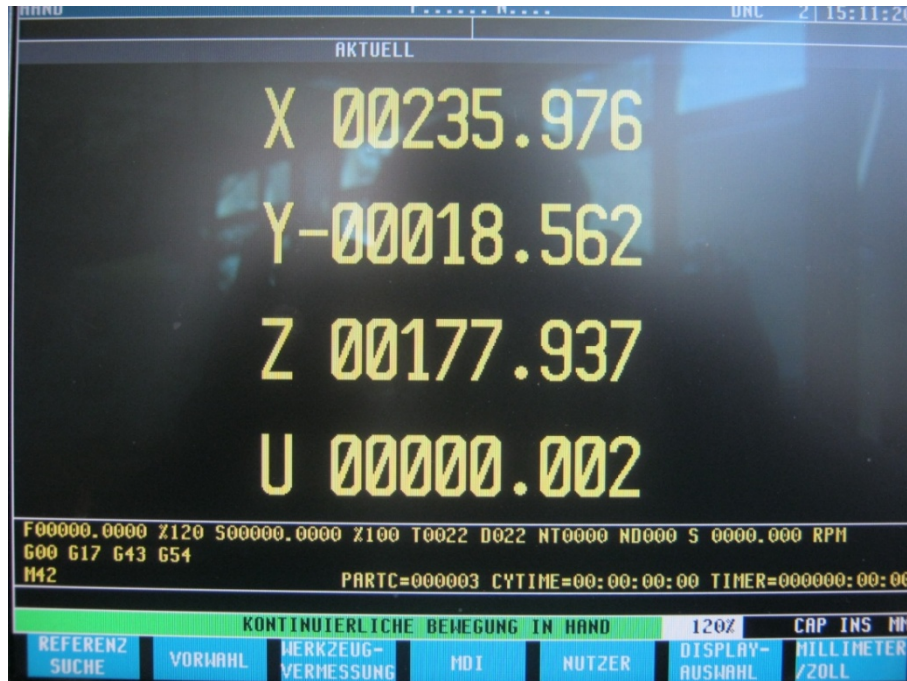
6.2 Regulacija podajanja in števila vrtljajev

Tako regulacija podajanja kot tudi regulacija števila vrtljajev poteka preko komunikacije CRC. Regulacijo smo v shemi programa predstavili s po dvema indikatorjema vrednosti, ki sta predstavljalna našo nastavitvev podajanja oz. število vrtljajev in dejansko nastavitvev podajanja oz. števila vrtljajev. Preden smo lahko začeli z nastavljanjem zelenih vrednosti, smo morali opraviti proceduro, ki je opisana v prejšnjem poglavju, saj smo na tak način prevzeli nadzor nad krmiljem. Tako smo onemogočili gumbes za nastavitvev vrtljajev in podajanja na CNC krmilju Fagor.



Slika 37: Regulacija podajanja in števila vrtljajev

Na zgornji sliki lahko opazimo štiri indikatorje, ki predstavljajo naše nastavitve ter dejanske nastavitve vrednosti. Začnemo lahko pomikati indikatorje modre barve na zelene vrednosti, ob tem pa lahko opazimo, da našim sledijo tudi dejanske vrednosti. To so vrednosti, ki jih preko komunikacije prepozna CNC krmilje ter jih poskuša čimbolj približati našim vrednostim.



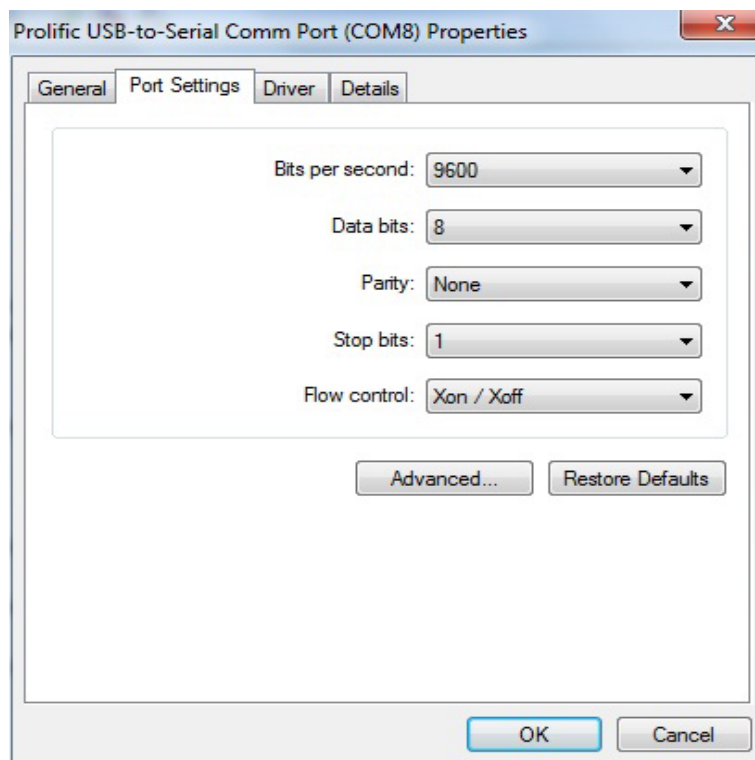
Slika 38: Zaslonka CNC krmilja

Na sliki vidimo zaslonko CNC krmilja, ki vsebuje večje število vrednosti. Za nas sta pomembni vrednosti %120, ki predstavlja nastavev podajanja in vrednost %100, ki predstavlja število vrtljajev. Nastavitve teh dveh parametrov so na krmilju omejene, zato imamo prednost pri nastavitvi vrednosti s prenosnega računalnika.

Ko zaključimo z reguliranjem in želimo vrniti nadzor CNC krmilju je potrebno nastavitvene vrednosti podajanja in števila vrtljajev nastaviti na nič (0), šele potem lahko vrnemo nadzor krmilju preko gumba "nadzor procesa".

6.3 Odpiranje COM port-a

Najprej smo morali sporočiti programu NI LabVIEW, s katerim port-om oziroma vrati bomo komunicirali. Na sliki 37 je prikazano določanje komunikacijskih parametrov v operacijskem sistemu Windows 7. Za delujočo komunikacijo med CNC krmiljem in računalnikom smo morali nastaviti vrednosti naslednjih parametrov:



Slika 39: Odpiranje COM port-a

- število podatkovnih bitov: 8
- brez paritete
- število zaključnih bitov: 1
- nadzor pretoka: XOn/XOff
- Baud rate: 9600 bitov na sekundo

Baudrate pomeni hitrost prenašanja bitov, ki mora biti dogovorjena pred prenosom. Baud rate smo nastavili na enako vrednost tako na oddajni kot tudi na sprejemni napravi. V bistvu morajo biti vse vrednosti komunikacijskih parametrov na obeh straneh enake, da pride do pravilne komunikacije.

Na CNC krmilju je za pravilno povezavo potrebno nastaviti baudrate na enako vrednost, kot jo imamo v programu na računalniku. To lahko storimo tako, da na CNC krmilju najprej kliknemo gumb "Main menu", nato pod zaslonom izberemo opcijo z gumbom "F4", potem spet pritisnemo gumb "F4" ter na koncu še gumb "F2", ki nam prikaže izbiro

komunikacije preko RS-232 podatkovnega kabla. V tem meniju lahko nato izberemo vrednost baudrate.

6.4 Ciklično redundančno kodiranje (CRC)

Pri komuniciranju med računalnikom in CNC krmiljem je zelo pomembno tudi ciklično redundančno kodiranje (CRC). Gre za algoritem preverjanja napak oziroma pravilnosti prenosa podatkov. CRC predstavlja vrednost, ki se generira z matematičnim izračunom na računalniku pošiljatelja. Ko paket CRC prispe, se izračun opravi ponovno na prejemniku. Če je rezultat enak, so podatki po prenosu ostali nespremenjeni. Če rezultat izračuna ni enak, pa pomeni, da je prišlo do napake pri prenosu. V tem primeru CRC signalizira pošiljatelju, da ponovno pošlje paket CRC. Za detekcijo napak smo uporabili 16-bitno kodo (slika 38), ki odkrije 99,997% napak. Napake so posledica vpliva elektromagnetnih motenj. V bistvu CRC predstavlja "varnostni mehanizem" pri komunikaciji obeh naprav.

```
main()
{
#define SOH 1
#define ETX 3
#define ETB 23

char *pointer;
unsigned short crc16;

unsigned short crc16_tab[256] =
/* { See CRC-16 calculation table in appendix E */
}

unsigned char sample_pack[25] =
{SOH, 'S,VAR,TOOL,10,' , ETX }

/* calculate the CRC-16 of the sample_pack */
crc16 = 0;
pointer = sample_pack;

do
{
pointer++;
/* Since the SOH or STX is not included in the
calculation of the CRC-16, the first pass through the
loop skips this character.
*/

crc16 =
(crc16 >> 8) ^
crc16_tab[(crc16 ^ *pointer) & 0x00ff];
}
while ((*pointer != ETX)
||
(*pointer != ETB))

/* Put the crc16 in transmission format and place the
resulting 4 characters at the end of the pack*/

for (i=0 , i++, i<4)
{
*(++pointer) = ((crc16 >> (4*i)) & 0x00ff) + '0';
}
}
```

Slika 40: 16-bitna CRC koda

6.5 Prenos sporočil

Za vzpostavljanje povezave med računalnikom in CNC strojem se pošlje zahtevek z znakom ENQ (ASCII - 5). V primeru vzpostavljene komunikacije nam CNC krmilje vrne ukaz 0 ali 1 na računalnik. Ukazi na CNC krmilju se pošiljajo z znakom SOH (začetek telegrama; ASCII 1). Ko pošiljamo ukaze oziroma "pakete", moramo najprej nastaviti spremenljivko (Var) ter njeno ime (Varname), ki je lahko npr. DNCFRO (spremenljivka za korekcijo podajanja [%]), kar pomeni, da se s tem ukazom prepíše hitrost podajanja na CNC krmilju. Obstaja pa še ena spremenljivka po imenu DNCSSO (spremenljivka za korekcijo vrtilne hitrosti [%]), s katero se prepíše vrtilna hitrost. CNC krmilje odgovori z 1, če je bil paket sprejet. Za zapiranje povezave se uporablja znak EOT (prekinitev komunikacije – ASCII 4).

Tabela 8: Podroben opis pomena ASCII znakov pri PC-CNC komunikaciji

Opis	PC (Master)	CNC – krmilje (Slave)
Vzpostavljanje povezave	ENQ	0 ali 1
Pošiljanje - ukaz	SOH-S, VAR, DNCFRO, S ETX – CRC 16	1
Zapiranje povezave	EOT	

Master	Slave	
ENQ	0	Connection stage
SOH header text ETB CRC-16	1	Header Pack
STX text ETB CRC-16	0	Text Packs
.	.	
.	.	
.	.	
STX text ETX CRC-16	0 or 1	
EOT		Disconnection stage

Slika 41: Prikaz prenosa sporočila

Faza povezovanja: Element, ki želi postati učitelj ENQ (kolizija komunikacije). Če je pripravljen drugi element, pa se bo odzval z znakom 0. Od tega trenutka naprej je prvi nadrejeni, drugi pa podrejeni.

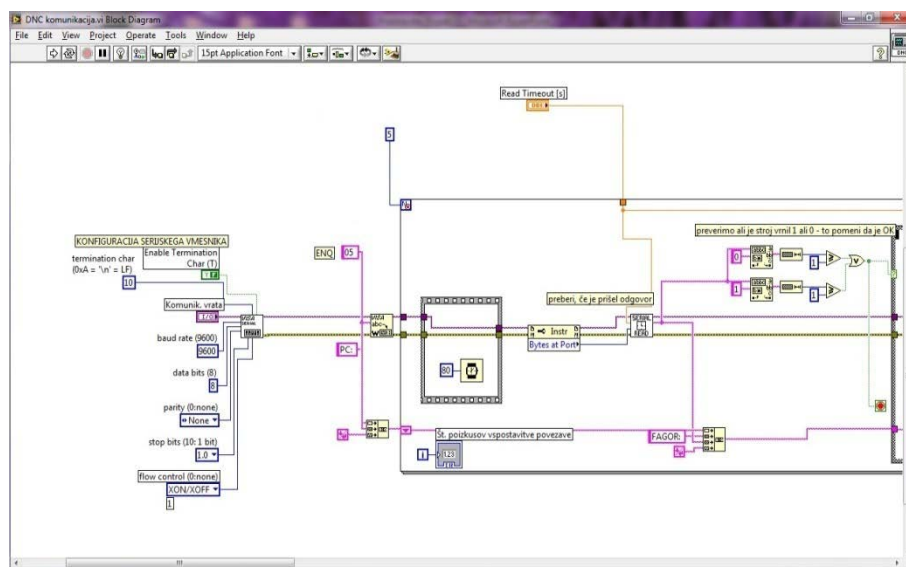
Ukazna vrstica - telegram: Nadrejeni bo poslal ukaz Head Pack (paket glave), kar označuje izvršitev ukaza. Podrejeni bo preveril CRC-16 in pomen ukaza. Če je vse v redu, se bo priznal prenos paketa z znakom 1.

Tekstovna vrstica: Če trenutni ukaz zahteva prenos besedila, kot so programi ali tabele linij, ga bo posredoval z zaporednimi paketi besedila. Podrejeni bo preveril CRC-16, če ni kakšnih drugih težav (npr. spominski presežek) in če jih ni, bo to potrdilo vsak paket besedila, ki prenaša 0 ali 1 izmenično.

Faza prekinitve komunikacije: Zadnji paket, ki se konča z ETX (konec teksta); potem ko je priznal tudi podrejeni, nadrejeni odda EOT znak kot konec prenosa sporočil.

6.6 DNC komunikacija v programu LabVIEW

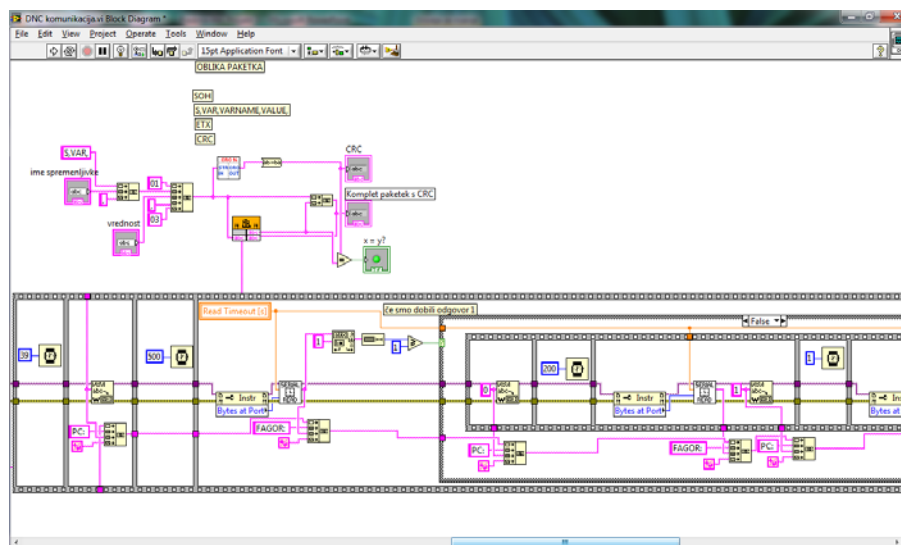
Gre za tako imenovani DNC protokol (nadrejeni – podrejeni), ki temelji na RS-232 vmesniku. Nadrejeni predstavlja računalnik, medtem ko podrejeni krmilje CNC krmilje. V programu LabVIEW smo najprej konfigurirali serijski vmesnik s komunikacijskimi parametri. Pri teh vrednostih parametrov je pomembno, da so tako na oddajni kot na sprejemni napravi (PC – CNC) enaki.



Slika 42: Vzpostavljane povezave PC-ja s CNC-jem

Najprej se pošlje zahtevek ENQ za vzpostavitev komunikacije s CNC krmiljem. Sam program ima vključene časovnike, katerih naloga je, da preprečujejo zasičenje programa s podatki in s tem sesutje programa. Ko je zahtevek za vzpostavitev zveze s CNC krmiljem poslan, moramo počakati na odgovor, in sicer se s Serial Read (serijsko branje) prebere, koliko bitov je na port-u (COM port ima svoj pomnilnik, v katerega se shranjujejo biti), nato se preveri če je krmilje vrnilo 0 ali 1, v tem primeru je komunikacija vzpostavljena. V nasprotnem primeru se procedura ponovi in računalnik ponovno poskuša vzpostaviti povezavo s CNC krmiljem.

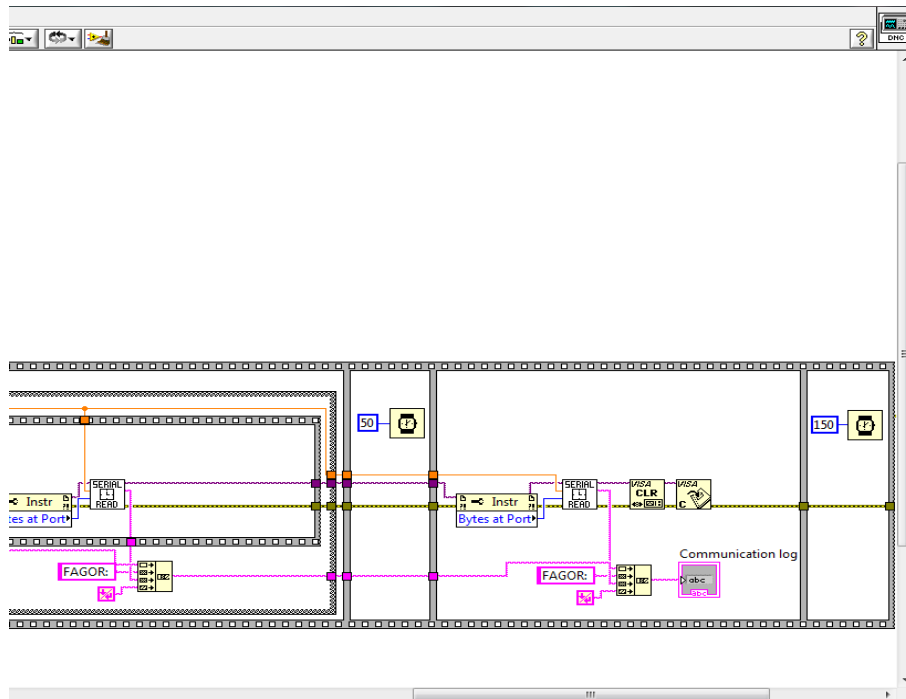
Če je povezava vzpostavljena, se sestavi paket, ki je poslan CNC krmilju. Paket je sestavljen iz ukaza spremenljivke (Var), imena spremenljivke (Varname) ter njene vrednosti.



Slika 43: Paket s CRC

Z ukazom S (Set) se nastavi spremenljivka (Var), ki je lahko DNCFRO (Feed Rate Override), ki prepíše hitrost podajanja, ali DNCSSO (Spindle Speed Override), ki prepíše vrtilno hitrost. Na koncu je dodana še CRC koda, ki preverja napake oziroma pravilnost prenosa podatkov. V primeru, da je CNC krmilje paket prejelo, CNC krmilje odgovori z 1, v nasprotnem primeru se procedura ponovi (najverjetneje ni prišlo do istega izračuna CRC kode na strani CNC krmilja in poskus pošiljanja paketa se ponovi). V sam program je

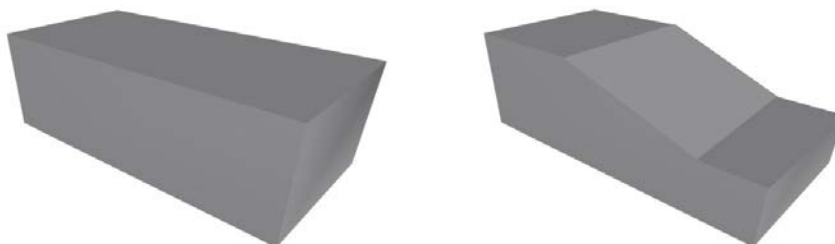
vkjučena CRC 16-bitna koda, ki lahko odkrije 99,997% napak, le-te pa so posledica vpliva elektromagnetnih motenj. V tem delu programa se preveri, ali je CNC krmilje javilo kakšno napako. Zapre se referenca do COM port-a.



Slika 44: Zapiranje COM port-a

7 REZULTATI

V našem primeru smo sile zajemali v smereh x, y in z. Uporabili smo obdelovanec materiala OCR 1.2379, obdelovali pa smo s stebelnim frezalom. Glede na našo želeno obliko obdelovanja smo predpostavili, da se bodo sile povečale predvsem v smeri y in z, medtem ko bodo sile v smeri x bolj ali manj konstantne. Najprej smo preizkusili obdelovanje brez regulacije sil, nato pa še s programom za regulacijo sil. Podrobnejši podatki v grafični obliki so prikazani v prilogi – eksperiment.



Slika 45: Slika obdelovanca pred in po obdelavi

Tabela 9: Tehnični podatki testiranja

	Brez regulacije	Z regulacijo
Čas (t)	30 s	70 s
Maksimalna sila (F_{max})	990,9 N	374 N
Frezalo	Stebelno	Stebelno
Podajanje (f)	100 mm/min	100.. 25 mm/min
Globina frezanja (a_p)	0,25 mm...5 mm	0,25 mm...5 mm
Število obratov (n)	2000 min ⁻¹	2000 min ⁻¹

7.1 Analiza meritev

Iz meritev lahko opazimo, da se pri merjenju sil brez regulacije ne spreminja podajanje, kar lahko ob prevelikih silah privede do loma orodja – frezala ter do slabše obdelave zaradi obrabe le-tega. Prevelike sile so velik problem pri obdelovalnem postopku frezanja, zato smo izvedli tudi meritev z regulacijo sil. Pri tej meritvi smo vnaprej nastavili maksimalno silo, ki smo jo vzdrževali s pomočjo regulacije podajanja. Ob tem smo opazili, da se je časovni potek obdelave podaljšal, a je orodje ostalo nepoškodovano ter manj obrabljeno. Opazili smo tudi maksimalni prenehaj 24 N, do katerega pride zaradi spremembe poteka frezanja. Pri sili 350 N nam ta prenehaj ne povzroča dodatne obrabe ali poškodbe frezala. Sklepna ugotovitev je, da je regulacija stabilna in učinkovita, saj zmanjša sile na frezalu in ob tem zmanjša strošek s finančnega vidika in uporabe na dolgi rok.

8 SKLEP

Od zbiranja podatkov o že obstoječih raziskavah na to temo do dejanske praktične uresničitve našega projekta regulacijskega kroga smo uspešno uskladili programsko okolje LabVIEW z merilnikom sil in CNC krmiljem. Pri tem smo naleteli na številne težave, saj je bilo veliko gradiva v nemščini, potrebno je bilo napisati program in uskladiti številne komponente, s čimer pa do sedaj še nismo imeli veliko izkušenj. Predpostavili smo, da je mogoče narediti regulacijski krog, ki je tudi v praktičnem smislu uporaben in zelo natančen ter da bi z nekoliko spremenjenim regulacijskim krogom verjetno lahko uporabili tudi kakšen drug obdelovalni postopek namesto frezanja. Morda je sam regulacijski krog v praktičnem smislu za številna podjetja, ki se s tem ukvarjajo, celo prenatane, ker tako velike natančnosti niti ne zahtevajo. Povezali smo se s številnimi strokovnjaki na tem področju predvsem znotraj Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru in pa tudi z Nacionalnim podpornim centrom National Instruments v Celju in tako uspeli vzpostaviti zanimiv regulacijski krog, ki je podprt z izpopolnjenim programom in deluje na osebem računalniku ob pogoju, da ima nameščene določene programe in da poseduje določeno zmogljivost.

9 ZAKLJUČEK

Regulacijski krog, ki smo ga vzpostavili, in natančni način frezanja, ki je ob pomoči stroja in programa mogoč, je primeren za številna podjetja, ki se s tem ukvarjajo in zahtevajo visoko natančnost, hkrati pa tudi hitrost in učinkovitost. Možna pomanjkljivost je finančna plat, saj bi morda lahko nekoliko manjšo natančnost dosegli tudi s precej manjšim finančnim vložkom, vendar pa je razvoj bolj kakovostne tehnologije vedno pogojen tudi z denarjem. Naš projekt bi bilo mogoče dopolniti s prilagoditvijo programa za še kak drug obdelovalni postopek ter z govornim upravljanjem. Sami smo izbrali le-tega, saj se nam je zdel še najbolj primeren, ker združuje številne zahteve, ki so bile pri našem projektu ključnega pomena. Knjižnih ali spletnih virov na to temo ni bilo veliko, še posebej ne v slovenščini, vendar pa smo z obstoječo literaturo, z že obstoječim znanjem na tem področju, ob pomoči profesorjev ter tudi z vztrajnostjo in poskušanjem uspeli oblikovati program in regulacijski krog ter ga tudi izpopolniti in prilagoditi uporabniku. Želimo si, da bi naše delo komu koristilo tudi v praksi, ter da bi dobili priložnost še dalje raziskati to še precej neraziskano področje, na katerem se odpira še veliko možnosti napredka in razvoja. Pridobili smo številne izkušnje in tudi odkrili številne možnosti raziskovanja in samostojnega učenja, ki jih bomo v prihodnosti s pridom izkoristili ob nadaljnjem študiju in delu.

10 VIRI

- [1] F. Čuš, Visokohitrostno rezanje in posebni postopki obdelave, Maribor, 2004.
- [2] F. Čuš, Postopki odrezavanja, Maribor, 2009.
- [3] S.Belna, Analiza sodobnih postopkov odrezavanja z izračuni rezalnih parametrov, Maribor, 2008.
- [4] National Instruments Corporation, LabVIEW Basics I: Introduction Course Manual, Texas, 2003.
- [5] P. Kaiba, B. Vrtek: CNC odrezovalni stroji: Zgradba, delovanje in programiranje, Železniki, 2001.
- [6] R. Balažic, Programiranje CNC-strojov, Murska Sobota, 2005.
- [7] J. Travis, J. Kring, LabVIEW for everyone : Graphical programming made easy and fun, New Jersey, 2007.
- [8] A. Hribernik, Uvod v LabVIEW s primeri računalniško podprtih merilnih aplikacij, Maribor, 2010.
- [9] Fagor Automation, Installation manual (M & T models), Mondragon, 2002.
- [10] Arndt G., The Development of Higher Machining Speeds: Part 1 and 2. The Production Engineer, 1970.
- [11] M. Šarić, Merjenje rezalnih sil med procesom visokohitrostne obdelave, Maribor, 2011.

11 PRILOGE

[1] Priloga Eksperiment

[2] Zgoščenska s programom Sistem za regulacijo rezalnih sil pri visokohitrostnem frezanju



Univerza v Mariboru

Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko**IZJAVA O AVTORSTVU****diplomskega dela**Spodaj podpisani/-a Denis Krajnc,z vpisno številko M1000030,

sem avtor/-ica diplomskega dela z naslovom:

Sistem za regulacijo rezalnih sil pri visokohitrostnem
frezanju

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal/-a samostojno pod mentorstvom (naziv, ime in priimek)
doc. dr. Uroš Župerl, univ. dipl. inž. stroj.
- in somentorstvom (naziv, ime in priimek)
izr. prof. dr. Aleš Hace, univ. dipl. inž. elektrot.
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.)
ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v DKUM.

V Mariboru, dne 12. 9. 2011Podpis avtorja/-ice:



Univerza v Mariboru

Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko

IZJAVA O USTREZNOSTI DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani mentor Uroš Župerl izjavljam, da je
(ime in priimek mentorja)
študent Denis Krajnc izdelal diplomsko
(ime in priimek študenta-tke)

delo z naslovom: Sistem za regulacijo rezalnih sil pri
visokohitrostnem frezanju
(naslov diplomskega dela)

v skladu z odobreno temo diplomskega dela, Navodili o pripravi diplomskega dela in
mojimi navodili.

Datum in kraj:

12.9.2011, Maribor

Podpis mentorja:

Uroš Župerl



Univerza v Mariboru

Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko

IZJAVA O USTREZNOSTI DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani mentor Aleš Hace izjavljam, da je
(ime in priimek mentorja)študent Denis Krajnc izdelal diplomsko
(ime in priimek študenta-tke)delo z naslovom: Sistem za regulacijo rezalnih sil pri
visokohitrostnem frezanju
(naslov diplomskega dela)v skladu z odobreno temo diplomskega dela, Navodili o pripravi diplomskega dela in
mojimi navodili.

Datum in kraj:

12.9.2011, Maribor

Podpis mentorja:

Datum in kraj:

12.9.2011, Maribor

Podpis diplomanta-ke:



Univerza v Mariboru

Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko**IZJAVA O ISTOVETNOSTI TISKANE IN ELEKTRONSKE VERZIJE
DIPLOMSKEGA DELA IN OBJAVI OSEBNIH PODATKOV DIPLOMANTOV**Ime in priimek diplomanta-tke: Denis KrajncVpisna številka: M1000030Študijski program: 1. stopnja UN MehatronikaNaslov diplomskega dela: Sistem za regulacijo rezalnih sil pri
visokohitrostnem frezanjuMentor: doc. dr. Uroš Župerl, univ. dipl. inž. stroj.Somentor: izr. prof. dr. Aleš Hace, univ. dipl. inž. elektrot.

Podpisani-a Denis Krajnc izjavljam, da sem za potrebe arhiviranja oddal elektronsko verzijo zaključnega dela v Digitalno knjižnico Univerze v Mariboru.

Diplomsko delo sem izdelal-a sam-a ob pomoči mentorja. V skladu s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah (Ur. l. RS, št. 16/2007) dovoljujem, da se zgoraj navedeno zaključno delo objavi na portalu Digitalne knjižnice Univerze v Mariboru.

Tiskana verzija diplomskega dela je istovetna elektronski verziji, ki sem jo oddal za objavo v Digitalno knjižnico Univerze v Mariboru.

Podpisani izjavljam, da dovoljujem objavo osebnih podatkov vezanih na zaključek študija (ime, priimek, leto in kraj rojstva, datum diplomiranja, naslov diplomskega dela) na spletnih straneh in v publikacijah UM.

Datum in kraj:

12. 9. 2011, Maribor

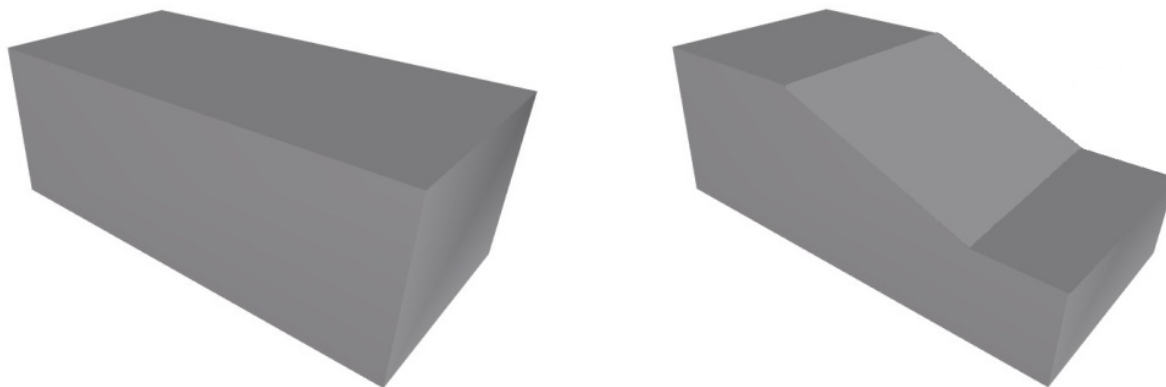
Podpis diplomanta-tke:

Priloga 1: Eksperiment

Naša naloga je bila izmeriti sile pred regulacijo in po regulaciji v smereh x, y in z. Pri tem smo morali upoštevati, da se pri merjenju brez regulacije spreminja sila, ne pa tudi podajanje, kot se to zgodi pri meritvi z regulacijo sil. Meritve smo izvedli na obdelovalnem centru Heller BEA 01. Uporabili smo stebelno frezalo. Za obdelovanje smo uporabili material OCR 1.2379, kaljeno jeklo. Pri Z osi smo morali upoštevati, da je pri pozitivni vrednosti prisotna natezna obremenitev, pri negativni vrednosti pa tlačna obremenitev.

Tabela 1: Tehnični podatki testiranja

	Brez regulacije	Z regulacijo
Čas (t)	30 s	70 s
Maksimalna sila (F _{max})	990,9 N	374 N
Frezalo	Stebelno	Stebelno
Podajanje (f)	100 mm/min	100.. 25 mm/min
Globina reza (a _p)	0,25 mm...5 mm	0,25 mm...5 mm
Število obratov (n)	2000 min ⁻¹	2000 min ⁻¹



Slika 1: Slika obdelovanca ter želena oblika po obdelavi

Tabela 2: Kemična sestava obdelovanca

Kemična sestava materiala OCR 1.2379 v %					
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1.53	0.35	0.40	12.00	1.0	0.85

Lastnosti materiala OCR 1.2379

Modul elastičnosti: $210 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$

Gostota: $7,7 \text{ g/cm}^3$

Toplotna prevodnost: 20 W/m.K

Specifična upornost: $0,65 \text{ Ohm mm}^2/\text{m}$

Specifična toplota: $0,46 \text{ J/g.K}$

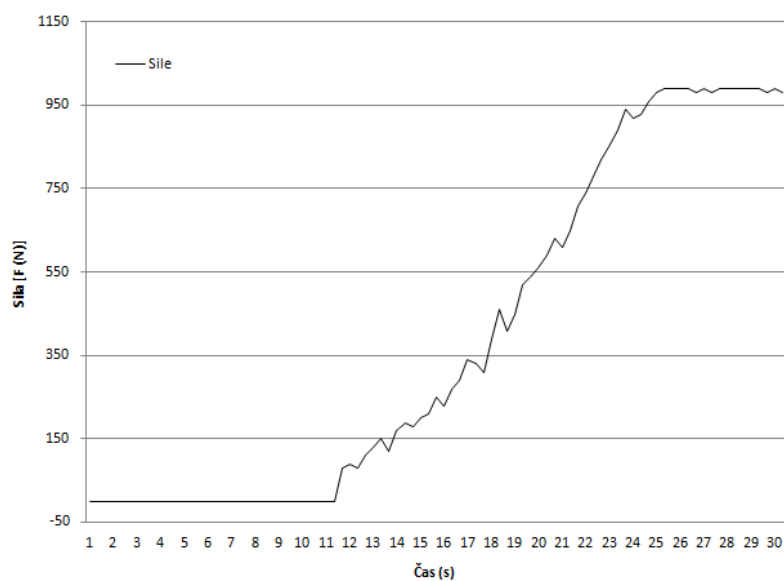
Meritev

Najprej smo izvedli meritev sil brez regulacije. Meritev smo opazovali 30 sekund, pri tem pa obdelovali po obliki, predstavljeni na zgornji sliki. Ob tem smo opravili tudi meritev podajanja.

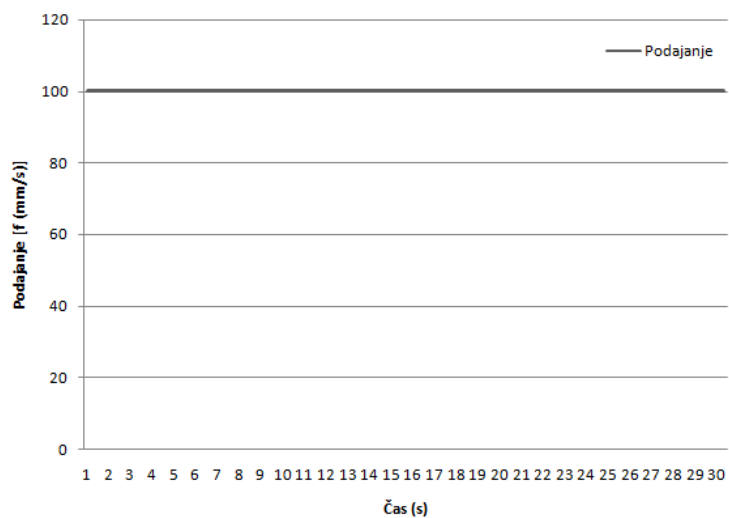
Smer obdelave: →



Neregulirana sila

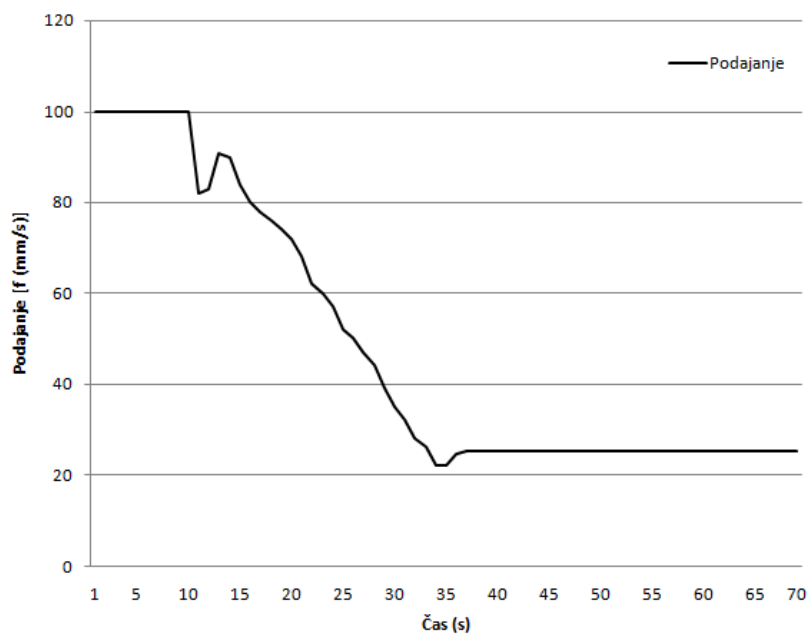


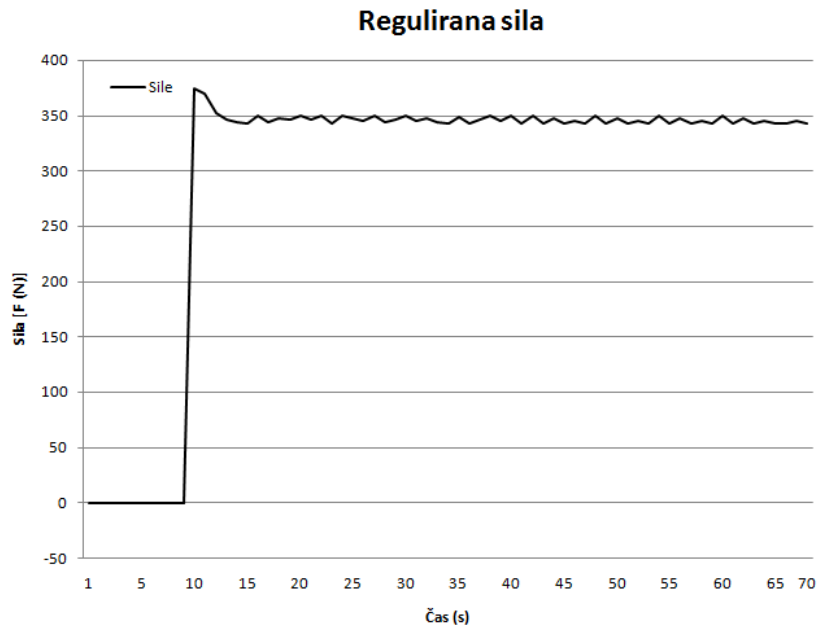
Neregulirano podajanje



Nato smo izvedli meritev z regulacijo sil, pri tem pa dodali mejo maksimalne sile (F_{max}) pri 350 N. Tudi pri tej meritvi smo opazovali podajanje.

Regulirano podajanje





Analiza meritev

Iz meritev lahko opazimo, da se pri merjenju sil brez regulacije ne spreminja podajanje, kar lahko ob prevelikih silah privede do loma orodja – frezala ter do slabše obdelave zaradi obrabe le-tega. Prevelike sile so velik problem pri obdelovalnem postopku frezanja, zato smo izvedli tudi meritev z regulacijo sil. Pri tej meritvi smo vnaprej nastavili maksimalno silo, ki smo jo vzdrževali s pomočjo regulacije podajanja. Ob tem smo opazili, da se je časovni potek obdelave podaljšal, a je orodje ostalo nepoškodovano ter manj obrabljeno. Opazili smo tudi maksimalni prenehaj 24 N, do katerega pride zaradi spremembe poteka frezanja. Pri sili 350 N nam ta prenehaj ne povzroča dodatne obrabe ali poškodbe frezala. Sklepna ugotovitev je, da je regulacija stabilna in učinkovita, saj zmanjša sile na frezalu in ob tem zmanjša strošek s finančnega vidika in uporabe na dolgi rok.