

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Primož POLH

**ZASNOVA VPENJALNEGA MEHANIZMA
NA CNC-STROJU**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, september 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Primož POLH

ZASNOVA VPENJALNEGA MEHANIZMA NA CNC-STROJU

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

DESIGNING OF THE CLAMPING MECHANISAM IN CNC MACHINE

B. Sc. THESIS
Profesional Study Programmes

Ljubljana, september 2016

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Lesarstvo - 1. stopnja.

Delo je opravljeno na katedri za Mehanske obdelovalne tehnologije na Oddelku za lesarstvo

Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Dominiko Gornik Bučar, za somentorja asist. dr. Mirana Merharja, za recenzenta pa prof. dr. Milana Šerneka.

Mentor: doc. dr. Dominika Gornik Bučar

Somentor: asist. dr. Miran Merhar

Recenzent: prof. dr. Milan Šernek

Komisija za oceno zagovora:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomski projekt je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Projekt, ki sem ga oddal v digitalni obliki, je identičen tiskani verziji.

Primož Polh

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*82
KG	vpenjanje obdelovancev/CNC-stroj
AV	POLH, Primož
SA	GORNIK BUČAR, Dominika (mentor)/MERHAR, Miran (somentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	ZASNOVA VPENJALNEGA MEHANIZMA NA CNC-STROJU
TD	Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP	XI, 49 str., 3 pregl., 28 sl., 12 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Raziskali smo možne rešitve vpenjanja obdelovancev na CNC lesno obdelovalni stroj. V našem primeru so obdelovanci vrata omar. Ker so vrata različnih dimenzij, je težko zagotoviti enostavno, učinkovito in povrh vsega tudi univerzalno vpenjanje na CNC stroj. V diplomskem delu so predstavljene možne izvedbe vpenjalnih naprav glede na karakteristike obdelovanca. Najprej smo izvedli preračune vpenjalnih sil in podtlakov, ki so potrebni za izdelavo vpenjalne naprave. Kot prvo možno rešitev navajamo šablono z elektronskim vakuumskim stikalom, katero bi vgradili v vpenjalno kladico, vklop in izklop prisesnih polj pa je izveden preko krmilne plošče. Druga rešitev je vpenjalna šablona z vzmetjo in podobnim načinom delovanja, kot prej omenjena kladica. Za vklop in izklop prisesnega polja uporabimo mehansko zapiralo, ki deluje s pomočjo vzmeti. Kladice obeh predhodno navedenih naprav lahko vpneemo na enotno šablono in jih razvrstimo tako, da pokrivajo polja določenih dimenzij vrat. Tretja rešitev je vpenjalna naprava s peresom, kjer za pomikanje na želeno dimenzijo vrat izkoristimo utore v obstoječi delovni mizi CNC stroja. S tem osnujemo poljubno prisesno polje in omogočimo nastavitve vseh možnih dimenzij vrat. Četrta rešitev je pomična vpenjalna naprava, katere okvir je narejen iz aluminijastih profilov, omogočajo pomik kladici eni smeri. Pomik v drugi smeri pa nam omogoča sredinska letev, ki se pomika s pomočjo navojnih palic. Na tak način omogočimo fleksibilnost vpenjalne šablone.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv1
DC UDC 630*82
CX vpenjanje obdelovancev/CNC-stroj
AU POLH, Primož
AA GORNIK BUČAR, Dominika (supervisor)/MERHAR, Miran (supervisor)/ŠERNEK, Milan (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TY DESIGNING OF THE CLAMPING MECHANISAM IN CNC MACHINE
DT B.Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
NO XI, 49 p., 3 tab., 28 fig., 12 ref.
LA SI
AL sl/en
AB We studied the possible solutions of clamping the workpieces on the CNC woodworking machines. In our case the workpieces are the closet doors. Since the doors come in different dimensions it is hard to ensure an easy, effective and universal clamping on to the CNC machine. Let us first familiarize with the characteristics of the workpiece itself and after that with the clamping forces and negative pressure calculations that are necessary for the production of clamping device. As the first possible solution I list a template with electric vacuum switch which we would build in the clamping block. Such template enables, through control panel, the activation and deactivation of the suction fields that we require for a certain door dimension. As a second possible solution the clamping template with a spring is presented and would work in a similar way as the previously mentioned block. The only difference is that the activating and deactivating of the suction box uses mechanical shutter, which operates by means of spring. The blocks of both of the aforementioned devices would be clamped on a uniform template and arrange them so they would cover the fields of certain door dimensions. As a third possible solution is the clamping device with a tenon. For moving to the desired door dimension the device would use the mortises in the CNC's workbench itself. This way we would establish an optional suction field and allow the setting of all possible door dimensions. The fourth solution is movable template with a frame made out of aluminium profiles. The profiles allow the block to move in y direction, whilst the moving in x direction is enabled by median batten which moves by means of threaded rods. This way enable the flexibility of the clamping template.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PREGLEDNIC	IVIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	IX
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	1
1.3 CILJI.....	2
2 PREGLED LITERATURE.....	3
2.1 VPENJANJE OBDELOVANECV	3
2.2 VRSTE VPENJALNIH NAPRAV	5
2.3 CNC-STROJ IN VPENJANJE	6
2.3.1 Mehanski deli stroja.....	8
2.3.2 Vakuumska črpalka	9
2.3.3 Krmilni del stroja	10
2.3.3.1 Načini krmiljenja	12
2.4 NAČRTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESOV NA CNC-STROJU.....	14
2.5 VAKUUMSKO VPENJANJE.....	15
2.5.1 Princip vpenjanja in zagotavljanje vpenjalne sile.....	16
2.6 IZDELAVA ŠABLONE.....	19
2.6.1 Značilnosti obdelovanja	20
2.6.2 Izdelava obdelovanja	21
2.6.3 Pristop k reševanju problema	23
2.3 CNC-STROJ IN VPENJANJE	6
2.7 ELEKTROMAGNETNI VENTIL IN NJEGOVO DELOVANJE	24
2.8 STROJNI VID	25
3 MATERIALI IN METODE.....	28
3.1 PRERAČUNI.....	28
3.1.1 Izračun vpenjalne sile	28
3.1.2 Izračun rezalne sile.....	29

3.1.3	Preračun potrebnega podtlaka	31
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	33
4.1	VPENJALNA NAPRAVA Z ELEKTROMAGNETNIM VAKUUMSKIM VENTILOM (MOŽNA REŠITEV 1).....	33
4.1.1	Kladica.....	34
4.1.2	Slabosti šablone z elektromagnetnim vakuumskim ventilom	36
4.2	VPENJALNA Kladica z VZMETJO (MOŽNA REŠITEV 2).....	37
4.3	VPENJALNA NAPRAVA S PERESOM (MOŽNA REŠITEV 3).....	40
4.4	POMIČNA VPENJALNA ŠABLONA (MOŽNA REŠITEV 4).....	42
4.4.1	Okvirna konstrukcija.....	42
4.4.2	Delovanje šablone.....	44
4.4.3	Kladica šablone.....	45
6	POVZETEK	46
7	VIRI.....	48
	ZAHVALA	

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema delovanja rezalnih in vpenjalnih sil	4
Slika 2: Shema delovanja enostopenjske rotacijske črpalke	9
Slika 3: Sestava računalnika v krmilnem delu	11
Slika 4: Krmiljenje od točke do točke	12
Slika 5: Linijsko krmiljenje	12
Slika 6: Izboljšano linijsko krmiljenje	13
Slika 7: Krmiljenje po poljubni poti	13
Slika 8: Princip delovanja vakuumskega vpenjanja	16
Slika 9: Vakuumska miza s šablono in obdelovancem.....	17
Slika 10: Princip vakuumskega vpetja s pomočjo vpenjalnih kladic.....	18
Sliki 11, 12: Primera vakuumskih kladic.....	19
Slika 13: Primer ene izmed možnih variant vrat s tremi prečniki	21
Slika 14: Presek profila vrat po obdelavi – viden je tudi utor za zaklepni sistem.....	22
Slika 15: Prikaz postavitve kladic vpenjalne naprave	34
Slika 16: Prikaz kladice z elektromagnetnim ventilom	35
Slika 16: Zgradba elektromagnetnega ventila	24
Slika 18: Primer uporabe strojnega vida.....	26
Slika 19: Primer vpenjalne šablone z vzmetjo.....	37
Sliki 20, 21: Prikaz delovanja kladice z vzmetjo; zaprta kladica (levo) in aktiviranja podtlaka v kladici (desno).....	38
Slika 22: Primer vpenjalne naprave s peresom.....	40
Slika 23: Prikaz vpenjalne mize CNC-stroja	41
Slika 24: Prikaz postavitve šablone s peresom	42
Slika 25: Prikaz šablone z okvirjem	43
Slika 26: Prerez enega izmed aluminijastih profilov	44
Slika 27: Shematski prikaz pomika srednje pomične letve	44
Slika 28: Prikaz kladice	45

KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 1: Pregled standardnih dimenzij vratnih okvirjev v podjetju.....	20
Tabela 2: Nazivni podatki rezkalnega stroja.....	29
Tabela 3: Razvrstitev širin vrat v razrede.....	34

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

k_{var} ...koeficient varnosti

F_{rez} ...sila rezanja

F_{vp} ...sila, potrebna za vpenjanje

A_{min} ...minimalna prisesna površina

Δp ...podtlak

$k_{var\ min}$...minimalni varnostni koeficient trenja

$F_{tr\ min}$...minimalna sila trenja

Δp_{min} ...minimalni podtlak

μ_{min} ...minimalni koeficient trenja

μ_{max} ...maksimalni koeficient trenja

P_n ...nazivna moč motorja

M ...moment

ω ...kotna hitrost

n_n ...nazivna vrtilna hitrost

d ...premer rezkarja

b ...globina brazde

a ...širina brazde

z ...število rezil

l_{rez} ...celotna dolžina rezila

$F_{2\pi}$...povprečna rezalna sila na vrtljaj orodja

$\frac{d}{2}$...polmerom rezkarja

φ_i ...izstopni kot

F_{tr} ...sila trenja

A ...prisesna površina

a_t ...tekoča dolžina okvirja vrat

$\bar{b}$...povprečna širina vrat

$\bar{A}$...povprečna prisesna površina

l ...dolžina

b ...širina

c ...debelina

ρ ...specifična gostota

m ...masa

1 UVOD

V proizvodnem procesu sta fazi vpenjanja in pozicioniranja obdelovanca na obdelovalne stroje zelo pomembni zadevi. Z njima lahko bistveno skrajšamo čas izdelave izdelka, vendar moramo pri tem paziti, da ne vplivamo na njegovo končno kakovost. S tega stališča mora biti vpenjanje obdelovanca hitro in stabilno, hkrati pa moramo zagotoviti, da je izdelek narejen precizno in kakovostno. Pogosto se lahko zgodi, da vpenjalna priprava ni najbolj primerna oziroma ne ustreza posameznemu obdelovancu, zato je naloga inženirjev in tehnologov, da iščemo vedno nove rešitve, ki bi izboljšale in pospešile proizvodni proces.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Diplomsko delo je nastalo v povezavi z izbranim podjetjem, ki izdeluje manjše serije izdelkov, med njimi tudi omare. Vrata teh omar predstavljajo problem pri vpenjanju na CNC-obdelovalni stroj, saj podjetje proizvaja kar 36 vrat standardnih dimenzij. Poleg standardnih omar v podjetju izdelujejo tudi omare po želji kupca, vrata katerih so posledično nestandardnih dimenzij. Naša naloga je bila, da skupaj z usposobljenimi delavci v izbranem podjetju na osnovi izkušenj ter teoretičnih in praktičnih znanj poiščemo možne rešitve za univerzalno vpenjanje obdelovancev, in sicer tako vrat standardnih kot tudi nestandardnih dimenzij. Zavedali smo se, da sam problem ni tako enostaven, zato smo se iskanja rešitev lotili sistematično. Iskali smo predvsem rešitve, ki bi bile dokaj enostavne, poceni in učinkovite. V diplomskem delu smo tako predstavili nekaj možnih rešitev problema s prednostmi in slabostmi, poleg teh pa tudi nekatere detajle, ki smo jih preučevali in so pomembni za samo delovanje takega vpenjalnega sistema. Rešitve, ki so nakazane v diplomskem delu, so teoretične narave in bi jih lahko uporabili tudi v praksi, vendar bi bilo treba prototipe takšnih naprav preizkusiti in dodelati, preden bi povsem zaživel v praksi.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Mogoče je zasnovati prilagodljiv vpenjalni sistem, ki bi glede na dimenzijo in obliko obdelovanca nudil njegovo optimalno vpetje z minimalnim časom nastavitve oblike in dimenzije vpenjalnega polja.

1.3 CILJI

Cilj diplomskega dela je, da v sodelovanju z izbranim podjetjem poiščemo možne rešitve vpenjanja obdelovancev na CNC-lesnoobdelovalni stroj. V našem primeru so obdelovanci vrata omar. Ker so vrata različnih dimenzij, je težko zagotoviti enostavno, učinkovito, univerzalno vpenjanje na CNC-stroj. Diplomsko delo se posveča reševanju težave z izdelavo šablone za vpenjanje vrat, ki bi omogočala vpenjanje vrat različnih dimenzij.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 VPENJANJE OBDELOVANCEV

Definicija vpenjanja je določena s standardom DIN 6300, ki pravi: »Namen vpenjalne naprave je, da se enega ali več obdelovancev pozicionira in zadrži v določeni legi v obdelovalnem postopku obdelovalnega stroja kljub delovanju rezalnih sil. Pozicija obdelovanca se med procesom obdelave ne sme spreminjati. Vpenjalna priprava mora zagotoviti natančnost mer in ponovljivost vpenjanja. Poleg teh osnovnih zahtev pa se od vpenjalne naprave zahteva še vodenje in pravilno pozicioniranje orodja do obdelovanca in natančno linearno ali krožno delitev« (Koroša, 2010).

Poenostavljeno bi lahko rekli, da vpenjanje ni nič drugega kot pozicioniranje obdelovanca na način, s katerim mu preprečimo pomikanje v vseh smereh. Obdelovanec, ki je izpostavljen učinku rezalne sile med delovanjem, se zaradi natančnosti in varnosti ne sme premikati. Izbira načina pozicioniranja obdelovanca ter razporeditev opornih točk v vpenjalni napravi določata velikost in smer vpenjalnih sil. Na osnovi znane sheme pozicioniranja lahko v nadaljevanju določimo tudi shemo vpenjanja obdelovanca. Vpenjalni elementi morajo zadostiti naslednjim zahtevam (Soković, 1979):

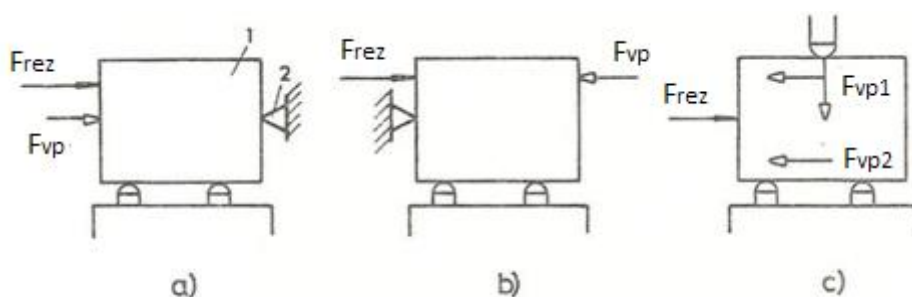
- omogočiti morajo cenejšo proizvodnjo;
- omogočiti morajo boljše delovne pogoje;
- zadovoljiti morajo kakovost obdelovanca, tako posamezno kot za celotno serijo;
- pri njihovem vpenjanju ne sme priti do premika obdelovanca iz vnaprej postavljene lege;
- vpenjala sila mora biti zadosti velika, da onemogoči premik obdelovanca zaradi delovanja rezalnih sil in vibracij;
- vpenjalne naprave morajo imeti možnost mehaniziranja ali avtomatiziranja.

Uspešnost načrtovanja vpenjalnega sistema je rezultat tako praktičnih kot tudi teoretičnih spoznanj. Prva so plod večletnih izkušenj, medtem ko druga omogočajo določitev dimenzijskih, geometričnih in mehanskih ustreznosti. Dimenzijska ustreznost zajema načrtovanje vpenjal v smislu njihovih dimenzij.

Geometrijska ustreznost zajema načrtovanje vpenjal v smislu pozicioniranja obdelovancev in njihove stabilnosti v vpenjalu. Mehanska ustreznost pa zajema načrtovanje vpenjal v smislu njihove ustrezne trdnosti in zagotavlja primerne vpenjalne sile (Zidar, 2012).

Ko konstruiramo vpenjalno napravo, moramo najprej s preračuni določiti velikost in mesto delovanja vpenjalne sile, šele nato se lahko odločimo za konstrukcijsko rešitev vpenjalnega mehanizma ter sistema za njegovo aktiviranje. Pri vpenjanju obdelovancev, ki niso togi, mora biti vpenjalna sila usmerjena proti oporni točki, pri vpenjanju togih obdelovancev pa so lahko mesta, v katerih deluje vpenjalna sila, tudi med oporami. Kolikšne bodo vpenjalne sile in v katero smer bodo delovale, je odvisno od rezalnih sil in momentov, ki jih povzroči obdelovalno orodje. Njihovo velikost izračunamo po enačbah, ki jih opredeljuje teorija odrezovanja, ali pa jo glede na naše tehnične parametre poiščemo v priročnikih. Zaradi večje varnosti dobljene vrednosti sil pomnožimo s koeficientom varnosti (k_{var}), ki je najpogosteje med 1,5 in 2,5. Velikost koeficienta je določena glede na stopnjo obdelave; večji koeficient uporabljamo pri bolj grobi vnaprejšnji obdelavi, manjšo vrednost koeficienta pa pri dokončni, fini obdelavi (Soković, 1979).

Na sliki 1 so prikazane tri osnovne sheme vpenjanja oziroma bolj rečeno tri možne relacije, ki lahko nastopijo med silo rezanja (F_{rez}) in silo, ki je potrebna za vpenjanje (F_{vp}). V primeru **a**) delujeta vpenjalna in rezalna sila na obdelovanec (1) v isti smeri proti podpori (2). V tem primeru je potrebna minimalna sila za vpenjanje. V primeru **b**) delujeta vpenjalna in rezalna sila v nasprotni smeri, v primeru **c**) pa je sila vpenjanja pravokotna na rezalno silo (Soković, 1979).



Slika 1: Sheme delovanja rezalnih in vpenjalnih sil (Soković, 1979)

2.2 VRSTE VPENJALNIH NAPRAV

Za vpenjanje ali pritrjevanje lahko uporabljamo preproste (toge) ali sestavljene (elastične) elemente.

Preprosti (togi) vpenjalni elementi so navadno iz enega dela, ki je lahko klin, ekscenter, vijak, in podobno. Sestavljeni (elastični) vpenjalni elementi imajo več preprostih elementov, ki so med seboj povezani v neko celoto, na primer vzmeti, vakuum, ekscenter ali vijaki s stremeni, pnevmatski in hidravlični cilindri, vzvodi in podobno. Ti elementi omogočajo vpenjanje obdelovancev z enakimi vpenjalnimi silami na več mestih hkrati. Sila vpenjanja se ne spremeni, tudi če se obdelovanec med obdelavo premakne ali spremeni svoje dimenzije (Soković, 1979).

Glede na stopnjo mehanizacije lahko vpenjalne naprave razdelimo na (Soković, 1979):

- naprave z ročnim vpenjanjem;
- mehanizirane naprave s hidravličnim pnevmatskim ali električnim pogonom, ki jih vklapljam ročno;
- avtomatične naprave, ki jih vklapljam s krmiljenjem.

V okviru cenene avtomatizacije, pri obdelovalnih progah ali NC-obdelovalnih strojih srečujemo zelo različne oblike vpenjanj glede na prejšnjo razvrstitev. Z ročnim vpenjanjem se srečamo tudi pri najbolj avtomatiziranih obdelovalnih sistemih, kot so transferne proge ali NC-obdelovalni sistem. Po drugi strani skušamo preproste, večkrat ponavljajoče se operacije na klasičnih strojih mehanizirati ali avtomatizirati (Soković, 1979).

Rotacijske obdelovance lahko vpenjamo na dva načina:

- a) v čeljust vpenjalne glave ali
- b) na trnu z elastičnim razpiralnim stebлом.

V obeh primerih rezalne sile povzročajo vrtilni moment, ki skuša obdelovanec zasukati okoli lastne osi. Poleg tega na obdelovanec deluje še aksialna sila, ki ga skuša premakniti vzdolž osi.

Dejanske vpenjalne sile, ki jih povzročajo posamezne vpenjalne naprave in mehanizmi, morajo biti enake ali večje od izračunanih (Soković, 1979).

2.3 CNC-STROJ IN VPENJANJE

Globalni trgi in huda konkurenca so lesno industrijo prisilili, da sama poseže po avtomatizaciji procesov, s katerimi lahko poveča produktivnost, izboljša kvaliteto, zniža proizvodne stroške in nenazadnje ustreže kupcem, ki želijo zahtevne in kvalitetne izdelke. Z gotovostjo lahko trdimo, da je lesna industrija napredna, saj se v proizvodnih procesih pojavlja vse več avtomatizacije in robotizacije.

Rešitev za vse to nam omogočajo sodobni računalniško krmiljeni stroji. Zametki teh so se začeli pojavljati že v petdesetih letih prejšnjega stoletja v Združenih državah Amerike. Označevali so jih s kratico NC (angl. *Numerical Control* – numerično krmiljen), kasneje pa so te stroje nadomestili CNC-stroji (angl. *Computer Numerically Controlled* – računalniško numerično krmiljen), ki so postali bolj napredni, saj vsebujejo tudi računalnik (Otto, 2010).

Prva generacija NC-krmiljenih strojev je imela numerične kontrolne enote s fiksno logiko, zaradi česar so bili omejeni pri uporabi. Samostojno krmiljenje stroja so prevzele regulacijske naprave, ki so lahko obvladale različne, zapletene in med seboj povezane poteke dela.

Z razvojem elektrotehnike in še posebej elektronike so se krmilja fizično zmanjšala, povečevale so se njihove zmožnosti, postala pa so tudi cenovno dostopnejša. Velik razvojni preskok je bil narejen, ko so klasična NC-krmiljenja zamenjali s CNC-krmilji, ki vsebujejo računalnik. CNC-krmilje v bistvu opravljajo podobno nalogo kot NC-krmilje, vendar lahko vgrajeni računalnik prevzame vrsto posebnih nalog, kot so (Otto, 2010):

- višja vrsta interpolacije;
- programska povezava krmilja s strojem;
- korekcija radija rezalnega roba;
- tehnika dela s podprogrami ...

Poleg tega, da CNC-krmilje opravlja prej naštete naloge, ima še dodatne prednosti pred klasičnimi stroji, in sicer (Otto, 2010):

- preprost vnos želenega programa v stroj;
- enostavno popravljanje že shranjenega programa;
- večjo produktivnost stroja;
- večjo kvaliteto in natančnost izdelave izdelka;
- večjo izkoriščenost stroja;
- visoko prilagodljivost pri obdelavi;
- omogočanje več delovnih operacij.

Medtem ko so lahko klasični NC-stroji opravljali samo eno delovno operacijo in jih je bilo potrebno vedno nastavljati in kontrolirati, lahko visoko avtomatizirani obdelovalni CNC-stroji pri enakem vpetju izvedejo večje število operacij. Z enkratnim pozicioniranjem obdelovanca na CNC-stroj skrajšamo čas izdelave izdelkov, saj teh ni treba večkrat vpenjati, poleg tega pa ne potrebujemo niti transporta od stroja do stroja. Na tak način zmanjšamo možnost napak in stroške same proizvodnje, zato so taki stroji zaželeni v maloserijski, srednjoserijski in posamični proizvodnji. V nadaljevanju je naštetih še nekaj prednosti obdelave z večstopenjskimi CNC-stroji:

- opravljanje delovnih operacij z enim vpenjanjem na enem stroju;
- od 6- do 10-krat večja storilnost kot pri konvencionalni obdelavi;
- en delavec za posluževanje stroja;
- neodvisnost kvalitete obdelave in natančnosti dimenzij od razpoloženja delavca;
- ena oseba za servis kompletnega stroja;
- nepotrebno skladiščenje obdelovancev med posameznimi fazami obdelave;
- izredno kratki pripravi čas;
- enostavna in hitra priprava tehnoloških parametrov;
- prilagajanje tehnoloških parametrov med delovnimi operacijami;
- visoka stopnja varnosti pri delu;
- možnost obdelave več različnih obdelovancev na isti delovni mizi z enim vpetjem;
- ponovljivost delovnih operacij tudi po daljšem časovnem obdobju z enako natančnostjo;

- prihranek delovnega prostora zaradi zamenjave večjega števila klasičnih strojev z enim samim.

CNC-krmiljen stroj je neke vrste avtomat, ki ga lahko prosto programiramo. Njegova glavna značilnost je fleksibilnost oziroma možnost hitre preureditve z ene na drugo obdelavo, in sicer z zamenjavo programa ali eventualno z manjšimi hitrimi preureditvami, zato je še posebej primeren za avtomatizacijo maloserijske in srednjeserijske proizvodnje (Otto, 2010).

CNC-krmiljen stroj je sestavljen iz dveh glavnih delov: stroja, na katerem se izvaja obdelava delov, in CNC-krmilnika, ki omenjeno obdelavo krmili. CNC-program, ki vsebuje natančen popis poteka obdelave na stroju, predstavlja vhodne informacije, ki jih CNC-krmilnik potrebuje za krmiljenje obdelave.

2.3.1 Mehanski deli stroja

Mehanski del stroja je zelo podoben kot pri klasičnem stroju, vendar ima številne izboljšave (Otto, 2010):

- avtomatično, programsko voden menjava orodij (revolverska glava ali shramba orodij);
- možnost brezstopenjskega krmiljenja števila vrtljajev glavnega vretena;
- pretvarjanje vrtilnega gibanja elektromotorja v podajalno s pomočjo krogličnega vijačnega vretena in matice, ki zagotavljata zelo natančno pozicioniranje orodja in delovne mize;
- zelo natančno merjenje položaja pri gibanju v smeri osi s pomočjo merilnega sistema (direktno ali indirektno merjenje položaja);
- togost, ki zagotavlja manjše vibracije stroja in posledično bolj točno izdelavo.

Pri CNC-obdelavi se zaporedje operacij spremeni. Bistvenega pomena pri CNC-stroju so tudi vodila, ležaji, ogrodje in kontrola izvajanja (Otto, 2010).

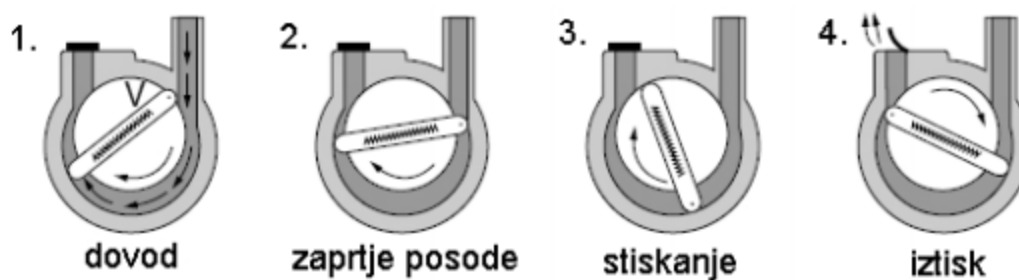
- **VODILA:** večina boljših CNC-strojev ima sistem linearnega vodenja s krogličnimi objemnimi vodili (vodilni na tem področju je THK), druga so še klasična drsna vodila, vodila s kotalnimi elementi in za natančno vodenje velikih bremen pri majhnih hitrostih zelo uveljavljena hidrostatična vodila.

- **POGONI:** od omenjenega navojnega vretena z matico sta v uporabi še zobata letev in zobati jermen za manjše natančnosti.
- **LEŽAJI:** so izrednega pomena za natančnost in obrabo vsakega CNC-stroja. Vsi boljši stroji imajo vgrajene ležaje s keramičnimi kroglicami namesto jeklenih, saj so lahko vrtilne hitrosti stroja višje za 55 %, temperatura obratovanja pa je nižja. Taki ležaji so od 3- do 4-krat dražji od ležajev z jeklenimi kroglicami.
- **PRITRDITEV OBDELOVANCA NA DELOVNO MIZO:** poteka z vakuumskim ali mehanskim vpenjanjem, uporabljajo pa se še druge pnevmatične in hidravlične naprave.

2.3.2 Vakuumska črpalka

Vakuum ustvarjamo s pomočjo vakuumskih črpalk. Možnih je več izvedb, spodaj je opisano delovanje rotacijske črpalke (Ileršič, 2015):

Rotacijska (lopaticna) črpalka je sestavljena iz valjaste komore. Vanjo je ekscentrično postavljen rotor s pomičnimi lopaticami, ki se lahko gibljejo v radialni smeri, da zatesnijo stik med rotorjem in valjasto komoro. Tako nastaneta dve komori. V fazi sesanja ima komora največji volumen. Takrat skozi dovodno cev plin vstopi v črpalko. V drugi fazi se volumen komore manjša, zato se povečuje tlak plina. Ko tlak dovolj naraste, skozi izpustni ventil zapusti črpalko. Takšen proces se ob enem obratu rotorja izvede dvakrat.



Slika 2: Shema delovanja enostopenjske rotacijske črpalke (Manojlovič)

Rotacijske črpalke so lahko enostopenjske ali dvostopenjske. Dvostopenjska črpalka je sestavljena iz dveh zaporedno vezanih enostopenjskih črpalk.

Največja črpalna hitrost je odvisna od velikosti lopatic. Večje kot so te, večja je lahko hitrost. Minimalen tlak, ki ga lahko črpalka doseže, je odvisen od določenih komponent v črpalki. Največkrat začne plin uhajati na robu lopatic, torej tam, kjer se lopatica stika z ohišjem. Rotacijske vakuumske črpalke so namenjene predvsem črpanju plinov, ki sestavljajo ozračje. Črpanje par je nezaželeno, vendar se temu ne moremo povsem izogniti, saj so pare pomešane s plini (dušik, kisik).

2.3.3 Krmilni del stroja

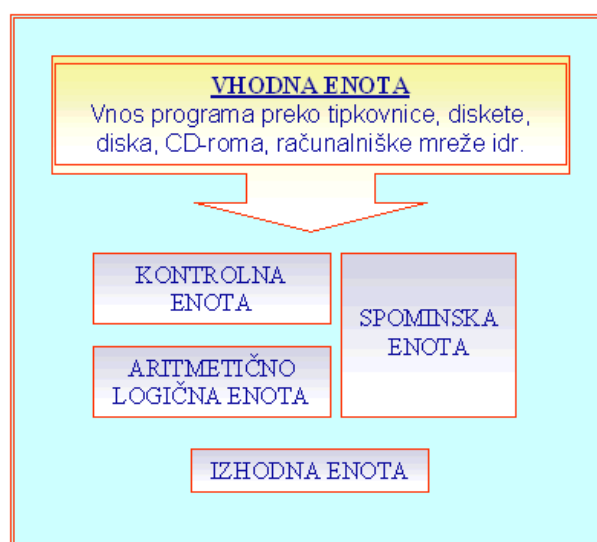
Krmilni del stroja ima vgrajen računalnik, ki vsebuje (Otto, 2010) v nadaljevanju naštetе in opisane dele.

- a) **Vhodna enota** poskrbi za vnašanje podatkov oziroma programa. Program lahko vnašamo:
 - ročno – programer določi in opiše operacijski postopek obdelave na CNC-stroju glede na delavniško risbo in napiše CNC-program, vse izračune naredi sam;
 - ročno programiranje direktno na stroju – programer stroj programira s pomočjo programskih paketov, ki so prednaloženi na sam stroj. Do njih navadno dostopa prek zunanjih vmesnikov (zaslona na dotik – angl. *touch panel*, tipkovnice, miške ipd.). S pomočjo teh programskih orodij in zaslona lahko sprotno kontrolira vhodne in izhodne podatke. Na ekranu ima tudi možnost spremljanja grafične simulacije poti orodij;
 - programiranje s pomočjo računalnika – programer s pomočjo CAD-CAM sistema vnese risbo v računalnik. Program na osnovi risbe in lastne baze tehnoloških podatkov orodja in materiala izdela NC-kodo oziroma program za določen tip CNC-stroja. CAD-CAM program ima podatke o orodju, ponuja optimalne tehnološke parametre obdelave ter analizira in izračuna čas izdelave. Program se shrani in nato običajno prenese na stroj preko RS232 vmesnika. Na stroju se še enkrat izvede simulacijo programa, nato pa pristopi k izdelavi izdelka.
- b) **Obdelovalna enota** obdeluje podatke (program), shranjuje podatke obdelave, preračunava, pošilja signale in ukaze preko izhodne enote v mehanski del ter dobiva povratne informacije o njihovi izvedbi.

- Večina današnjih CNC-strojev lahko v svoj pomnilnik shrani enega ali več programov. Število programov, ki so lahko shranjeni v pomnilniku, je odvisno od velikosti pomnilnika. Vsak program ima svoje ime, da jih lahko ločimo med seboj. Krmilniki omogočajo popravljanje že shranjenih programov.
 - Moderni krmilniki omogočajo interaktivno programiranje s pomočjo »čarovnika«, ki nas vodi preko sistema menijev, vprašanj in odgovorov ter nam pomaga pri izdelavi programa.
 - Ena pomembnejših funkcij krmilnika je omogočanje grafične simulacije programov na zaslonu.
 - Krmilnik omogoča samopreverjanje pravilnosti delovanja krmilne enote.
- c) **Izhodna enota** pošilja podatke krmilnim elektromotorjem, preko katerih se izvaja gibanje in obdelava na stroju.

Izhodna enota je tudi zaslon, ki ga imajo že vsi CNC-stroji. S pomočjo zaslona lahko programer (operator) na enostaven način, preko sistema menijev, komunicira s strojem. Na zaslonu so prikazani trenutna pozicija orodja, vrtljaji vretena ter razne spremenljivke in alarmi, ki nas opozarjajo na napake. Na zaslonu lahko izvedemo grafično simulacijo programa, še preden izvedemo program. Grafična simulacija programa nam na zaslonu pokaže pot orodja in izdelavo izdelka, pa tudi možne napake, do katerih lahko pride pri pisanju programa.

Senzorji vsak premik in gibanje sporočajo krmilni enoti, ki na ta način vodi in krmili celoten proces izdelave izdelka.

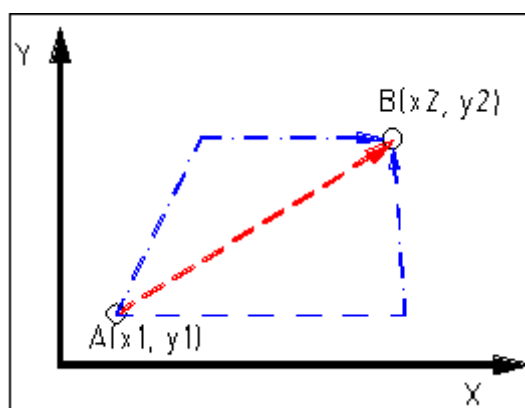


Slika 3: Sestava računalnika v krmilnem delu (Otto, 2010)

2.3.3.1 Načini krmiljenja

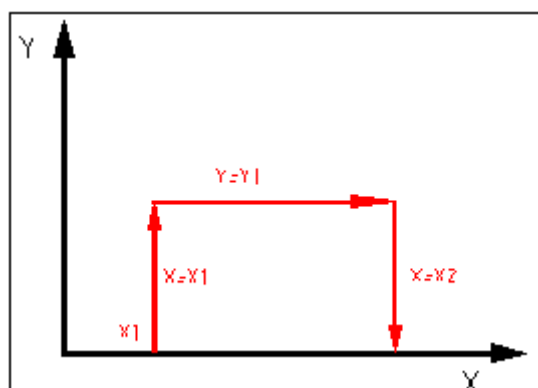
CNC-stroje krmilimo s pomočjo računalnika, tako da naredimo program, katerega prenesemo na stroj. Stroj nato po programu opravlja funkcije, ki smo jih zapisali. Glede na način gibanja orodja ločimo nekaj osnovnih načinov krmiljenja stroja:

- a) **krmiljenje od točke do točke** – od začetne točke A do končne točke B smemo krmiliti po poljubni poti. Ko se premikamo, orodje ne obdeluje. Takšen tip krmiljenja uporabljamo predvsem pri vrtanju in točkovnem varjenju;



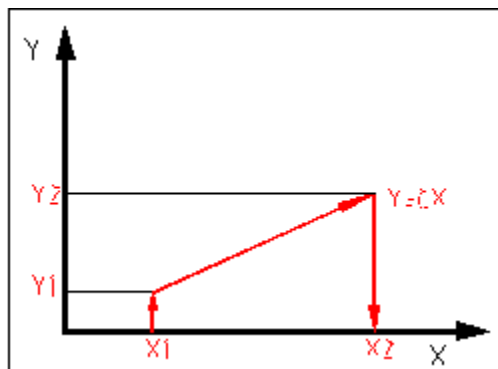
Slika 4: Krmiljenje od točke do točke (Otto, 2010)

- b) **krmiljenje po ravnih linijah** – orodje med gibanjem obdeluje od začetne točke A do končne točke B. Premika se od ene do druge v zaporedju, ki je napisano v programu. Običajno je možno gibanje vzporedno s koordinatnimi osmi ali pa pod kotom 45°. Takšen način krmiljenja uporabljamo pri stružnicah;



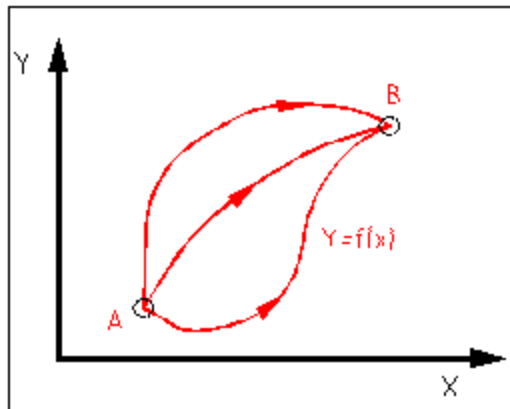
Slika 5: Linijsko krmiljenje (Otto, 2010)

- c) **izboljšano krmiljenje po ravnih linijah** – to krmiljenje je podobno prejšnjemu, edina razlika je, da lahko gibanje od začetne do končne točke izvedemo pod poljubnim kotom. Vključen je linearni interpolator poti. Takšno krmiljenje uporabljamo pri stružnicah za struženje konusov in frezanje ravnih ploskev;



Slika 6: Izboljšano linijsko krmiljenje (Otto, 2010)

- d) **krmiljenje po poljubni poti** – to krmiljenje je gibanje po dveh ali treh oseh. Takšen princip lahko primerjamo s kopiranjem modela poljubne oblike; stružimo in frezamo lahko poljubne konture, istočasno pa krmilimo po dveh ali treh oseh.



Slika 7: Krmiljenje po poljubni poti (Otto, 2010)

2.4 NAČRTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESOV NA CNC-STROJU

Najpomembnejši element pri načrtovanju tehnološkega procesa je vsekakor določitev vrstnega reda operacij obdelave izdelka. Ta od programerja zahteva poznavanje standardnih postopkov obdelave, tehnoloških možnosti CNC-stroja, specifične konstrukcije in oblike izdelka ter drugo (Otto, 2010).

Pri določevanju tehnološkega procesa uporabljamo: delavniško risbo predmeta, karakteristike stroja, standarde, kataloge rezalnega, pomožnega ter merilnega orodja in drugo (Otto, 2010).

Za opis zgoraj navedenih elementov uporabljamo tudi obrazce, v katere vpisujemo vse parametre, ki so nujni za izdelavo nekega izdelka. Celotna dokumentacija je sestavljena iz (Otto, 2010):

- delavniške risbe izdelka;
- načrta vpetja obdelovanca in pozicioniranja – vakuumška plošča na vodilih ima dimenzije 160 x 160 mm. Vpišemo dimenzijo leve in desne strani. Vpenjanje obdelovancev moramo vedno izvesti tako, da so vakuumski priseski odmaknjeni 30–50 mm od roba poti orodja. Upoštevati moramo nadmero obdelovanca, pri zaokrožitvah pa si za natančnejšo določitev pozicije prijemal pomagamo z grafično simulacijo obdelave;
- načrta rezanja – prikazuje obdelavo po operacijah glede na operacijski list;
- operacijskega lista, na katerem opredelimo vse operacije obdelave po posameznih stopnjah;
- orodnega lista, ki opisuje uporabljeno orodje za izdelavo izdelka po posameznih operacijah glede na operacijski list;
- programskega lista, na katerega vpišemo celoten program za CNC-stroj. Ta program vnesemo oziroma prenesemo na stroj preko tipkovnice, diskete, omrežne povezave ali prenosnega PC-ja. Večina boljših CNC-strojov ima v programsko opremo stroja vgrajeno možnost vnosa risbe, preko katere generiramo NC-kodo za potrebno obdelavo.

2.5 VAKUUMSKO VPENJANJE

Beseda vakuum je latinskega izvora in pomeni praznino, se pravi natanko to, kar je po definiciji: prostor, ki ne vsebuje snovi. Dandanes ga uporabljamo na nešteto področjih: za elektronsko in hladno varjenje, vakuumsko pakiranje, toplotno izolacijo, pritrdjevanje obdelovancev, elektronsko mikroskopijo in drugo (Majdič, 2013).

Izraz vakuum uporabljamo za tlake, ki so nižji od normalnega zračnega tlaka, ki znaša 101300 Pa oziroma 1013 mbar. Vakuum delimo v 4 podkategorije (Majdič, 2013):

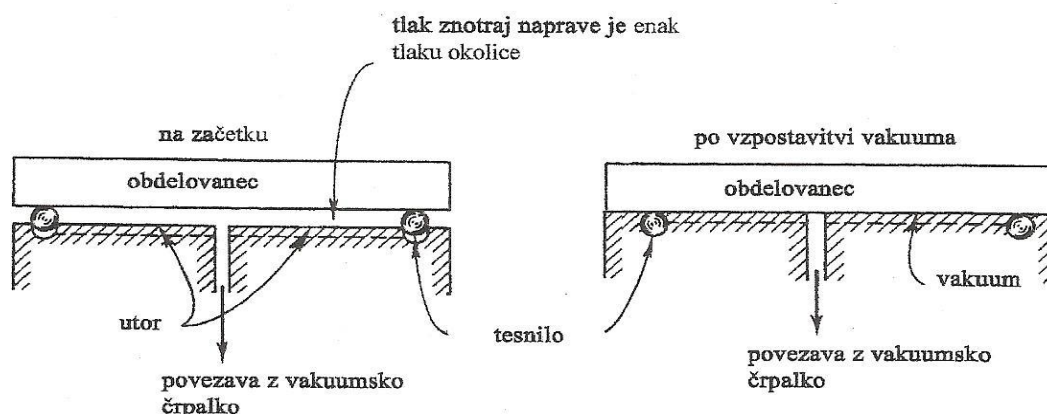
- nizek oziroma grob vakuum: 100 kPa–3 kPa;
- srednji vakuum: 1 kPa–100 mPa;
- visok vakuum: 100 mPa–100 nPa;
- ultra visok vakuum: 100 nPa–100 pPa

V vesolju je tlak 100 μ Pa–3 fPa, kar navadno imenujemo »*deep space vacuum*«.

Kot smo omenili že v prejšnjih poglavjih, je vakuumsko vpenjanje eden najpogostejših načinov vpenjanja na CNC-strojih. V praksi vakuum dosegamo z zračnimi črpalkami, ki iz določenega prostora črpajo molekule zraka in tako ustvarjajo znižan pritisk. Pri vpenjanju na CNC-obdelovalnih strojih znaša podtlak okrog 0,9 bara. Vakuumsko vpenjanje je primerno, ker je hitro in enostavno. Sodi med elastične načine vpenjanja, saj se sila vpetja ob morebitnem premiku obdelovanca ali spremembi njegovih dimenzij ne spremeni. Obdelovanec nalega samo na eni vpenjalni ploskvi, vse ostale pa so proste in jih lahko obdelujemo, vendar mora biti pri tem vpenjalna površina dovolj velika. Metoda je primerna tako za ravne kot ukrivljene površine, saj ni občutljiva na kvaliteto površine. Njena prednost je v tem, da na obdelovancih ne pušča odtisov, kot se lahko včasih zgodi pri drugih primerih vpenjanja. Teoretični maksimum specifične vpenjalne sile pri absolutnem vakuumu znaša 0,1 N/mm² in se proporcionalno zmanjša, če je vakuum manjši (Zidar, 2012).

2.5.1 Princip vpenjanja in zagotavljanje vpenjalne sile

Vakuumsko vpenjanje v praksi sestoji iz obdelovancev simetrične površine, ki je omejena z gumico. Polje pod gumico ima dovod do vakuumske črpalke, po navadi kar skozi izvrtino v delovni mizi. Vpenjalna ploskev je z žlebovi razdeljena na več ločenih polj, da je podtlak konstanten po celotni površini prisesnega polja. Površina je z gumico ločena od okolice, s tem pa preprečuje, da bi podtlak, ustvarjen pod obdelovancem, razširil svoje delovanje preko meje obdelovanca. To bi pomenilo slabše delovanje podtlaka pod obdelovancem in s tem slabše vpetje ter nevarnost izleta obdelovanca pri kontaktu z obdelovalnim orodjem. Delovanje vakuumskega vpetja na obdelovanec prikazuje slika 8; levo so prikazane razmere, ko vakuum ne deluje na obdelovanec, desno pa, kako se obdelovanec naleže na površino, ko vzpostavimo vakuum (Zidar, 2012).



Slika 8: Princip delovanja vakuumskega vpenjanja

V industriji poznamo več vrst vakuumskih vpenjanj s tesnilno gumico. Za obdelovance ravnih ploskev, z relativno veliko stično ploskvijo je najbolj primerna rastrska vpenjalna miza. To je miza, ki ima po celi ploskvi izrezkano mrežo utorov, v katere vstavimo tesnilno gumico. Miza ima po celotni ploskvi na določenem rasterju izvrtine, ki so preko cevk povezane z vakuumsko črpalko. Mreža utorov nam služi, da s tesnilno gumico oblikujemo poljubno prisesno ploskev, ki mora imeti vsaj eno ali več sesalnih odprtin, skozi katere izsesamo zrak in tako ustvarimo podtlak. Ostale odprtine, ki jih ne potrebujemo, zatesnimo z vijaki. Čeprav je to vpenjanje hitro in enostavno, ima svoje slabosti.

Pri obdelovanju obdelovancev moramo paziti, da jih ne prevrtamo, ker bi tako poškodovali vpenjalno ploskev in povzročili padec podtlaka. Veliko oviro predstavljajo predvsem manjši obdelovanci, saj imajo manjšo naležno površino, tako da je prilagajanje rasterju sesalnih izvrtin mize težje. Včasih ni mogoče izrabiti razpoložljive prisesne površine, zato moramo izdelati šablono, ki jo potem pritrdimo na vakuumsko mizo, nanjo pa obdelovanec, ki ga želimo obdelovati; tak primer lahko vidimo na sliki 9. Šablono navadno izdelamo tako, da izrezkamo utor za tesnilo. Oblika utora je skoraj identična konturi obdelovanca, le da je nekoliko pomanjšana, saj mora obdelovanec segati preko tesnila. Prav tako moramo izdelati vpenjalo za obdelovance, ki imajo prisesno ploskev oblikovano tridimenzionalno. Izdelovanje take šablone nam vzame veliko časa in se nam za majhno število obdelovancev ekonomsko ne izide (Zidar, 2012).



Slika 9: Vakuumska miza s šablono in obdelovancem

Drugi najpogosteje uporabljen sistem vpenjanja s tesnilno gumico sestoji na principu več manjših pomičnih prisesnih polj. Mobilni prisesni vpenjalni elementi imajo obliko kladice. Poljubno jih razvrstimo na tako imenovane roke delovnega stroja, ki jih lahko prav tako premikamo. Zgornja ploskev ima vdeleno tesnilo in služi kot prisesna ploskev. Prednost takega sistema je, da lahko poljubno oblikujemo prisesna polja za velikost našega obdelovanca.

Poznamo dve vrsti prisesnih kladic:

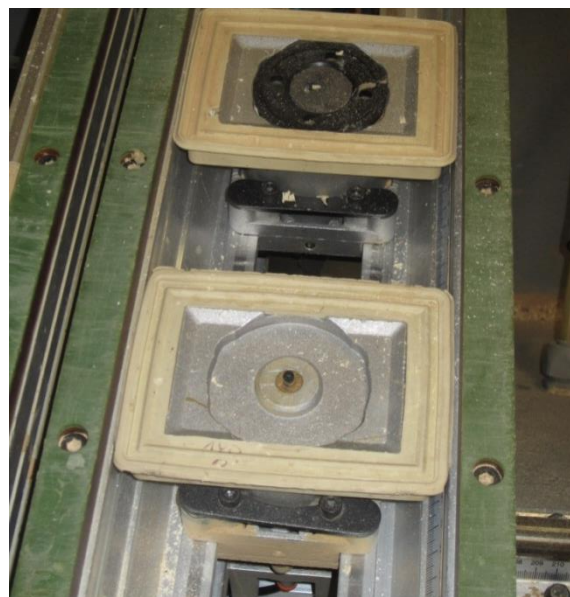
- pri prvem principu se vakuum vključi, ko položimo obdelovanec na kladico, ta pa pahne zapiralo odprtine dovoda vakuuma v notranjost, da lahko začne vakuum delovati;
- drugi sistem deluje tako, da na kladico položimo obdelovanec; ko ta leži na kladici se namreč na njeni površini spremeni tlak, ki avtomatsko odpre ventil vakuumske odprtine.

Taki sistemi imajo po navadi tudi pnevmatske pozicionerje, ki služijo kot baza obdelovanca. Pozicionerji se ob menjavi obdelovanca dvignejo, med obdelavo pa so spuščeni, da ne bi prišlo do trka z rezilnim orodjem (Zrnić, 1986).



Slika 10: Princip vakuumskega vpetja s pomočjo vpenjalnih kladic

Na sliki 11 in 12 sta prikazana prej omenjena primera vakuumskih kladic. Na sliki 10 je prikazan primer vakuumske kladice na roki stroja, ki odpira vakuum, tako da obdelovanec fizično potisne zapiralo v notranjost. Pred kladico je pnevmatski pozicioner. Na sliki 11 je prikazan primer vakuumske kladice, ki se odpre zaradi spremembe podtlaka, ko nanjo pritismo obdelovanec. Podobno prisesane kladice lahko postavimo tudi na vakuumsko mizo. Te obdelovanec dvignejo od delovne mize, tako da lahko robove obdelamo tudi s spodnje strani.



Sliki 11, 12: Primera vakuumskih kladic

2.6 IZDELAVA ŠABLONE

Izbrano podjetje izdeluje manjše serije posameznih izdelkov, med njimi tudi omare. Vrata le-teh predstavljajo problem pri vpenjanju na CNC-obdelovalni stroj. Izdelava samih vrat predstavlja v proizvodnji zelo majhen odstotek glede na celoten obseg proizvodnje, hkrati pa vzame veliko časa. Zato je potrebno iskati rešitve, ki bi skrajšale proizvodni čas in tako povečale produktivnost podjetja.

Zaradi težnje po čim hitrejši obdelavi, bi izbran obdelovanec izdelovali na CNC-obdelovalnem stroju, vendar se zaradi specifičnosti samih vrat pojavi težava pri vpenjanju na delovno mizo CNC-stroja. Prvi problem, ki se pojavi, je različna velikost vrat, saj je v proizvodnji kar 36 standardnih dimenzij vrat. Ta problem bi lahko rešili z enotno vpenjalno šablono. Pri tem moramo upoštevati dejstvo, da se pojavlja vse več kupcev, ki naročajo omare poljubnih dimenzij, tako da so tudi vrata le-teh nestandardna. Ker so vrata različnih širin in dolžin, bi jih težko vpenjali na šablono, narejeno za standardna vrata. Težavo bi lahko enostavno rešili s pomočjo obstoječih vpenjalnih kladic na CNC-stroju, vendar so prečniki in pokončniki okvirja vrat širine 55 mm. To v praksi pomeni, da jih z vpenjalnimi kladicami ne moremo vpenjati, saj je širina kladic večja. Zato smo začeli razmišljati o univerzalnem vpenjalnem sistemu, ki bi omogočil vpenjanje standardnih in nestandardnih dimenzij vrat omar.

2.6.1 Značilnosti obdelovanca

Naš izbrani obdelovanec so vrata pohištvenih omar, ki jih izdelujejo v izbranem podjetju. Izbrano podjetje izdeluje izdelke izključno iz masivnega lesa, pri čemer pohištvo spada v višji cenovni razred. Vrata so vgrajena v omare oziroma vitrine za dnevne sobe ali garderobne omare. Za izdelavo omenjenih obdelovancev podjetje uporablja les češnje, oreha in hrasta, zanemarljivo majhen delež je bukovine in jesena, vse pa je seveda odvisno od naročnikovih želja. Les je posušen na 8–10% vlažnosti, včasih tudi na 11%. Podjetje velik delež svojih izdelkov izvozi v dežele z nekoliko višjo zračno vlažnostjo, zato je ena izmed zahtev teh naročnikov, da je les nekoliko višje vlažnosti, saj so s praktičnimi poizkusi dognali, da manj deluje v njihovi klimi.

Kot smo že omenili, izbrano podjetje izdeluje kar 36 standardnih dimenzij vratnih okvirjev, širine in dolžine katerih so predstavljene v tabeli 1. Debelina prečnikov in pokončnikov okvirjev vrat meri 28 mm, širina pa 55 mm. Poleg teh 36 standardnih dimenzij vrat podjetje izdeluje tudi omare in vrata po želji kupca. V praksi to pomeni, da podjetje izdela omaro po dimenzijah, ki jih kupec zahteva, nato pa prilagodi še dimenzije okvirjev vrat, saj se morajo vrata prilegati omari. Dimenzije takih vrat so lahko povsem naključne in se v izbranem podjetju pojavljajo v čedalje večjem številu. Njihov odstotek glede na celoten obseg proizvodnje ni tako nezanemarljiv, zato je smiselno razmisliti o vpenjalnem orodju, ki bi bilo čim bolj univerzalno in s katerim bi lahko vpenjali čim več standardnih in nestandardnih dimenzij vrat.

Tabela 1: Pregled standardnih dimenzij vratnih okvirjev v podjetju

Številka vrat	Dolžina (mm)	Širina (mm)	Številka vrat	Dolžina (mm)	Širina (mm)
1	1579	490	19	1807	698
2	946	490	20	1634	575
3	834	490	21	1579	585
4	718	490	22	834	587,5
5	1903	657	23	876	440
6	1579	657	24	2180	440
7	1417	657	25	1830	440
8	1314	657	26	551	440
9	1158	657	27	601	440
10	996	657	28	1275	440
11	834	657	29	1830	440
12	826	657	30	679	440
13	816	657	31	831	440

14	718	657				
				32	1830	520
15	1902	436		33	1072	500
16	1902	654		34	636	538
17	1902	549		35	561	540
18	1808	623		36	1085	540

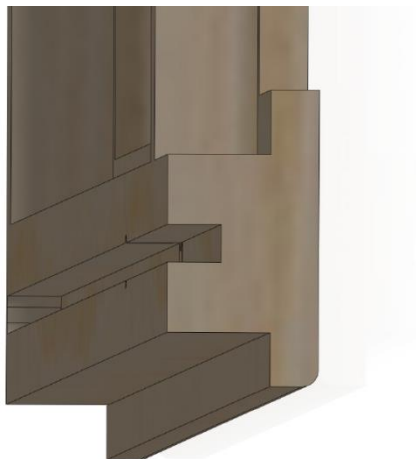
2.6.2 Izdelava obdelovanca

Vrata v izbranem podjetju so navadno sestavljena iz dveh pokončnikov in dveh prečnikov. V nekaterih primerih imajo vrata tri prečnike, tako kot je prikazano na sliki 13. To so predvsem večja vrata, ki se uporabljajo za vitrine omar dnevnih sob, ki imajo navadno zgoraj stekleno polnilo, spodaj pa leseno. Prečniki in pokončniki imajo enotni presek. Njihova debelina je 28 mm, širina pa 55 mm, medtem ko se dolžina razlikuje glede na velikost vrat.



Slika 13: Primer ene izmed možnih variant vrat s tremi prečniki

Prečnike in pokončnike najprej grobo obrežemo, nato jih na štiristranskem skobeljnem stroju štiristransko obdelamo, čemur sledi še štiristransko brušenje. Pokončnikom in prečnikom nato na miznem rezkalnem stroju naredimo brazdi po dolžini, tako da imajo v preseku obliko črke T. Zunanja brazda služi za zapiranje in pokrivanje okvirja vrat, notranja pa za vstavitve polnila. Na zunanji strani nato T-profilom posnamemo še rob radija 5 mm oziroma rob pod kotom 45° , odvisno od naročila. Tako obdelane profilirane obdelovance na krožnem žagalnem stroju skrojimo na ustrezne dolžine. Obdelovance zatem še zmožničimo na mozničnem vrtalnem stroju. Ko zlepimo prečnike in pokončnike, dobimo okvir, katerega na fino pobrusimo po ploskvi na širokotračnem brusilnem stroju. Na koncu na okvirju z visokoturnim nadmiznim rezkarjem izrežemo utor za zaklepni sistem, izvrtino za ključavnico in odmične sponke. Presek takega profila vrat po obdelavi je prikazan na sliki 14.



Slika 14: Presek profila vrat po obdelavi – viden je tudi utor za zaklepni sistem

Tak postopek izdelave vrat terja kar nekaj časa, saj je treba večino dela opraviti ročno, poleg tega pa obdelovanje poteka na več strojih, kar včasih privede tudi do napak v sami izdelavi. Predolg čas in napake, ki včasih nastanejo pri izdelavi izdelka, lahko povzročijo podjetju dodatne in nepotrebne stroške. Ker je danes konkurenca neizprosna, moramo stremeti k temu, da so taki stroški minimalni. Stroške lahko zmanjšamo predvsem s poenostavitvijo samega procesa izdelave, pri tem pa dvignemo kvaliteto izdelka še na višjo raven. Prav zaradi takih stališč smo si v izbranem podjetju zamislili, da bi si pri izdelavi vrat pomagali s CNC-obdelovalnimi stroji, ki so že na voljo v podjetju.

Po novem bi tako obdelovance pravokotnega preseka 28 x 55 mm na krožnem žagalnem stroju skrojili na ustrezne dolžine, jih nato izmozničili in zlepili v okvir. S CNC-obdelovalnim strojem bi opravili vso ostalo obdelavo, rezkanje brazd, utora, izvrtin itd.

Problem se pojavi pri vpenjanju vratnih okvirjev, saj smo omenili, da se dimenzije le-teh spreminjajo. Za obdelavo bi lahko uporabili CNC-stroj s sistemom vpenjalnih kladic. Tu naletimo na drug problem, saj je površina vpenjalnih kladic večjih dimenzij, kot je širina okvirja vrat. V praksi to pomeni, da kladica ne bi zgrabila obdelovanca, saj se pri tem ne bi mogel ustvariti podtlak med kladico in obdelovancem. Za obdelavo bi zato izbrali vakuumsko mizo, nanjo pa bi položili šablono. Šablona bi morala biti pri tem fleksibilna, da bi se lahko prilagajala različnim dimenzijam vrat.

2.6.3 Pristop k reševanju problema

Prvo razmišljanje o rešitvah predhodno predstavljenega problema nastane po pregledu že obstoječih šablon oziroma vpenjal, ki jih v izbranem podjetju uporabljajo na CNC-obdelovalnih strojih. Poleg že obstoječe literature so delavci prvovrsten vir informacij, saj se vsakodnevno srečujejo s problemi samega vpenjanja, poleg tega pa poznajo načine, kako se soočiti z nastalimi težavami in kako jih rešiti.

Ob pregledu obstoječih šablon v izbranem podjetju je bilo ugotovljeno sledeče:

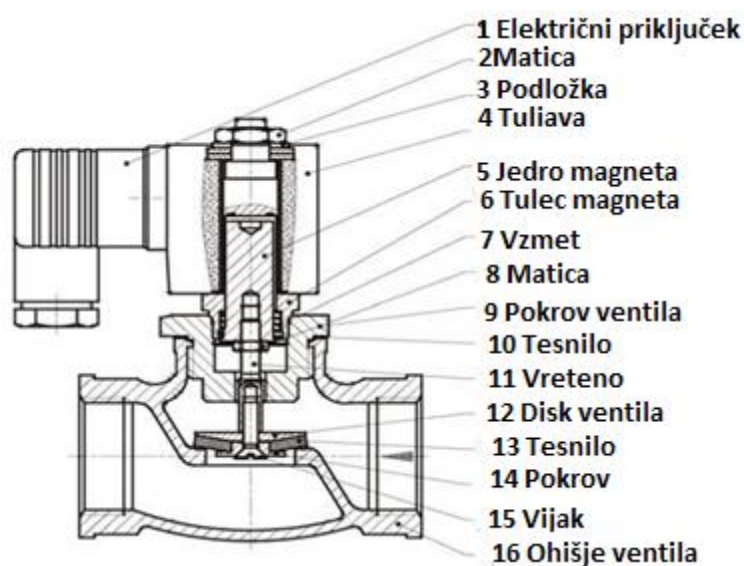
- šablone so lahko v podjetju velik strošek, zato vedno najdemo najbolj enostavno in najcenejšo rešitev, ki jo lahko izvedemo v trenutni situaciji;
- pri izdelavi šablon se poizkušamo izogniti pnevmatskih ali mehanskih prijemal, saj bi nas lahko ta ovirala pri obdelavi, zato se, če je to le mogoče, poslužujemo vakuuma;
- za izdelavo šablon uporabljamo furnirne vezane plošče debeline 1824 mm. Prvi razlog za to je, da lahko furnirne vezane plošče dobimo v podjetju in jih tam tudi obdelamo. V kolikor bi bila šablona narejena iz drugega materiala, na primer iz aluminija, bi to s stališča materiala in same obdelave predstavljalo dodaten strošek, saj bi aluminij težje obdelovali v lesarski delavnici. Drug razlog tiči v tem, da je furnirana vezana plošča dovolj trdna, da prenese vse obremenitve;
- v lesarski industriji lahko za vpenjalne šablone uporabimo tudi vlakneno ploščo, ki je porozna, zato skozi njo vleče vakuum. Upoštevati moramo, da se z debelino vlaknene plošče slabša moč vakuuma;
- pomemben dejavnik, ki ga je potrebno upoštevati pri izdelavi šablone, je tudi ta, da podtlaka na delovni mizi ne moremo spreminjati, ker je konstanten na vsaki odprtini delovne mizi. Na konkretnem stroju znaša 0,9 bara. Manjša razlika v podtlaku nastane, če je tesnilo okrog prisesnega polja poškodovano in podtlak uhaja iz samega prisesnega polja. Če gre za majhno odstopanje, pri obdelavi ne bo težav, pri večjem odstopanju pa nam lahko med obdelavo obdelovanec odleti. Podobna težava se lahko pojavi, če so obdelovanci vegavi ali usločeni;
- vedeti moramo, da je pri vpenjanju ploskovnih elementov na samo mizno ploščo ali šablono enak učinek, če imamo odprti dve izsesni površini ali deset. Obdelovanec bo ravno tako varno vpet, saj sta za stabilno vpetje potrebni vsaj dve točki. Problem nastane pri ozkih obdelovancih, ki nimajo dovolj velike prisesne površine in so najbolj dovzetni za odlet iz vpenjala;

- okvirne konstrukcije imajo dovolj vpenjalne površine in so med obdelavo varno vpete.

Našteto je služilo kot osnova za konstruiranje vpenjalne naprave, sledile so idejne zamisli, kako narediti napravo čim fleksibilnejšo, kar je bila najtežja naloga. Vseeno pa so nastale rešitve, ki so podprte s strokovnim znanjem.

2.7 ELEKTROMAGNETNI VENTIL IN NJEGOVO DELOVANJE

. Elektromagnetni ventil služi za pretvorbo električnih krmilnih signalov v vakuumsko delovanje. Ventil je sestavljen iz vakuumskega ventila in elektromagneta, ki služi za aktiviranje – preklop ventila. Zgradbo takega ventila prikazuje slika 17 (Faladore, 1986).



Slika 15: Zgradba elektromagnetnega ventila (Faladore, 1986)

Ventil prepušča vakuum le v eno smer, in sicer iz prostora z nižjim tlakom v prostor z višjim tlakom, dokler se tlaka ne izenačita. Ventil je zaprt in ne prepušča vakuuma, če ni priključen na vir napetosti. Ko ga priključimo na napetost, preko tuljave steče tok, zaradi česar se dvigne bat tulca, ki sprostí pilotsko odprtino, ta pa je povezana z izhodom. Ob prekinitvi toka preko tuljave se ventil ponovno zapre (Faladore, 1986).

Vsak elektromagnetni ventil ima električni priključek, preko katerega prehajajo električni impulzi, ki ventil regulirajo (Faladore, 1986).

Ena izmed možnih variant, kako bi poenostavili izdelavo vpenjalne kladice z elektromagnetnim vakuumskim ventilom, je ta, da si pri odpiranju in zapiranju dovoda podtlaka do vpenjalne površine pomagamo z uporabo vzmeti. Tako je nastala tudi druga možna različica vpenjalne kladice (4.2).

2.8 STROJNI VID

Besedna zveza strojni oziroma računalniški vid (ang. *Machinevision*, *Computervision*) je postopek uporabe različnih tehnologij in metod, da s pomočjo zajete slike izvajamo avtomatsko kontrolo, reguliramo proizvodni proces ali pa vodimo robota v industrijskih aplikacijah. Obseg aplikacij strojnega vida je izredno širok, zato je težko določiti njegovo definicijo. V splošnem velja, da je to obdelava slike, iz katere pridobimo uporabniku koristne informacije (Cimperman, Žunter, Weichardt, 2012).

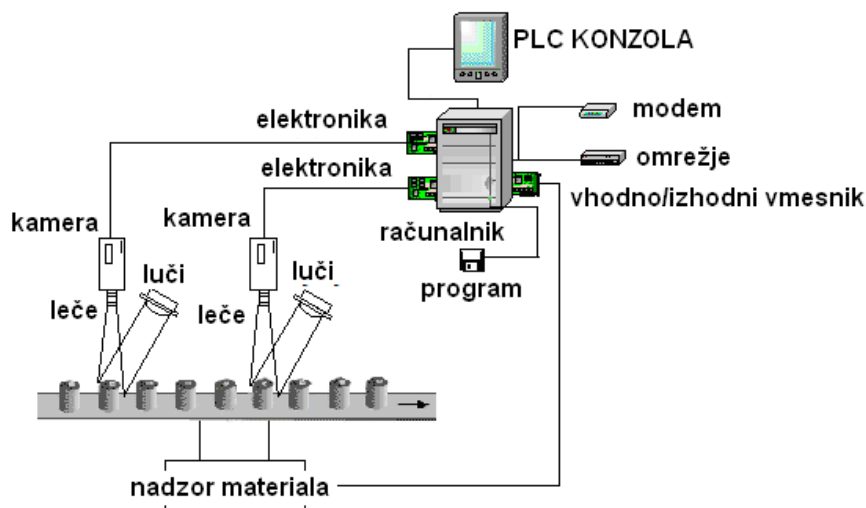
Možnosti uporabe strojnega vida (Cimperman, Žunter, Weichardt, 2012):

- lociranje (določitev položaja s koordinatami);
- razpoznavanje, identifikacija, razvrščanje in ocenjevanje;
- merjenje in preizkušanje dimenzij in lege;
- določanje premikanja, vodenje in nadzor (zaznavanje gibajočih se predmetov, njihove lege, hitrosti in smeri premikanja);
- pregledovanje (ugotavljanje, ali so opazovani objekti znotraj toleranc in v skladu s standardi).

Delovanje stojnega vida je sestavljeno iz štirih faz oziroma korakov (Cimperman, Žunter, Weichardt, 2012):

- v prvem koraku je treba določiti in primerno opisati zahtevane parametre, ki jih bo sistem opravljal;
- v drugem koraku je treba določiti sistem za zajemanje slike, ker brez primerne kamere, osvetlitve, optike in postavitve objekta ni možno zajeti slike z zahtevano kvaliteto; slika je namreč osnova za tekoče in pravilno delovanje sistema;
- v tretjem koraku je treba na jasnih in pravilno zajetih slikah objekta poiskati značilnosti, ki omogočajo prepoznavo oziroma odločitev, ki jo zahteva sistem;
- v četrtem koraku je treba izbrati in optimizirati pravilne algoritme, ki morajo skupaj s strojno opremo izpolnjevati zastavljene zahteve.

Pravilna izbira kamere je eden glavnih dejavnikov uspešnega strojnega vida, poleg tega pa so pomembni še drugi dejavniki, kot npr.: oddaljenost objekta od kamere, vrsta slike, zadostna resolucija, gibanje ali mirovanje objekta, način osvetlitve in zajema slike itd.



Slika 16: Primer uporabe strojnega vida (Cimperman, Žunter, Weichardt, 2012)

V primeru šablone, obravnavane v diplomskem delu, bi strojni vid uporabili za krmiljenje elektromagnetnih vakuumskih ventilov. Namesto da bi stikala in ventile krmilili ročno in si pri tem pomagali s tabelo kombinacij, bi to opravil računalnik.

Aplikacija bi bila zelo enostavna; s kamero bi posneli pozicije na šabloni, kjer so nameščena vrata, posnete podatke pa bi s pomočjo algoritmov obdelal računalnik. Ta bi pošiljal ukaze, katere ventile je treba odpreti ali zapreti glede na to, katera vrata bi imeli na šabloni.

Aplikacija s strojnim vidom bi bila zagotovo dobrodošla, saj delavcu ne bi bilo treba razmišljati o možnih kombinacijah vpenjanja. Tako bi bila možnost za napake manjša, saj bi aplikacija delovala po že prej načrtanih in preverjenih algoritmih in brez prisotnosti človeka. Kasneje bi lahko samo aplikacijo strojnega vida uporabili tudi pri drugih operacijah.

Pri vseh teh prednostih smo naleteli na nekaj pomislekov. Prvo vprašanje, ki se je porodilo, je, ali je nakup take opreme smiselno glede na finančni vložek, ki bi ga porabili za nakup same opreme. Poleg nakupa opreme se je treba zavedati, da bi morali kar precej časa vložiti tudi v razvoj same aplikacije, saj za inženirje to ne bi bila le nova tematika, ampak tudi velik izziv. Ugotovili smo, da bi taka aplikacija zavzela kar nekaj prostora, zato bi bilo potrebno premišljeno postaviti naprave, da ne bi zmanjšali delovne površine. Na koncu smo ugotovili, da bi morali naprave vsaj grobo zaščititi pred prahom. Velika verjetnost je, da bi se veliko prahu nabiralo tako na lečah kamere kot na lučeh za osvetlitev, kar ni dobro. Lahko bi se namreč zgodilo, da bi kamera na tak način zaznala napačno pozicijo, zaradi česar bi prišlo do napačnega odpiranja ventilov. Leče in luči bi bilo treba redno čistiti.

3 MATERIALI IN METODE

Za izvedbo možnih rešitev vpenjalnega sistema potrebujemo preračun ustreznih parametrov, in sicer izračun vpenjalne in rezalne sile ter potrebnega podtlaka.

3.1 PRERAČUNI

3.1.1 Izračun vpenjalne sile

O varno vpetih obdelovancih govorimo takrat, ko je vpenjalna ploskev površine vsaj 300 cm². Pri manjših obdelovancih od omenjene površine nastane težava v tem, da ti ne dosegajo dovolj velike vpenjalne sile. Če je površina velika, lahko odpremo samo dve vakuumski šobi po diagonali obdelovanca in naš obdelovanec bo trdno vpet. Pri manjši površini lahko odpremo vse vakuumске šobe pod obdelovancem, pa te ne bodo zagotovile dovolj trdnega vpetja. Največkrat se nam v takih pogojih obdelovanec prekucne ali pa odleti iz vpenjalnega polja ob stiku z obdelovalnim orodjem. Pri manjših obdelovancih, kjer obstaja možnost, da jih lahko naredimo iz enega kosa več na enkrat, se poslužujemo sistema vpenjanja večje obdelovalne plošče, iz katere nato naredimo manjše dele. Pri obdelavi pazimo, da obdelovancev ne odstranimo iz osnovne, saj nam osnova služi kot prisesno polje. Osnovo odstranimo naknadno, po navadi kar na kontaktnem brusilnem stroju (Zidar, 2012).

Če hočemo pravilno konstruirati šablono, moramo poznati vsaj nekaj osnovnih podatkov, kot so rezalna in vpenjalna sila, podtlak, minimalna prisesna površin itd. Te podatke dobimo s pomočjo izračunov. Rezalna sila je sila, ki z zunanje strani deluje na obdelovanec in je nasprotno enaka sili trenja, ta pa na nek način določa pogoj za minimalno vpenjalno silo. Sila trenja je odvisna od minimalne prisesne površine (A_{min}), podtlaka (Δp) in koeficienta trenja (μ) med obdelovancem in napravo. Ko naredimo sledeči izračun in pri tem upoštevamo minimalni varnostni koeficient trenja ($k_{var\ min}$), dobimo minimalno silo trenja ($F_{tr\ min}$), pri kateri je obdelovanec še vedno varno vpet. Ker za varno vpetje ni dovolj, da poznamo samo minimalno vpenjalno silo, moramo izračunati še minimalen podtlak (Δp_{min}). Pri izračunu tega moramo upoštevati minimalen koeficient trenja (μ_{min}), saj le na ta način dobimo najmanjši podtlak (Δp_{min}), ki je še potreben za varno vpetje obdelovanca. S pomočjo formule za podtlak in ob upoštevanju najmanjšega podtlaka ter maksimalnega koeficienta trenja (μ_{max}) lahko izračunamo tudi minimalno prisesno površino (A_{min}) obdelovanca. S pomočjo minimalne prisesne površine pa lahko izračunamo in definiramo širino vpenjalnega polja na sami kladici.

3.1.2 Izračun rezalne sile

Rezalno silo (F_{rez}) izračunamo s pomočjo splošno znanih enačb. Za izračun potrebujemo nekaj vhodnih podatkov, ki jih razberemo iz rezkalnega stroja v izbranem podjetju. Nazivna moč motorja (P_n) je 5 kW, njegova nazivna vrtilna hitrost (n_n) pa 12 000 vrt/min. Za obdelavo uporabljamo rezkar premera (d) 40 mm, ki ima 2 rezili (z), pri čemer je celotno rezilo dolgo (l_{rez}) 40 mm. Brazda je globoka (b) 20 mm, torej pri obdelavi uporabimo samo polovico rezilne dolžine našega orodja, njena širina (a) pa znaša 12 mm, torej bo tak tudi odvzem našega orodja.

Tabela 2: Nazivni podatki rezkalnega stroja

Moč	Nazivna vrtilna hitrost	Premer rezkarja	Globina brazde	Širina brazde	Število rezil
$P_n = 5 \text{ kW}$	$n_n = 12000 \text{ vrt/min}$	$d = 40 \text{ mm}$	$b = 20 \text{ mm}$	$a = 12 \text{ mm}$	$z = 2$

Če hočemo izračunati vpenjalno silo (F_{vp}), moramo iz danih podatkov najprej izračunati rezalno silo na vrtljaj orodja. Nazivna moč motorja (P_n) je enaka produktu momenta (M) in kotni hitrosti (ω), kar zapišemo (Bučar, 2012):

$$P_n = F \cdot \omega \quad (1)$$

Moment je produkt med silo in ročico. V našem primeru gre za produkt med povprečno rezalno silo na vrtljaj orodja ($F_{2\pi}$) in polmerom rezkarja ($\frac{d}{2}$). Kotna hitrost (ω) je kot, za katerega se telo zavrti v eni sekundi. Ker se rezkar vrti s 12000 vrt/min, moramo nazivno vrtilno (n_n) hitrost pomnožiti z $\frac{2\pi}{60}$, da dobimo kotno hitrost. Vse to vstavimo v enačbo (1) in dobimo naslednjo (Bučar, 2012):

$$P_n = F_{2\pi} \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{2\pi \cdot n_n}{60} \quad (2)$$

Iz tako dobljene enačbe 2 izpostavimo povprečno rezalno silo na vrtljaj orodja ($F_{2\pi}$), ki ju potrebujemo za izračun rezalne sile (Bučar, 2012):

$$F_{2\pi} = \frac{60 \cdot P_n}{d \cdot \pi \cdot n_n} \quad (3)$$

Ko v enačbo 3 vstavimo znane podatke, dobimo podatek, da je povprečna rezalna sila na vrtljaj orodja **199 N**.

Iz teorije strojev vemo, da je povprečno rezalna sila na vrtljaj odvisna od rezalne sile (F_{rez}), števila rezil (z) in izstopnega kota (φ_i) (Bučar, 2012):

$$F_{2\pi} = F_{rez} \cdot \frac{z \cdot \varphi_i}{360} \quad (4)$$

Če hočemo izračunati rezalno silo (F_{rez}), moramo to izpostaviti iz enačbe 4, tako da dobimo (Bučar, 2012):

$$F_{rez} = \frac{360 \cdot F_{2\pi}}{z \cdot \varphi_i} \quad (5)$$

Za izračun potrebujemo še velikost izstopnega kota (φ_i), ki ga dobimo iz enačbe (Bučar, 2012):

$$\varphi_i = \arccos\left(\frac{\frac{d}{2} - a}{\frac{d}{2}}\right) \quad (6)$$

Upoštevajoč navedene podatke izvemo, da naš izstopni kot znaša **36,9°**, naša rezalna sila pa **970 N**.

3.1.3 Preračun potrebnega podtlaka

Sedaj, ko smo dobili rezalno silo, lahko izračunamo potreben podtlak za vpenjanje. Izhajamo iz tega, da je rezalna sila (F_{rez}), ki na obdelovanec deluje z zunanje strani, nasprotno enaka sili trenja (F_{tr}), ta pa je odvisna od prisrse površine (A), podtlaka (Δp) in koeficienta trenja (μ) med obdelovancem in napravo ($0,3 < \mu < 0,6$). Dobimo enačbo (Bučar, 2012):

$$F_{tr} = \mu \cdot \Delta p \cdot A \quad (7)$$

Pri tem moramo upoštevati še varnostne zahteve, da je sila rezanja enaka razmerju med silo trenja in varnostnim koeficientom k_{var} , pri čemer je $3 < k_{var} < 5$.

$$F_{rez} = \frac{F_{tr}}{k_{var}} \quad (8)$$

Iz enačbe (8) izpeljemo formulo za potrebno silo trenja (Bučar, 2012):

$$F_{tr} = F_{rez} \cdot k_{var} \quad (9)$$

V enačbo (9) vstavimo prej dobljeno rezalno silo in upoštevamo najmanjši varnostni koeficient $k_{var\ min} = 3$

$$F_{tr} = 539\ N \cdot 3 = 1617\ N$$

ter tako dobimo, da je sila trenje **1617 N**.

Iz enačbe (7) izpostavimo podtlak in dobimo enačbo za podtlak Δp (Bučar, 2012):

$$\Delta p = \frac{F_{tr}}{A \cdot \mu} \quad (10)$$

Za preračun potrebnega podtlaka moramo izračunati koliko znaša povprečna ploščina vrat. Izračuna se lotimo tako, da seštejemo vse dolžine vrat in jih nato delimo z številom vrat, po istem postopku naredimo tudi za širino vrat. Tako dobimo, da je povprečna dolžina vrat oz. pokončnika 1135 mm in povprečna širina oz. prečnika pa 551 mm, pri čemer je širina obojega 55 mm.

Tekočo dolžino okvirja vrat, ki jo bomo uporabili pri izračunu ploščine, izračunamo tako, da seštejemo povprečno dolžino in povprečno širino ter pomnožimo z 2, saj imamo po dva prečnika in 2 pokončnika v okvirju. Torej tekoča dolžina okvirja vrat je:

$$(1135\ mm + 551\ mm) \times 2 = 3372\ mm$$

Površino prisesne površine izračunamo kot produkt med tekočo dolžino okvirja (a_t) vrat in povprečno širino vrat ($\bar{b}$) ter dobimo:

$$A = a_t \cdot \bar{b} = 3372\ mm \cdot 55\ mm = 0,185\ m^2 \quad (11)$$

Ob upoštevanju, da znaša povprečna prisesna površina vrat 0,185 m² in da vzamemo najmanjši koeficient trenja (μ_{min}), to je 0,3 podatke vstavimo v enačbo (10)

$$\Delta p = \frac{1617\ N}{0,185\ m^2 \cdot 0,3} = 0,29\ bar$$

dobimo, da podtlak **0,29 bara**.

Sedaj, ko smo dobili podtlak, lahko izračunamo koliko znaša povprečna prisesna površina ($\bar{A}$) pri maksimalnem koeficientu trenja ($\mu_{max} = 0,6$) in nespremenjenem podtlaku. Povprečno prisesno površino ($\bar{A}$) izrazimo iz enačbe (10) in dobimo (Bučar, 2012):

$$\bar{A} = \frac{F_{tr}}{\Delta p \cdot \mu} \quad (12)$$

V enačbo (12) vstavimo vse znane podatke

$$\bar{A} = \frac{1617 \text{ N}}{0,29 \text{ bar} \cdot 0,6} = 0,092 \text{ m}^2$$

dobimo, da znaša povprečna prisesna površina ($\bar{A}$) $0,08 \text{ m}^2$, kar je tudi naša minimalna površina vpetja.

S pomočjo vpenjalne površine lahko izračunamo širino vpenjalnega pasa na kladici.

Izračunamo jo tako, da predhodno izračunano ploščino vpenjanja, ki znaša $0,08 \text{ m}^2$ delimo s tekočo dolžino vrat, ki znaša $3,372 \text{ mm}$. Dobimo, da je naša povprečna širina vpenjanja **27 mm**.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Ob razmišljanju o problematiki vpenjanja okvirjev vrat je prišlo do več možnih rešitev, ki so predstavljene v nadaljevanju. Različice niso razvite do potankosti, predstavljene so le kot možne rešitve problematike, ki se jo loteva diplomsko delo. Zagotovo bi lahko katera od predlaganih rešitev zaživela tudi v praksi, vendar bi morali do končne verzije zadevo še izboljšati in dodelati ter seveda preizkusiti. Šele s pomočjo preizkusa in praktične uporabe bi lahko ocenili, katera izmed možnih rešitev je zastavljena najboljše.

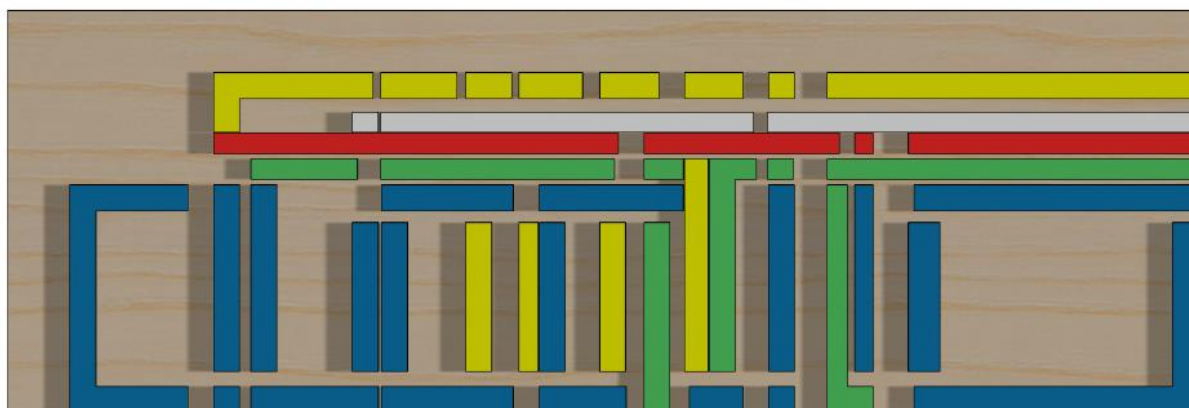
4.1 VPENJALNA NAPRAVA Z ELEKTROMAGNETNIM VAKUUMSKIM VENTILOM (MOŽNA REŠITEV 1)

Prva izmed možnih rešitev je vpenjalna naprava z elektromagnetnim ventilom za vakuum (o elektromagnetnem ventilu smo pisali v poglavju 2.7). Šablono bi sestavili iz več pravokotnih kladic, ki bi jih pritrdili na enotno šablono oziroma na neko konstrukcijsko ploščo. To ploščo bi potem namestili na delovno mizo CNC-obdelovalnega stoja. Predhodno pa bi bilo treba standardne širine vrat, ki so navedene v tabeli 1, razvrstiti v razrede, in sicer tako, da en razred pokriva področje dveh ali več sosednih širin.

Za razvrstitev širin vrat v razrede smo morali določiti velikosti enega razreda. Iz predhodnih izračunov vemo, da je širina vpenjalnega polja 27 mm, medtem ko so obdelovanci široki 55 mm. To pomeni, da lahko vpenjamo vrata, ki se po širini med seboj razlikujejo za 28 mm. Toliko znaša tudi naš vpenjalni razred. Na isto kladico lahko torej pripnemo vrata, široka od 490 mm do 520 mm, saj je razpon le 2 mm večji od naše vpenjalne širine. Razvrstitev širin vrat v pet razredov je podana v tabeli 3, kjer so v prvem stolpcu podni razredi, v drugem pa širine, ki jih razredi pokrivajo. Šele po tem, ko smo določili razrede, smo lahko začeli s projektiranjem postavitev kladic na delovno mizo obdelovalnega stroja, tako kot je prikazano na sliki 15.

Tabela 3: Razvrstitev širin vrat v razrede

Razred	Širine
Modra cona	436 mm in 440 mm
Zelena cona	490 mm, 500 mm in 520 mm
Rdeča cona	538 mm, 540 mm in 549 mm
Bela cona	575 mm, 585 mm in 587,5 mm
Rumena cona	623 mm, 654 mm in 657 mm

**Slika 17:** Prikaz postavitve kladic vpenjalne naprave

Postavitev kladic na šablono smo dobili tako, da smo pri izrisovanju poiskali skupne točke vrat. V tlorisnem prerezu smo vrata shematično postavili ena na druga in na ta način ugotavljali, kam je potrebno postaviti kladico in kje bo zadostovala že obstoječa. Kot izhodiščno bazo za vsa vrata smo si izbrali modro kladico v obliki črke L, ki se nahaja v skrajno desnem kotu na sliki 15.

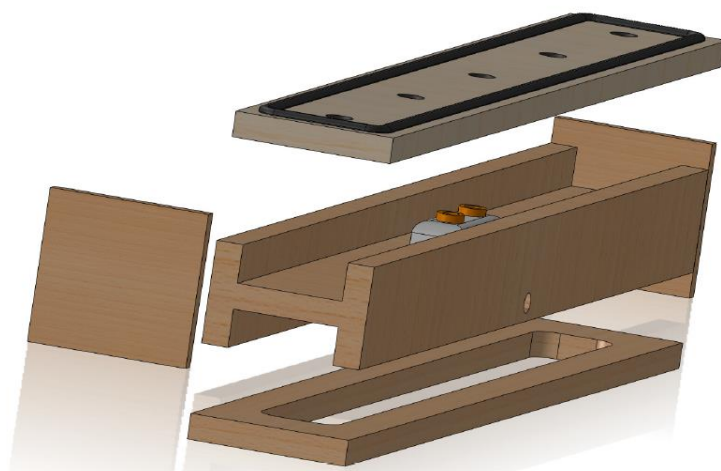
Iz pridobljenih izkušenj vemo, da je zelo pomembno, da obdelovanec podpremo na tistih mestih, kjer prihaja do večjih obremenitev in bi tresljaji zatrgali obdelovanec. Priporočljivo je, da je obdelovanec dobro podprt v vogalih, hkrati pa ni nujno, da ima obdelovanec podporo po vsej dolžini.

4.1.1 Kladica

Ko smo izdelali shemo postavitve kladic, smo poskušali razviti tudi kladico. Kot osnovo kladice smo si izbrali tako imenovani H-profil, na sredini katerega bi zvrtili luknjo za elektromagnetni vakuumski ventil. Na vrh H-profila bi postavili pokrov z izvrtinami za podtlak ter gumico, ki bi omejevala prisesno površino. Spodaj bi bilo dno, ki bi imelo

bodisi izvrtine bodisi izrezkan prehod, kjer bi skozi nosilno ploščo v kladico prihajal podtlak. Primer take kladice lahko vidimo na sliki 16.

Kladica bi delovala tako, da bi bil v spodnjem delu ves čas podtlak, ki bi v kladico prehajal skozi odprtino neposredno z delovne mize. Če hočemo, da podtlak v zgornji del kladice prehaja kontrolirano, moramo prehod podtlaka regulirati. Tlak najlažje reguliramo tako, da med spodnjim in gornjim delom kladice vstavimo elektromagnetni ventil za vakuum, ki odpira in zapira prehod podtlaka v gornji del kladice.



Slika 18: Prikaz kladice z elektromagnetnim ventilom

V primeru obravnavane šablone bi potrebovali toliko elektromagnetnih ventilov, kot je kladic, zato bi bilo potrebno vse ventile in posledično vse kladice povezati v enotno krmilno ploščo, ki bi imela stikala. S pomočjo stikal bi lahko krmilili oziroma odpirali in zapirali ventile, ki bi jih potrebovali. Problem nastane, ker imajo vsaka vrata svojo kombinacijo odprtih in zaprtih ventilov. To pomeni, da moramo na krmilni plošči pravilno vklapljati določeno kombinacijo stikal. Pri velikem številu kombinacij lahko zlahka pride do pomote pri vklapljanju stikal in s tem do krmiljenja ventilov, zato je potrebno stikala na kontrolni plošči smiselno razporediti. Poleg tega je treba obvezno narediti tabele kombinacij vklapljanja stikal, ki bi jih uporabili za določena vrata. Tabele bi delavcu nedvomno služile v oporo, vendar iskanje kombinacij po tabelah vzame preveč časa in vnese tudi nekaj zmede. V kolikor bi se posluževali tabel, bi morale biti te prijazne uporabniku, da bi lahko ta na najhitrejši in najbolj enostaven način prišel do želenih podatkov.

Ker se nam je zdelo iskanje po tabelah zapleteno, smo začeli razmišljati tudi o tem, kako proces avtomatizirati do te mere, da delavcu na stroju ne bi bilo treba iskati različnih kombinacij za določena vrata in posledično ne bi prihajalo do napak.

Ena izmed možnih variant bi bila zagotovo strojni vid, predstavljen pa je bil v poglavju 2.8. Druga varianta je, da bi si pri odpiranju in zapiranju ventilov pomagali s pomočjo računalnika. Ideja je bila, da bi do ventilov dostopali s pomočjo prilagojenih vezij, krmilnikov ali relejskih kartic ter programa, ki ga bi bilo treba sprogramirati in dati na računalnik. Zadeva bi delovala tako, da bi delavec v program vnesel samo širino vrat, program in elektronika pa bi poskrbela, da bi se odprli pravi ventili. Taka rešitev bi bila skoraj optimalna, ampak bi terjala dodaten finančni vložek. Poleg tega bi za izdelavo takega sistema verjetno potrebovali tudi zunanjo pomoč.

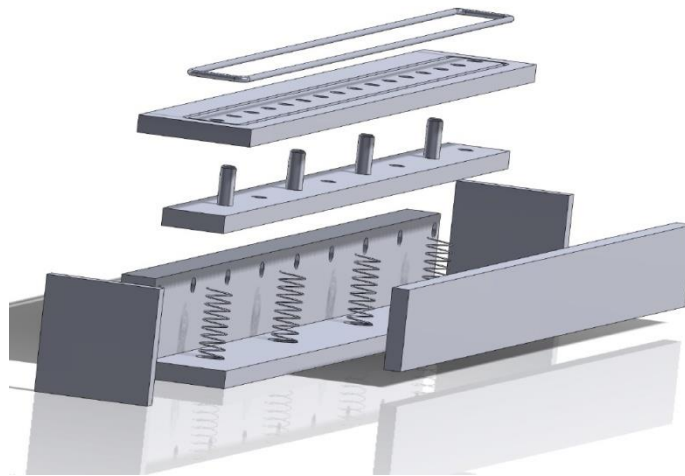
4.1.2 Slabosti šablone z elektromagnetnim vakuumskim ventilom

Najprej je potrebno omeniti, da bi tak sistem zadovoljeval zgolj potrebe po vpenjanju standardnih mer vrat oziroma še kakšnih nestandardnih, ki pa ne bi smela biti več kot 28 mm širša ali daljša od naših vpenjalnih polj. Torej, ta sistem ne bi zagotavljal fleksibilnosti, ki je naša največja zahteva. Kot smo že omenili, potrebujemo pri tem sistemu enako število ventilov, kot imamo kladic, kar prinese dodatne stroške, če k temu prištejemo še stikala in potreben material, pa ugotovimo, da je cena nezanemarljiva. Poleg tega je slabost tudi to, da moramo biti zelo pazljivi pri nastavljanju kombinacije stikal za določene dimenzije vrat.

Če bi želeli sistem še dodatno avtomatizirati, bi morali v podjetju nadgraditi oziroma nakupiti tako računalniški kot krmilni sistem, saj obstoječi ne bi bil kos funkcijam, ki jih želimo z njim krmiliti. Razmisliti bi bilo potrebno tudi o materialu za izdelavo kladic. V kolikor bi za izdelavo šablone uporabili profile iz aluminija ali kakšne druge kovine, bi se naši stroški povečali, saj je material dražji, poleg tega bi moral obdelavo opraviti zunanji izvajalec. Najbolje bi bilo, da bi za šablono uporabili furnirsko vezano ploščo, saj je ta material sorazmerno poceni in dovolj trden, poleg tega pa bi lahko šablono izdelali kar v izbranem podjetju. Kot lahko razberemo iz povedanega, bi za relativno preprost sistem potrebovali kar nekaj denarja, zato bi bilo treba, preden bi se odločili za tak sistem, preučiti, kaj bi se podjetju na dolgi rok ekonomsko obrestovalo glede na obseg izdelkov, ki jih vrata predstavljajo v celotnem obsegu proizvodnje.

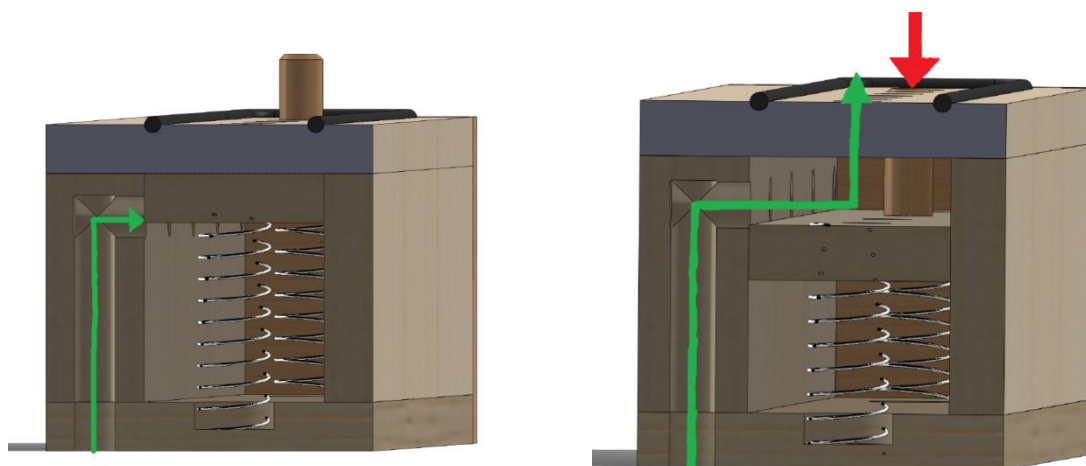
4.2 VPENJALNA Kladica Z VZMETJO (MOŽNA REŠITEV 2)

Vpenjalna naprava z vzmetjo je konstruirana na podoben način kot vpenjalna naprava z elektronskimi vakuumskimi ventili. Gre za kladice različnih dolžin, ki bi bile nameščene na enotni šabloni in postavljene tako, kot pri šabloni z elektronskim vakuumskim ventilom. Kladice, postavljene na enotni konstrukcijski plošči, bi bile škatlaste oblike in odznotraj votle. Za njihovo izdelavo bi uporabili vezano ploščo debeline 9 mm, hrbtna stranica pa bi bila iz vezane plošče debeline 18 mm. Primer take kladice je na prikazan na sliki 18.



Slika 19: Primer vpenjalne šablone z vzmetjo

Kladica, prikazana na sliki 18, ima v eni stranici izvrtine ($\varnothing$) 8 mm. Skozi te luknje bi potekal pretok podtlaka z delovne mize. V sami kladici bi bile vzmeti, na katerih bi bilo zapiralo, ki bi se odprlo samo ob pritisku na vodila zapirala. Kot vodila zapirala bi uporabili kar moznike, ki so najcenejši. Znotraj kladice bi bil ves čas tak podtlak, kot ga imamo na delovni mizi. Ko bi na kladice šablone položili obdelovanec, bi potisnili vodila zapirala v notranjost in tako odprli pot podtlaka skozi pokrov, kjer bi prisesal obdelovanec na šablono.



Sliki 20, 21: Prikaz delovanja kladice z vzmetjo; zaprta kladica (levo) in aktiviranja podtlaka v kladici (desno)

Za izdelavo kladice bi potrebovali vzmet, ki bi zadostila našim potrebam. Za izbiro vzmeti je treba najprej preračunati potrebne sile, ki deluje na eno vzmet.

Za začetek izračunamo volumen naših povprečnih vrat po enačbi 13, v kateri l predstavlja dolžino, b širino in c debelino (Puhar, 1994):

$$V = l \cdot b \cdot c \quad (13)$$

V našem primeru znaša volumen 0,050 m³.

Po preračunu volumna izračunamo še težo povprečnih vrat. Ker so vrata največkrat izdelana iz lesa oreha, češnje ali hrasta, bomo za preračun uporabili specifično gostoto (ρ) oreha, ki znaša 650 kg/m³.

Kot vemo, je gostota enaka produktu mase in prostornine (Puhar, 1994):

$$\rho = m \cdot V \quad (14)$$

Iz enačbe (14) izrazimo maso:

$$m = \frac{\rho}{v} \quad (15)$$

Izračunamo, da je masa povprečnih vrat v našem primeru 32,5 kg. Dobljen rezultat pomnožimo z gravitacijskim pospeškom (g), da dobimo silo:

$$F = m \times g \quad (16)$$

Ko vstavimo podatke v enačbo (16), dobimo, da sila naših vrat znaša **318,8 N**.

Glede na to, da bi vsaka vzmet v naših kladicah pokrivala polje dolžine 200 mm, predpostavimo silo na tej dolžini, tako da našo prej dobljeno silo (F) delimo z dolžino povprečnih vrat in pomnožimo z dolžino našega polja 200 mm dolžine. Iz izračuna sledi, da bi morala vsaka vzmet nositi breme 30 N.

Primerno vzmet bi lahko poiskali v katalogu enega izmed proizvajalcev vzmeti.

Kladica te šablone je praktično enaka kot šablona s pnevmatskim cilindrom, le da je tu predstavljeno mehansko odpiranje in zapiranje dotoka podtlaka do obdelovanca. Njena izdelava bi bila poceni in bi jo lahko izvedli kar v podjetju. Največja slabost kladice je omejenost samo na vpenjanje standardnih vrat.

4.3 VPENJALNA NAPRAVA S PERESOM (MOŽNA REŠITEV 3)

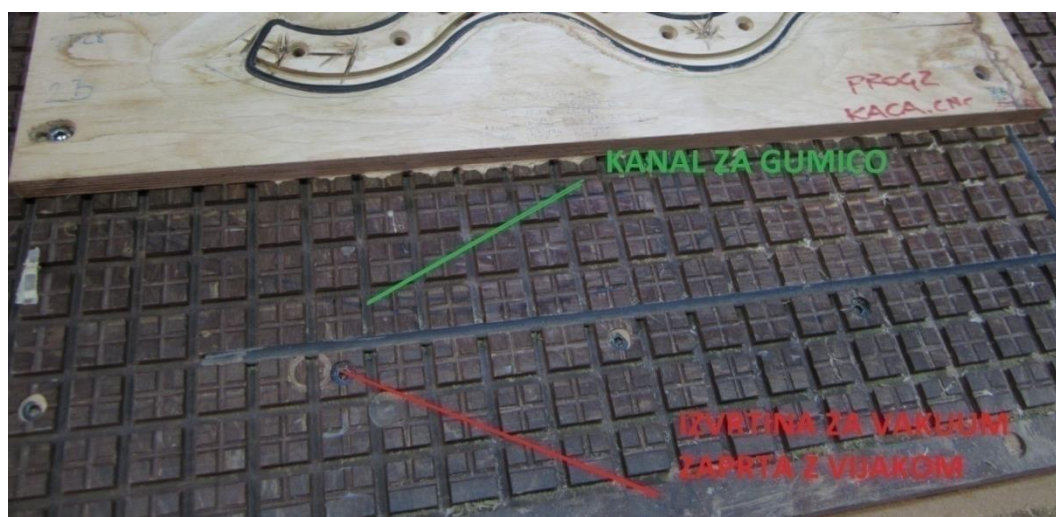
Ker se v proizvodnem procesu v izbranem podjetju v čedalje večji meri pojavljajo nestandardne dimenzije vrat, bi za našo vpenjalno napravo potrebovali premični mehanizem. Možna rešitev bi bila pomična vpenjalna naprava, ki bi omogočila premik v vseh smereh in s tem oblikovanje poljubnega prisesnega polja za naše obdelovance. Vpenjalo bi bilo enostavne konstrukcije in bi ga lahko izdelali kar v izbranem podjetju iz materialov, ki so na voljo.

Na sliki 22 je prikazana tako imenovana vpenjalna naprava s peresom. Naprava bi bila sestavljena iz spodnje nosilne plošče in zgornje manjše kladice, ki bi bila široka toliko kot naši obdelovanci. Kladico in ploščo bi zlepili skupaj. Za izdelavo te šablone bi lahko uporabili furnirsko vezano ploščo. Skozi vpenjalno napravo bi zvrtili luknje, skozi katere bi na površino prihajal podtlak. Na vrhu kladice bi izrezkali utor za gumico, ki bi omejevala našo vpenjalno površino. Zaradi boljšega delovanja podtlaka bi po sredini izrezkali še utor, ki bi povečal samo površino direktnega vakuuma. Šablona bi imela na spodnji stani pero, ki bi služilo kot vodilo same naprave. To pero bi vstavili v kanala, ki v delovni mizi služita za vstavitev gumice, ki nam omeji poljubno prisesno polje, s tem pa omogočili premikanje šablone. Šablona bi imela na vsaki strani ovalno luknjo, v kateri bi bil vijak, ki bi jo držal v začetni poziciji na delovni mizi in se med vklapljanjem in izklapljanjem vakuuma na delovni mizi ne bi mogla premakniti.



Slika 22: Primer vpenjalne naprave s peresom

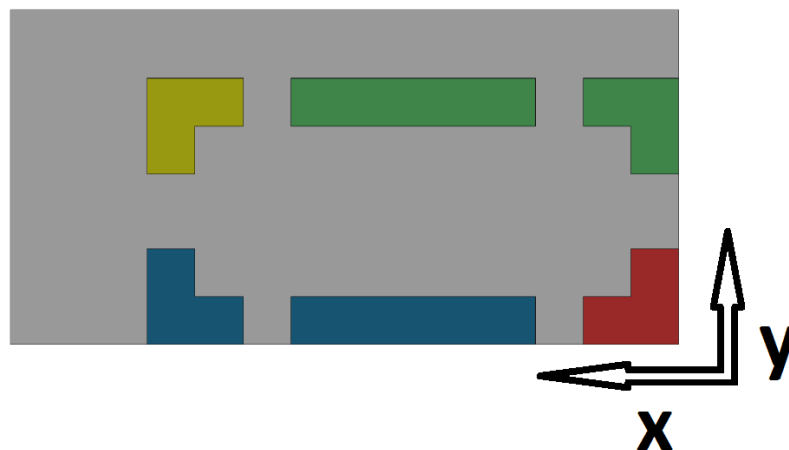
Na sliki 23 je prikazana delovna miza CNC-stroja, na kateri bi bila naša vpenjalna naprava. Z zeleno barvo je označen eden izmed utorov, kjer vstavimo gumico in si tako omejimo poljubno prisesno polje. Utori na delovni mizi so kot mreža in potekajo po njeni celotni dolžini in širini. Sami utori imajo presek 6 x 6 mm. Mreža utorov bi vpenjalni napravi služila kot vodilo in omogočala premikanje same naprave v x in y smeri. Na sliki 23 je z rdečo barvo označena izvrtina za vakuum v delovni mizi, ki omogoča prehod podtlaka skozi delovno mizo. Delovna miza je narejena iz vezane plošče, saj se v primeru, da delovno orodje zaide v samo delovno mizo, ob stiku z njo ne poškoduje. Izvrtine za vakuum imajo premer 8 mm, kot njihovo zapiralo pa služi vijak z imbus glavo, ki je utopljen v delovno ploščo. Izvrtine za vakuum so na rasterju v x in y smeri 150 mm. Ko z gumico oblikujemo poljubno prisesno površino, odvijemo vijake, ki se nahajajo na površini, omejeni z gumico, in tako omogočimo delovanje podtlaka tej površini, vendar pod pogojem, da so vse druge izvrtine za vakuum na delovni mizi zaprte.



Slika 23: Prikaz vpenjalne mize CNC-stroja

Na sliki 24 je prikazana postavitev kladic šablone s peresom. Kladica rdeče barve bi bila kot izhodišče za vsaka vrata vedno na istem mestu. Kladice modre barve bi se premikale v x smeri in tako definirale dolžino vrat. Kladice zelene barve bi se premikale v y smeri, tako bi se prilagajali širini vrat. Kladica rumene barve bi se morala premikati v x in y smeri. Tu bi bilo smiselno namesto peresa kot vodilo uporabiti moznike premera 6 mm. Ti bi bili med seboj odmaknjeni na rasterju mreže utorov, ki so na mizi.

Kladice vpenjalne naprave bi bile široke 170 mm, tako da bi prekrivale en medsebojni raster dveh lukenj na delovni mizi. S tem bi bilo omogočeno, da se lahko ena kladica premakne za 150 mm v določeni smeri, brez da bi bilo potrebno ponovno nastaviti novo prisesno polje. Premična kladica bi tako omogočila vpenjanje standardnih in nestandardnih mer vrat, hkrati pa bi omogočila obdelavo vrat z obeh strani. Slabost te kladice pa je, da je njeno delovanje mehansko, kar bi upočasnjevalo naš delovni proces pri nastavitvah strojev.



Slika 24: Prikaz postavitve šablone s peresom

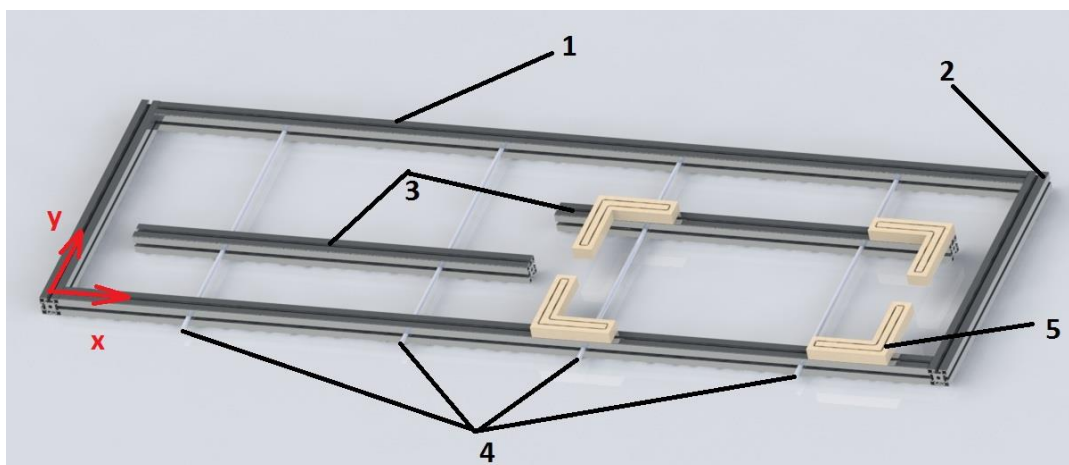
4.4 POMIČNA VPENJALNA ŠABLONA (MOŽNA REŠITEV 4)

Kot četrto možno rešitev predstavljamo pomično šablono. Šablona je nadgradnja prej predstavljenih sistemov. Omogoča pomik v vseh smereh in s tem prilagoditev na različne dimenzije obdelovancev, torej bi omogočala tudi vpenjanje nestandardnih dimenzij vrat.

4.4.1 Okvirna konstrukcija

Šablona je sestavljena iz okvirja, ki ga pritrdimo na delovno mizo CNC-lesnoobdelovalnega stroja. Sam okvir sestoji iz dveh vzdolžnikov in dveh prečnikov, ki so spojeni v celoto. V sredini okvirja se nahaja sredinska letev, katera se pomika preko vodil iz navojnih palic, ki omogočajo pomik letve v y smeri, kar v praksi pomeni, da definira širino vrat.

Konstrukcija šablone mora biti tako velika, da vanjo vpneemo tudi največja dimenzijska vrata po dolžini (2180 mm) in širini (698 mm).



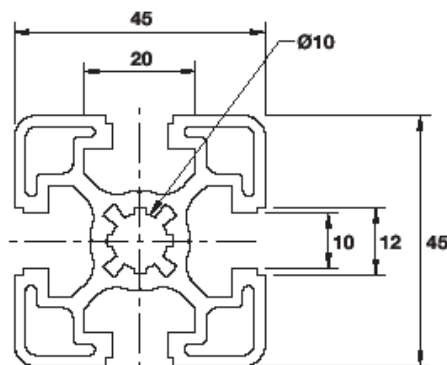
Slika 25: Prikaz šablone z okvirjem

Na sliki 25 je prikazana šablona z okvirjem, na kateri so označeni posamezni deli:

1. vzdolžnik okvirja;
2. prečnik okvirja;
3. pomična sredinska letev;
4. navojne palice z maticami;
5. kladica za vpenjanje.

Za izdelavo šablone uporabimo aluminijaste profile, ki imajo komercialno oznako »Bosch profili«. Komercialno ime izhaja iz imena proizvajalca – Bosch, vendar podobne profile izdelujejo številna podjetja. Ime se je pri trgovcih tako udomačilo, da moramo biti pozorni na proizvajalca, sicer lahko pod istim imenom dobimo tudi profile drugih blagovnih znamk. Profili so na prvi pogled enaki, razlikujejo se v podrobnostih, kot so oblike utorov, dimenzije, zaobljenost linij, notranjost prereзов ipd.

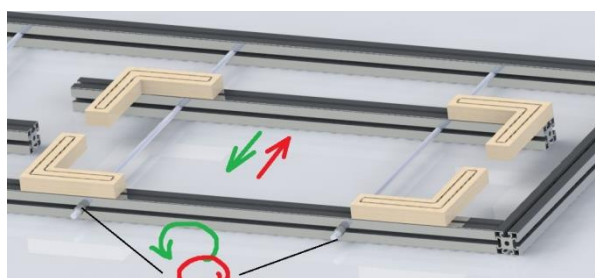
Aluminijasti profili so najpogostejši gradniki delovnih pripomočkov v industriji, saj njihova oblika omogoča hitro spajanje, utori pa lahko včasih služijo tudi kot vodila. V praksi se iz njih gradi najrazličnejše konstrukcije delovnih miz, vpenjalnih šablon, nosilcev orodij in skladiščnih enot. Na trgu dobimo profile različnih dimenzij in presekov, primer takega profila imamo na sliki 26.



Slika 26: Prerez enega izmed aluminijastih profilov

4.4.2 Delovanje šablone

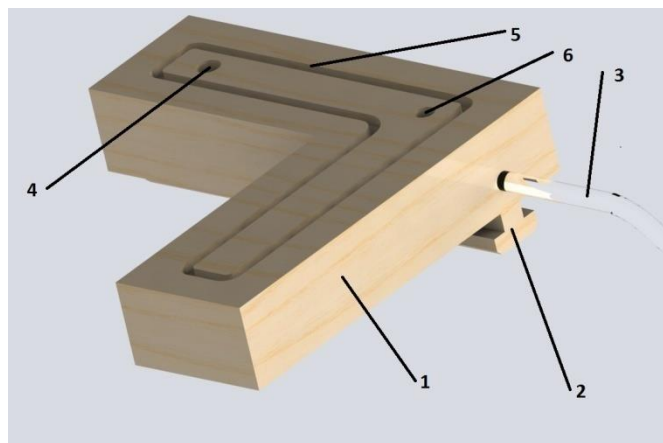
Kot smo že omenili, bo šablona zgrajena iz aluminijastega okvirja. Sam okvir bo imel prečno na dolžino postavljene štiri navojne palice, ki bodo postavljene v izvrtine v okvirju šablone, v katerih se bodo lahko prosto vrtele. Palice imajo na začetku in na koncu matice, ki preprečujejo, da bi palice ušle iz samega ležišča. Pomična sredinska letev ima dve izvrtini z navojem, kar omogoča pomik letev po y smeri in tako definira širino vrat. Pomik v y smeri omogočimo z vrtenjem navojnih palic oziroma pomičnih vodil. Vrtenje navojnih palic v desno omogoča odmik srednje pomične letve od okvirja, s čimer povečamo širino vrat. Vrtenje v levo omogoča približevanje srednje pomične letve, kar v praksi pomeni, da zožimo širino vrat. Navojne palice vrtimo ročno, za vrtenje uporabimo ključ ustrezne dimenzije, saj imajo navojne palice na koncu matice. Palici sta ena drugi dovolj blizu, tako da ju lahko obračamo z obema rokama naenkrat. Pri vrtenju palic moramo paziti, da ju enakomerno vodimo, saj nam lahko neenakomerno vodenje povzroči gozdenje srednje pomične letve. Smiselno bi bilo razmisliti o uporabi koračnega elektromotorja za vrtenje vodil, ki lahko ob ustrezni računalniški podpori avtomatsko krmilil sistem glede na potrebe. Na sliki 26 sta shematsko prikazana vrtenje in pomik srednje pomične letve šablone.



Slika 27: Shematski prikaz pomika srednje pomične letve

4.4.3 Kladica šablone

Kladica je narejena iz vezane plošče, lahko pa se poslužimo tršega plastičnega materiala. Material kladice mora biti trden, hkrati pa dovolj mehak, da v primeru zarezkanja v kladico ne pride do poškodb orodja. Uporabimo dve vrsti kladic, in sicer vogalne in ravne. Vogalne kladice so postavljene v vogalih vrat. Kladica v desnem kotu bo vedno na svojem mestu in bo določila pozicijo ostalih. Pri manjših vratih uporabljamo samo vogalne kladice v obliki črke L; v kolikor je distanca med njimi po x smeri velika, se med njimi postavi ravno kladico. Vsaka kladica ima cev, na katero priključimo dovod vakuumu iz delovne mize obdelovalnega stroja. Kladica ima na spodnji strani pero, ki se prilega utoru aluminijastega profila. Utor aluminijastega vodila bo služil kot vodilo kladice, kar pomeni v praksi pomik kladice v x smeri. Na vrhu kladice je tudi vijak, s katerim fiksiramo pozicijo kladice, da se med obdelovanjem premika.



Slika 28: Prikaz kladice

Na sliki 28 je prikazana kladica vpenjalne šablone:

1. kladica;
2. pero kladice, ki se prilega utoru šablone in služi kot vodilo;
3. cev, ki je priključena na dovod vakuumu na CNC-stroju;
4. luknja z vijakom za fiksiranje kladice;
5. utor z gumico, kjer je vakuumsko polje;
6. vstopna luknja vakuumu.

6 POVZETEK

Cilj diplomske naloge je, da v sodelovanju z izbranim podjetjem poiščemo možne rešitve vpenjanja obdelovancev na CNC-lesnoobdelovalni stroj. V našem primeru so obdelovanci vrata omar. Ker so vrata različnih dimenzij, je težko zagotoviti enostavno, učinkovito in univerzalno vpenjanje na CNC-stroj. Diplomsko delo je posvečeno iskanju rešitve za omenjene težave z izdelavo šablone za vpenjanje vrat, ki bi omogočala vpenjanje vrat različnih dimenzij.

V začetku dela je predstavljena teorija vpenjanja obdelovancev. Na kratko je razloženo, kaj sploh je vpenjanje, zakaj je pomembno v tehnološkem procesu in kakšne vrste vpenjanj poznamo. Sledi predstavitev CNC-stroja z nekaterimi njegovimi prednostmi in tudi razlikami glede na njegovega predhodnika, NC-stroj. Ravno zaradi prednosti CNC-stroja so začeli v izbranem podjetju razmišljati, da bi za obdelovanje vrat različnih dimenzij uporabili omenjen stroj. V tem poglavju so predstavljeni tudi sestavni deli CNC-stroja in osnovne krmilne sheme. V nadaljevanju sta predstavljena princip in delovanje vakuumskega vpenjanja obdelovancev na CNC-obdelovalnih strojih, ki je najpogostejša rešitev v lesni industriji. Tu so predstavljene že obstoječe možnosti vpenjanja, ki jih poznamo, skupaj z njihovimi prednostmi in slabostmi.

V osrednji del diplomskega dela smo postavili naš problem vpenjanja obdelovancev (vrat) na CNC-obdelovalni stroj. Sprva se seznanimo s karakteristikami samega obdelovanca, nato sledijo preračuni vpenjalnih sil in podtlakov, ki so potrebni za izdelavo vpenjalne naprave. V nadaljevanju predstavimo nekaj možnih rešitev vpenjalnih priprav, opišemo njihovo izdelavo in delovanje ter navedemo njihove prednosti ter slabosti. Kot prvo možno rešitev navajamo šablono z elektronskim vakuumskim stikalom, ki bi vgradili v vpenjalno kladico. Taka šablona omogoča preko krmilne plošče vklop in izklop prisesnih polij, ki jih potrebujemo za določeno dimenzijo vrat. Krmiljenje omenjene šablone bi lahko olajšali tudi s strojnim vidom. Kot druga možna rešitev je predstavljena vpenjalna šablona z vzmetjo, ki bi delovala na podoben način kot prej omenjena kladica. Razlika bi bila le v tem, da bi za vklop in izklop prisesnega polja uporabili mehansko zapiralo, ki deluje s pomočjo vzmeti.

Kladice obeh predhodno navedenih naprav bi vpeli na enotno šablono in jih razvrstili tako, da bi pokrivale polja določenih dimenzij vrat. Kot tretja možna rešitev je predstavljena vpenjalna naprava s peresom. Naprava bi za pomikanje na željeno dimenzijo vrat izkoriščala utore v že obstoječi delovni mizi CNC-stroja. S tem bi osnovali poljubno prisesno polje in omogočili nastavitve vseh možnih dimenzij vrat.

Četrta možna rešitev je predstavljena pomična vpenjalna šablona. Šablona sestoji iz okvirja iz aluminijastih profilov. V notranjosti okvirja je pomična letev, ki se pomika s pomočjo navojnih palic, kar nam definira širino vrat oziroma dimenzijo v y smeri. Utor v aluminijastem profilu nam služi kot vodilo vpenjalne kladice. S pomikanjem kladice po utoru si definiramo dolžino vrat oziroma dimenzijo v smeri x. Slednja rešitev se mi zdi najbolj smiselna za uporabo v industriji, kar so pokazali tudi praktični preizkusi. Z nekaj izboljšav bi šablono naredili optimalno.

V diplomskem delu so predstavljene samo nekatere možnosti in ideje, ki bi jih lahko uporabili pri vpenjanju obdelovancev oziroma vrat različnih dimenzij na CN-obdelovalni stroj. Ena izmed teh rešitev bi lahko v prihodnosti zaživela tudi v praksi, pred tem pa bi bilo predlog potrebno še preizkusiti, dodelati in odpraviti morebitne pomanjkljivosti.

7 VIRI

- Bučar B. Mehanska obdelava. Interno gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Katedra za mehanske obdelovalne tehnologije: 95 str.
- Cimperman Ž., Žunter Ž., Weichardt J. 2012. Strojni vid: raziskovalna naloga. Celje, Šolski center Celje.
<http://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201203845.pdf> (15. marec 2016)
- Faladore V. 1986. Pneumatika, priručnik za projektovanje pneumatskih pravljajskih sistema. Beograd, PE Redakcija časopisa OMO: 86 str.
- Ileršič U. 2015. Testna proga za merjenje vakuumskih karakteristik tesnil. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko: 72 str.
- Koroša D. 2010. Uporaba tehnike animacije za modularno vpenjalno pripravo. Diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo: 55 str.
- Majdič F. 2014. Hidravlika in pnevmatika. Interno gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo: 68 str.
- Manojlovič S. 2016. Vakuumske črpalke.
<http://www.f1.ijs.si/~ziherl/VakuumskeCrpalke.pdf> (30. junij 2016)
- Otto A. 2010. Programiranje CNC-strojev. PP – PGLŠ – ŠCSG.
http://www.visjales-mb.org/download/PROGRAMIRANJE_CNC_STROJEV.pdf (25. maj 2016)
- Puhar J. 1994. Kuratov strojniški priročnik. Ljubljana, Tehniška založba: 817 str.
- Soković M. 1979. Pozicioniranje, vpenjanje, izpenjanje, Seminar 5. Avtomatizacija strege v industriji. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za tehniško kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško tehnologijo: 122 str.
- Zidar R. 2012. Analiza vakuumskega vpenjanja obdelovancev. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 65 str.
- Zrnič V. 1986. Pneumatika. Beograd, Tehniška knjiga: 251 str.

ZAHVALA

Čeprav sem potreboval veliko časa, mi je vseeno uspelo.

Ob tej priložnosti bi se rad zahvalil:

- Očetu in mami, ki nista nikoli izgubila upanja vame. Hvala za finančni vložek.
- Bratu, ki se je bolj sekiral za moje študijske obveznosti, kakor sem se sam. Hvala za inštrukcije.
- Punci, brez katere bi študij opustil že pred časom. Hvala za priganjanje.
- Mentorici, doc. dr. Dominiki Gornik Bučar, somentorju, doc. dr. Miranu Merharju, in recenzentu, prof. dr. Milanu Šerneku. Hvala za pridobljeno znanje.
- Kolektivu mizarstva Bolčič. Hvala za izkušnje.
- In vsem dobrim ljudem, ki so popestrili moj študij. Hvala za družabno življenje.