

FAKULTETA ZA TEHNOLOGIJO POLIMEROV

Aljaž KAVŠAK

KONSTRUIRANJE ORODJA ZA BRIZGANJE S PENJENJEM

Diplomsko delo

Slovenj Gradec, september 2024

FAKULTETA ZA TEHNOLOGIJO POLIMEROV

KONSTRUIRANJE ORODJA ZA BRIZGANJE S PENJENJEM

Diplomsko delo

Študent:	Aljaž KAVŠAK
Študijski program:	Tehnologija polimerov
Mentor:	izr. prof. dr. Blaž NARDIN
Somentor:	viš. pred. Silvester BOLKA

Slovenj Gradec, september 2024

IZJAVA

Podpisani Aljaž Kavšak izjavljam, da:

- je bilo predloženo diplomsko delo opravljeno samostojno pod mentorstvom;
- predloženo diplomsko delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe na drugi fakulteti ali univerzi;
- soglašam z javno dostopnostjo diplomskega dela v knjižnici Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu. Na Fakulteto za tehnologijo polimerov neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve diplomskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico ponuditi diplomsko delo javnosti na svetovnem spletu preko repozitorija DiRROS.

Slovenj Gradec, 24.9.2024

Podpis:  _____

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Blažu Nardinu ter somentorju, viš. pred. Silvestru Bolka za pomoč in vodenje pri pripravi diplomskega dela.

Prav tako velika zahvala podjetju Oprema Ravne za možnost izdelave fizičnih izdelkov.

Predvsem se zahvaljujem svoji družini za vso pomoč in podporo ponujeno tekom študija in priprave diplomskega dela.

POVZETEK

Konstruiranje orodja za brizganje s penjenjem

V tem diplomskem delu se bomo posvetili konstrukciji in izdelavi orodja za penjeno brizgan izdelka. Povzeli bomo teorijo izdelave ter predstavili praktičen primer izdelave danega orodja, od nabave materiala do testnega brizganja izdelkov. Povzeli bomo že prej obdelano teorijo o zasnovi, oziroma izdelavi orodja za brizganje. Na tej osnovi bomo povzeli znanja, ki jih potrebujemo, da se izdelajo orodje, ki je primerno za brizganje izdelkov na daljšo časovno dobo in ne samo za prototipiranje. Tem smernicam bomo nato dodali še teoretičen del brizganja penjenih izdelkov. Da bomo v celoto združili vso znanje, bomo izdelali tudi praktični primer orodja ter ga tudi testirali. Izdelali bomo dolivni in izmetalni vložek za vnaprej izdelano orodje. 3D model izdelka smo dobili iz strani FTPO, za katerega je treba izdelati nove dolivne vložke, da lahko dobimo želen izdelek. To orodje bomo najprej premerili, da dobimo podatke o konstrukciji danega orodja, na katerem se lahko nato priredi izmenljive vložke, da bodo ustrezali našemu izdelku in dani tehnologiji brizganja. Vložke bomo razrezali na tračni žagi, grobo in fino rezkali na 5 osnem rezkalnem centru, brusili na brusilnem stroju, vakuumsko zakalili na zahtevano trdoto v kalilnici, vstavili vložke v orodje v laboratoriju FTPO in tam na brizgalnem stroju tudi testirali brizganje danega izdelka. Rezultat bodo funkcionalni vložki, ki bodo odporni na uporabo. Brizgali bomo testne kose, ki bodo popolnoma zapolnili obliko gravure in s tem pridobili izdelke, ki ustrezajo prejetemu 3D modelu.

Ključne besede:

Konstrukcija, orodje, penjeno, brizganje, tehnologija.

SUMMARY

Design of the mould for foam injection moulding

In this thesis, we will focus on the design and production of moulds for foam injection moulded products. We will summarize the theory of production and present a practical example of the production of a given mould, from the procurement of materials to the test moulding of products. We will summarize the previously elaborated theory about the design, or rather the production of moulds for injection moulding. On this basis, we will summarize the knowledge we need to create a mould that is suitable for moulding products over a prolonged period of time and not only for prototyping. We will then add to these guidelines the theoretical part of spraying foamed products. To fully combine all the knowledge, we will also create a practical example of the mould and test it. We will make a filling-side and ejection-side mould for a pre-made mould. We obtained a 3D model of the product from the FTPO, for which it is necessary to make new cavities in order to get the desired product. We will first measure this mould to obtain data on the design of the given mould, on which the interchangeable inserts can then be adapted to suit our product and the given injection moulding technology. The inserts will be cut on a band saw, coarsely and finely milled on a 5-axis milling centre, sanded on a grinding machine, vacuum hardened to the required hardness in the heat tempering facility, inserted into the mould in the FTPO laboratory, where we will also test the moulding of the given product on an injection moulding machine. The result will be functional inserts that will be resistant to use. We will inject test pieces that will completely fill the new mould shape and thus obtain products that correspond to the received 3D model.

Keywords:

Design, mould, foam, injection-moulding, technology.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Opredelitev problema	1
1.2	Namen in cilji	1
2	TEORETIČNI DEL	2
2.1	Opis postopka penjenega brizganja	2
2.1.1	Penjenje z nizkim tlakom	2
2.1.2	Penjenje z visokim tlakom	2
2.1.3	So-injekcijsko penjenje	3
2.1.4	Penjenje s protitlakom plina	3
2.1.5	Mikrocelularno penjenje	3
2.1.6	Prednosti in slabosti penjenega brizganja	4
2.2	Možnosti uporabe različnih penil	5
2.2.1	Fizikalna penila	6
2.2.2	Kemična penila	7
2.3	Orodja za brizganje	7
2.4	Koncept izdelave orodja za brizganje	8
2.5	Koncept izdelave gravurnih vložkov	9
2.5.1	Delilna ravnina	10
2.5.2	Velikost gravure	10
2.5.3	Pozicija gravure	11
2.6	Zapolnjevanje gravure	11
2.7	Parametri brizganja	12
2.7.1	Vlaga materiala	12
2.7.2	Predviden čas hlajenja	12
2.7.3	Temperatura taline	13
2.7.4	Hitrost tečenja	13
2.7.5	Zapiralna sila	13
3	EKSPERIMENTALNI DEL	15
3.1	Ogled in meritev že izdelanega orodja	15
3.2	Modeliranje orodja	17
3.3	Definiranje materiala za gravurne vložke	19
3.4	Izdelava vložkov	20
3.4.1	Groba izdelava vložkov in gravure	20
3.4.2	Termična obdelava vložkov	23
3.4.3	Brušenje vložkov	24
3.4.4	Fina obdelava gravure	25
3.4.5	Erodiranje orodja	27
3.5	Dodelava vložkov	30
3.6	Sestavljanje orodja	31
3.7	Brizganje vzorcev za testiranje	32

3.8	Testiranje vzorcev	33
4	REZULTATI IN DISKUSIJA	38
4.1	Rezultati in diskusija – vložki	38
4.2	Rezultati in diskusija – brizgani izdelki	38
5	SKLEP	39
	SEZNAM LITERATURE IN VIROV	40
	SEZNAM SLIK	43
	SEZNAM TABEL	46
	SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV	47
	SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC	48
	PRILOGE	49
	Priloga 1: Tehnologija izdelave dolivnih vložkov	49
	Priloga 2: Tehnologija izdelave izmetalnih vložkov	52
	Priloga 3: Meritve izdelkov	55
	Priloga 4: Slike CNC obdelave	61
	Priloga 5: Tehnična dokumentacija orodja	65

1 UVOD

1.1 Opredelitev problema

Kot študent fakultete za tehnologijo polimerov sem se odločil za diplomsko delo, opisati izdelavo orodja za brizganje plastičnih izdelkov. V sodelovanju z mentorjem in somentorjem smo dobili informacijo, da na fakulteti potrebujejo orodje za penjen izdelek. To orodje bodo uporabili pri nadaljnjem sodelovanju z zunanjim partnerjem fakultete, kjer bodo opravljali nadaljnje raziskave na penjeno brizganih izdelkih. Izdelati je bilo treba nove orodne vložke za že izdelano orodje. Za konstrukcijo smo uporabili računalniško okolje Solidworks [1], s katerim smo se že spoznali pred začetkom izdelave diplomskega dela. Tehnično izdelavo bomo opravili v podjetju Oprema Ravne [2], prav tako bomo tudi izdelane vložke dimenzijsko kontrolirali v istem podjetju, kjer se tudi uporablja merilna tehnika od podjetja Hexagon [3], nadaljnjo sestavo orodja in testiranje brizganja pa na Fakulteti za tehnologijo polimerov.

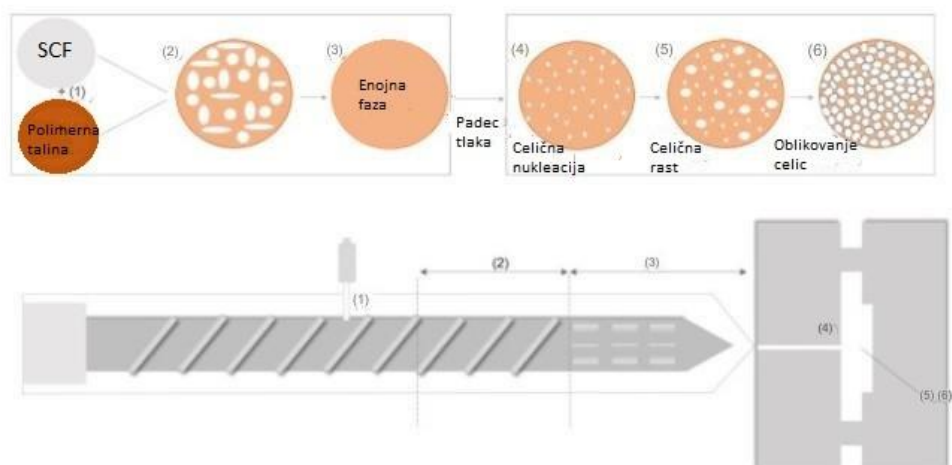
1.2 Namen in cilji

Orodje mora biti sposobno brizganja velikih količin različnih izdelkov, z različnimi parametri brizganja in z različnimi materiali, brez potrebnih popravil gravure. Vložke je treba obdelati mehansko ter zagotoviti dovolj veliko trdnost, da se ne obrabijo prehitro.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Opis postopka penjenega brizganja

Penjeno brizganje je veliko bolj kompleksno od klasičnega brizganja, zaradi dvo-fazne strukture v gravuri: nastajanje plinskih mehurčkov v talini. Veliko različnih procesov brizganja je bilo razvitih, ki bi rešili probleme brizganja izdelkov, ali izdelali izdelke s specifičnimi karakteristikami in sposobnostmi. Slika 1 predstavlja potek nastajanja penjene strukture. V prvi fazi se v polža vnese polimerna talina in plin v tako imenovani superkritični tekočinski fazi (SCF, angl. supercritical fluid). Druga faza predstavlja hitro mešanje plina s polimerno talino. Tretja faza predstavlja popolno difuzijo polimerne taline in plina. V fazi štiri se po vbrizgu prične celična Nukleacija v spojini. Peta faza prikazuje hitro celično rast zaradi nenadnega padca tlaka po vbrizgu. V fazi šest se že oblikujejo plinske celice. Predstavili bomo 5 različnih postopkov penjenega brizganja: penjenje z nizkim tlakom, penjenje z visokim tlakom, so-injekcijsko penjenje, penjenje s protitlakom plina, mikrocelularno penjenje [4].



Slika 1: Primer nastajanja penjene strukture [5]

2.1.1 Penjenje z nizkim tlakom

Pri penjenju z nizkim tlakom se zapolni le od 65 % - 80 % gravure. Mešanica polimera in penila je pripravljena v brizgalni enoti stroja. Temperature cilindra so natančno kontrolirane, tako da se fizično penilo dobro zmeša v talino, ali v primeru kemijskega penila, da ta razpade šele zelo blizu brizgalne šobe. Za izognitev predčasni zapenjenosti taline, je potreben minimalni tlak taline [4].

2.1.2 Penjenje z visokim tlakom

Penjenje z visokim tlakom se od penjenja z nizkim tlakom razlikuje predvsem pri vbrizgu. Je zelo podobno klasičnemu brizganju, kjer se gravura zapolni 100 % pod visokim tlakom do 150 MPa. Gravura je v tem primeru pred nastavljen, da ima manjši

volumen kot končni izdelek. To se doseže z odmičnimi jedri, ali z naknadnim odpiranjem gravure. Ko se po določenem času zunanji sloj taline strdi, se orodna votlina odpre, ali odmično jedro izvleče, da lahko penilo zapeni talino in tako zapolni orodno votlino [4].

2.1.3 So-injekcijsko penjenje

So-injekcijsko, ali tako imenovano "sendvično" penjenje dovoljuje prvemu materialu, da ustvari skorjo izdelka, medtem ko drugi material zapeni njegovo sredico. Pri takšnem penjenju sta dva polža združena v eno šobo, ki je zasnovana tako, da odpira pot le enemu materialu v določenem času. Najpomembnejše pri tej vrsti brizganja je kompatibilnost uporabljenih materialov. Če materiala nista kompatibilna, se ne bosta sprijela eden na drugega [4].

2.1.4 Penjenje s protitlakom plina

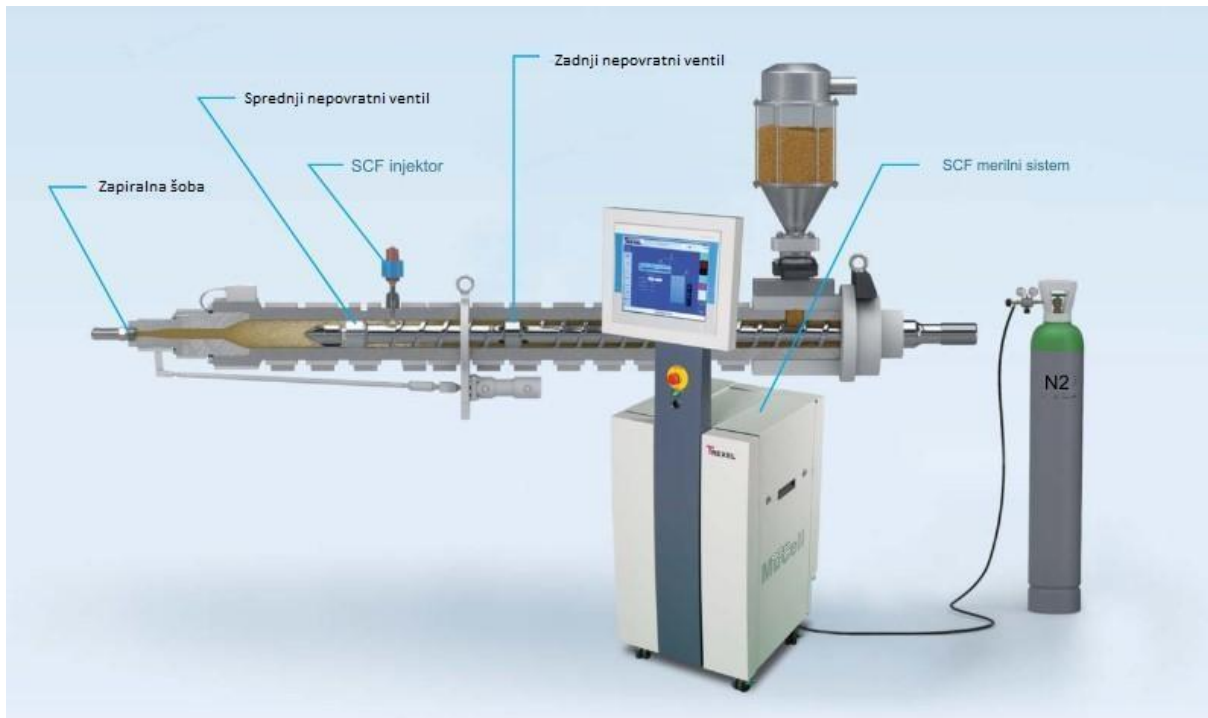
Pri tem načinu penjenja mora biti gravura pod tlakom plina že pred začetkom vbrizga. Na ta način se lahko kontrolira raztezek penila na začetku taline, ko se zapolnjuje gravura. Ko se začne vbrizganje taline, je treba izvesti kontrolirano odzračevanje gravure, da lahko talina zapolni gravuro. Ko je dosežena želena zapolnitev, se ta tlak zniža, da se lahko izvede zapenjevanje notranjosti izdelka [4].

2.1.5 Mikrocelularno penjenje

Za to vrsto penjenja je potreben dodatni stroj, kjer se samo penjenje ustvari. Eden takšen primer stroja je stroj podjetja Trexel z imenom MuCell [6], prikazano na sliki 2.

Mikrocelularna struktura nastane z nastajanjem mehurčkov v talini. Takšno strukturo lahko dosežemo z dodajanjem plinov v samo talino pred brizganjem. Proces mikrocelularnega penjenja taline običajno nastaja v nekaj korakih [7]:

- razpadanje penila pod visokim tlakom v talini,
- nukleacija polimera v visoko koncentrirano spojino, ko se tlak zniža nazaj na atmosferske zunanje vrednosti,
- rast zračnih mehurčkov v talini do njihovega ekvilibrija.



Slika 2: Primer MuCell stroja [8]

2.1.6 Prednosti in slabosti penjenega brizganja

Prednosti penjenega vbrizganja [9]:

- mesta posedenosti pri penjenem brizganju praktično ne obstajajo, kajti učinek pene nenehno ustvarja tlak navzven proti steni gravure,
- sekcije debelejših sten pripomorejo k večji togosti celostne strukture,
- nižji tlaki brizganja omogočajo uporabo več različnih orodij v enakem stroju,
- dobro ustaljena tehnologija zmanjšuje faktor tveganja pri začetku proizvodnje.

Slabosti penjenega brizganja [9]:

- nazivna debelina stene pri strukturnih penah je minimalno 5 mm, zaradi česar so penjeni izdelki večinoma težji, kljub zmanjšani gostoti zaradi penjene strukture,
- za estetsko pomembne izdelke je potrebno v večini primerih dodati cenovno neugodne sekundarne operacije zaradi nastajanja vrtnčastih oblik na izdelkih,
- tanke predele z majhnimi detajli je težje izdelati zaradi pomanjkanja visokih tlakov med brizganjem.

2.2 Možnosti uporabe različnih penil

Na splošno je penilo uporabljeno pri brizganju kot izvor plina, ki se uporablja za nastajanje mehurčkov ali celične strukture v brizganem izdelku. Penila so bila uporabljena v termoplastičnih in elastomernih izdelkih že desetletja, ampak pred kratkim so se začela uveljavljati tudi v ekstrudiranju in brizganju. Za penjeno brizganje se uporabljata dve različni vrsti penil, ki se klasificirajo kot fizikalna in kemijska penila [4], prikazana na sliki 3 in sliki 4.



Slika 3: Primer azodikarbonamida, kemičnega penila [10]



Slika 4: Primer dušika, fizikalnega penila [11]

2.2.1 Fizikalna penila

Fizikalna penila (PBA) s fizičnim spreminjanjem strukture materiala ustvarijo celično strukturo. Fizikalna penila uporabljajo pline pod tlakom, kot je dušik, ali ogljikov dioksid. Zaradi nižje cene in lažje dostopnosti, se večinoma fizikalna penila uporabljajo v brizganju penjenih izdelkov [4]. Slika 5 prikazuje nekaj primerov fizikalnih penil. Najpogostejše uporabljeni so bili klorofluorokarboni in kasneje hidrofluorokarboni, vendar so zaradi okoljevarstvenih problemov postali prepovedani za uporabo iz strani Montrealskega protokola leta 1989. Reakcija penjenja oziroma nastajanja mehurčkov je ireverzibilna in endotermna [12].

Penilo	Učinkovitost penila			
	Molekularna teža	Vrelišče (°C)	Pri vrelišču	Pri 100°C
Pentani				
n-pentan	72.15	36.1	216	261
2,2-Dimetilpropan	72.15	9.5	196	260
1-Pentan	70.15	30.0	227	280
Heksani				
n-heksan	86.17	68.7	212	232
2-Metilpentan	86.17	60.2	207	232
3-Metilpentan	86.17	63.3	211	234
2,2-Dimetilbutan	86.17	49.7	204	229
Cikloheksan	84.17	80.8	266	281
Heptani				
n-heptan	100.20	98.4	206	207
2,2-Dimetilpentan	100.20	79.2	193	204
2,4-Dimetilpentan	100.20	80.6	193	204
3-Etilpentan	100.20	93.4	204	212
Toluen	92.13	110.6	294	286
Triklorometan	119.39	61.2	342	382
Tetraklorometan	153.84	76.7	296	316
Trikloroflorometan	137.38	23.8	261	329
Metanol	32.04	64.6	679	752
Izopropil eter	102.16	67.5	198	217
Metil etil keton	72.10	79.6	324	344

Slika 5: Primer fizikalnih polnil [13]

2.2.2 Kemična penila

Kemična penila (CBA) sproščajo pline pod posebnimi pogoji med procesom penjenja. To je lahko zaradi kemične reakcije, ali termične razgradnje. Slika 6 prikazuje nekaj primerov kemijskih penil. Večina jih sprošča plin dušik ali ogljikov dioksid po razgradnji. Reakcija kemičnega penjenja je lahko endotermna ali tudi eksotermna. Azodikarbonamid je najbolj pogost predstavnik eksotermnega penjenja, ki ima po navadi visok izkoristek plina pri temperaturah razgraditve med 170 °C – 200 °C [7].

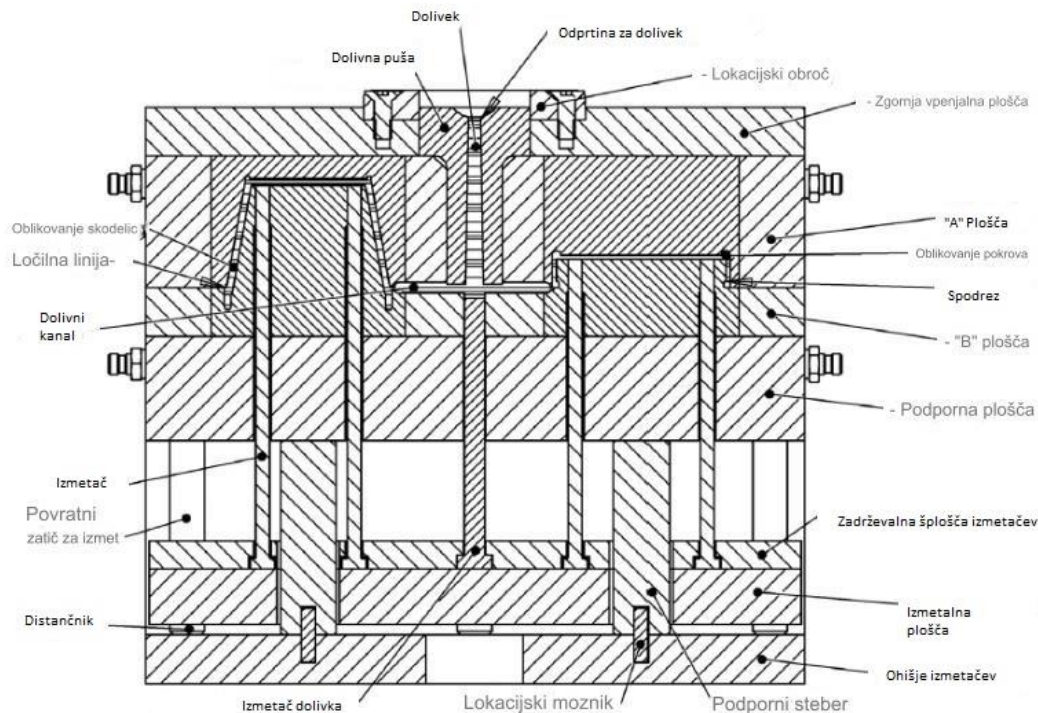
Kemijsko ime	Temperatura dekompozicije (°C)	Izkoristek plina (cm ³ /g)	Tip	Običajno penjeno
Azodikarbonamid (AZ)	195–215	220	Exo	EVA, HDPE, LLDPE, LDPE, PP, TPE, FPVC
4,4-oksibisbenzen sulfonil hidrazid (OBSh)	160	125	Exo	HDPE, FPVC
p-toluensulfonil semikarbizid (TSS)	228–235	140	Exo	EVA, HDPE, LLDPE, LDPE, PP, TPE, FPVC
5-feniltetrazol (5-PT)	250–300	200	Exo	PR PC
Natrijev bikarbonat (NaHCO ₃)	100–140	135	Endo	LDPE, EVA, FPVC, TPE
Alkaljni karbonat (Hydrocerol)	160+	100–160	Endo	LDPE, EVA, LLDPE, FPVC
Alkaljni karbonat (ActiveX)	120	140	Endo	LDPE, EVA, FPVC
Alkaljni karbonat (Safoam)	170–210	130	Endo	EVA, HDPE, LLDPE

Slika 6: Primer kemijskih penil [13]

2.3 Orodja za brizganje

Brizganje je najbolj pogosta metoda masovne proizvodnje ter je zaradi svoje ekonomičnosti izdelave kompleksnih izdelkov v tesnih tolerancah prednostna izbira. Brizganje je tudi ena izmed najbolj učinkovitih metod izdelave zaradi kratkih ciklus časov, hitrega hlajenja izdelkov, majhnim odpadkom materiala in potencialom uporabe recikliranih materialov [14]. Slika 7 prikazuje prerez klasičnega dvo-gneznega orodja, kjer so lepo vidni glavni sestavni deli konstrukcije.

Tri primarne funkcije orodja za brizganje so zadrževanje taline v gravurni votlini orodja za prevzem oblike gravure, prenos toplote iz polimera v hladilni sistem za čim hitrejšo izdelovanje izdelkov ter izmetavanje izdelkov iz gravure čim bolj uniformno in brez poškodb orodju [14].

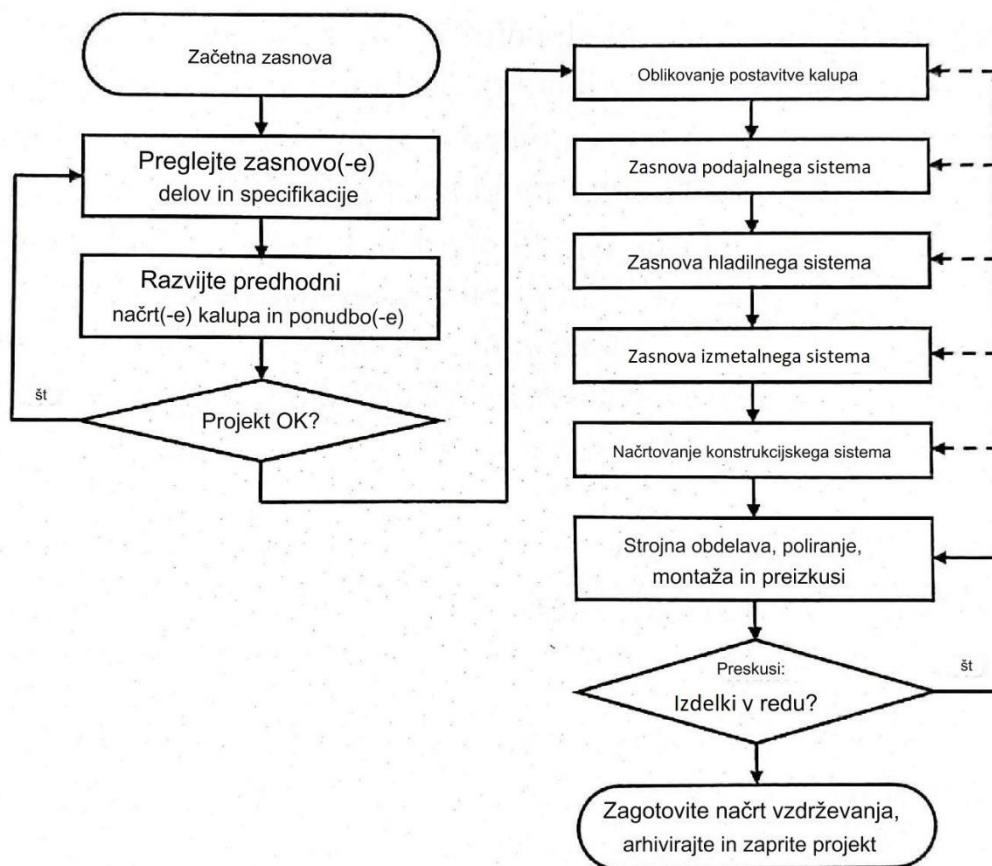


Slika 7: Primer prereza orodja [14]

2.4 Koncept izdelave orodja za brizganje

Glede na to, da je veliko prepleta med oblikovanjem izdelka, oblikovanjem orodja ter procesom brizganja, je potreben nekakšen osnovni proces snovanja orodja, kot je prikazan na sliki 8. Za zmanjševanje časa razvoja se po navadi odvija snovanje izdelka in snovanje orodja istočasno. Razvijalec izdelka lahko včasih celo predčasno dobi oceno predvidenih stroškov, glede na grobe dimenzije izdelka, izbire materiala ter količine izdelanih kosov. Glede na te informacije lahko razvijalec orodja predstavi preliminarno obliko orodja ter lahko ekstrapolira podatke, kot so potrebna zapiralna sila, urno postavko stroška stroja in čase cikla [14].

Po sprejeti obliki orodja lahko razvijalec začne specifično določati obliko orodne gravure, število in pozicijo gravurnih gnezd in tudi velikost in debelino gravurnih vložkov. Potem, ko je to določeno, se nadaljuje z zasnovo dolivnih kanalov, hladilnih kanalov, določevanjem oblike izmetalnega paketa in izmetačev ter strukturno zasnovo orodja. Ti sistemi se tekom razvoja orodja lahko še vedno spreminjajo. Na primer zaradi prestavitve izmetačev, se lahko spremeni sistem hladilnih kanalov in podobno. Po navadi se predstavi več različic enakega orodja, dokler se ne doseže kompromis med velikostjo, ceno, kompleksnostjo in funkcijo [14].



Slika 8: Proces snovanja orodja [14]

Za zmanjševanje časa razvoja se lahko naročijo že vnaprej izdelane plošče, dolivne šobe, material za gravurne vložke, izmetači, vijaki in podobno. Takšen proces ni priporočljiv za nedorečene sisteme orodja. Zaradi sočasnega procesa snovanja orodja se zmanjša čas izdelave tipično iz mesecev v tedne. Po tem, ko je orodje zasnovano, strojno obdelano, polirano in sestavljeno, se izvede test brizganja, da se lahko potrdi funkcionalnost orodja. Če ni vidnih nobenih problemov, se lahko izdelke testira ter primerja zahteve izdelka s fizičnimi brizganimi testi. Večkrat se pokaže, da je potrebna dodatna dodelava gravure, v majhnih primerih pa lahko pride celo do kritičnih napak, ki zahtevajo prevelike spremembe na orodju ter je kot tako nefunkcionalno in se lahko zavrže [14].

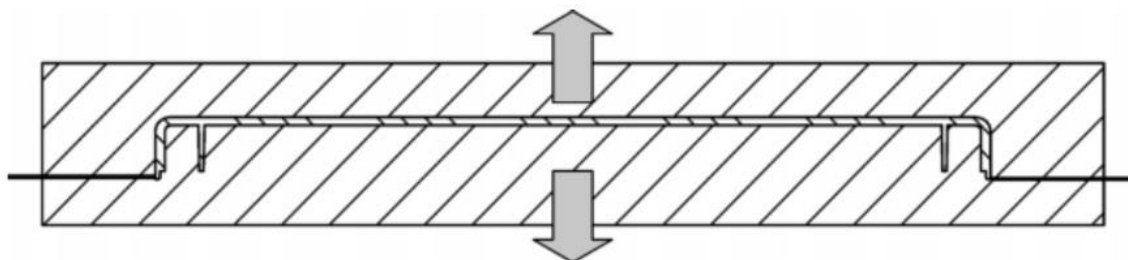
2.5 Koncept izdelave gravurnih vložkov

Faza zastavitve orodja se začne, ko je potrjen tip vložkov in določene njihove dimenzije in materiali. Enako velja tudi za razne drsnike, vskočnike in podlago gravurnih vložkov. Cilj te faze je, da se določi dimenzije ter se lahko dobavi potreben material za izdelavo. Izbira materiala za vložke je tudi pomemben dejavnik, saj material zelo vpliva na ceno orodja, možnosti mehanske obdelave in tudi zmožnost prevajanja temperature [14].

Faza zastavitve orodja predvideva, da je določeno število gravur in njihovih tipov. Za razvoj zastavitve orodja se prvo določi smer odpiranja orodja ter pozicijo delilne ravnine. Nato se določi dolžina, širina in višina orodja in vložkov. Po določitvi naštetih komponent se izbere še nosilna plošča gravurnih vložkov ter se izbere najbolj funkcionalna in enostavna postavitvev le teh [14].

2.5.1 Delilna ravnina

Delilna ravnina, kot prikazana v sliki 9, je kontaktna površina med stacionarnim in premičnim delom orodja. Primarna naloga delilne ravnine je, da dovolj zatesni gravuro izdelka, da ta ne prepušča brizgane taline, da bi uhajala iz orodja. Ta tesnitev je zagotovljena z zapiralno silo. Čeprav delilna ravnina predvideva ravno ploskev, je to lahko vrsta različnih površin z različnimi koti in podobno. Preden se delilna ravnina določi, mora razvijalec orodja določiti smer odpiranja orodja [15].



Slika 9: Primer odpiranja delilne ravnine [15]

Dva dejavnika poveljujeta določitvi smeri odpiranja orodja [15]:

- gravura mora biti pozicionirana tako, da ne povzroča nepotrebnega stresa na orodje. Po navadi je gravura postavljena na največjo paralelno ravnino delilni ravnini. Ta aranžma omogoča gravurnim ploščam čim manjšo možnost odpiranja pod tlakom brizganja,
- gravura naj bo postavljena tako, da je mogoče izdelek izvreči iz orodja s pomočjo izmetačev. Tipični primer brizganih izdelkov je škatla s petimi stranicami, ali rebrmi in podobnimi strukturnimi značilnostmi, ki so pravokotne na največjo ravnino. V takšnem primeru je ponovno smiselno, da je smer odpiranja orodja paralelna izdelkovi največji površini.

2.5.2 Velikost gravure

Velikost gravure je primarno pogojena z zahtevanim področjem za vse vložke, drsnike in gravure, ki so potrebni za izdelavo orodja izdelka. Primarni problem predstavlja interferenca gravure z ostalimi deli orodja, kot na primer izmetači, hladilnimi kanali, pozicijskimi zatiči, vodilnimi pušami in podobno. Zaradi izogibanja takšnim problemom se po navadi velikosti orodja prilagodijo, oziroma se izbirajo po standardih za eno mero večja orodja, kot je potrebno [15].

2.5.3 Pozicija gravure

Cilj pozicioniranja gravure je doseči čim večjo kompaktnost orodja, enostavnost proizvodnje in učinkovitost proizvodnje izdelkov. Kadar je konstruirano enojederno orodje, je ta lokacija po navadi v centru orodja, razen če to preprečuje dolivni sistem [15].

Kadar se konstruira več gnezdno orodje, se postavljajo gnezda na štiri načine:

- gnezda organizirana v liniji,
- gnezda organizirana v mreži,
- gnezda organizirana v krogu,
- gnezda organizirana v hibridnem načinu.

Organizacija v liniji je smiselna, kadar je geometrija izdelkov dolga in ozka. Organizacija v mreži je najbolj smiselna, kadar se pojavlja sodo število gnezd, kjer je treba poudariti dva pozitivna učinka, in sicer, da ta vrsta organizacije ponuja učinkovito postavitve glede kompaktnosti orodja, ter da se ta postavitve učinkovito prilagaja dolivnem kanalu. Pojavi se tudi postavitve krogu, ki prav tako ponuja kompaktnost orodja, ter ob enojnim centralnim dolivnem kanalu ponuja prednosti, kadar so izdelki relativno majhni, ali kadar je št. gnezd majhno, torej 8 ali manj, vendar takšna postavitve zahteva večjo površino orodja. Hibridna postavitve ponuja prednosti linearne postavitve, kot tudi postavitve v mreži. Na koncu je vse odvisno od zahtev orodja in konstrukterja, da se odloči za najboljšo rešitev [14].

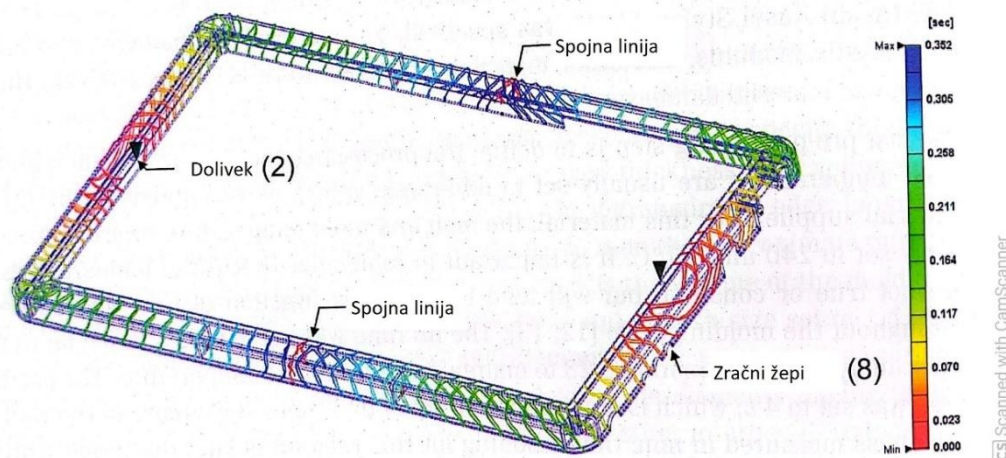
2.6 Zapolnjevanje gravure

Analiza zapolnjevanja gravure se primarno izvaja za potrjevanje pravilnega polnjenja orodja s talino glede na sposobnosti brizgalnega stroja. Današnji stroji omogočajo brizgalni tlak okoli 200 MPa, vendar je tipično potreben brizgalni tlak manj kot 100 MPa za zapolnjevanje orodja zaradi:

- zagotavljanja nižje zapiralne sile,
- razumnega padca tlaka v dolivnem sistemu,
- različnih dejavnikov varnosti in predvidevanj.

Analiza se izvaja tudi za zagotavljanje dovolj velikih tlakov brizganja, saj je v nasprotnem primeru treba spremeniti konstrukcijo izdelka, ali prilagoditi parametre brizganja. Pomaga tudi pri določevanju in postavitvi lokacij dolivkov ter izbiri procesnih parametrov [15].

Analiza se uporablja tudi za preprečevanje neenotnega zapolnjevanja ali preprečevanja presežka naknadnega tlaka. Slika 10 prikazuje en takšen primer zapolnjevanja izdelka. Priročna je tudi za nadaljnjo kontrolo taline v gravuri. Včasih so potrebe pri izdelkih, da spojne linije na izdelkih niso na vidnih točkah izdelka ter je treba izdelek ali parametre dodelati, da se lahko to doseže [14].



Slika 10: Primer simulacije brizga [14]

2.7 Parametri brizganja

Konstrukterji orodja naj bi preverili, da se da orodna gravura popolno zapolniti, glede na geometrijo orodja ter lastnosti brizganega materiala [14].

2.7.1 Vlaga materiala

Za doseganje konstantne kakovosti brizganih izdelkov, je treba vnosni polimerni granulati tudi ustrezno osušiti. Polimerni material, še posebej higroskopen, kot so najlon, PET in polikarbonat, že po naravi absorbirajo vlago iz okolice. Ta vlaga lahko negativno vpliva na proces brizganja [16]:

- poroznost: vlaga ujeta v notranjosti materiala lahko povzroča zračne mehurčke ali votline v brizganih izdelkih,
- površinske napake: Prekomerna vlažnost lahko povzroči površinske napake, kot so na primer srebrne lise na izdelkih,
- dimenzijska nestabilnost: spremembe zaradi vlage lahko vplivajo na viskoznost materiala in njegov skrček, kar lahko doprinese tudi dimenzijska odstopanja.

2.7.2 Predviden čas hlajenja

Zaradi poenostavitve se predvideva, da se čas hlajenja začne, ko se gravura orodja popolnoma zapolni. Prav tako se predpostavlja, da je temperatura taline v celotni gravuri enaka in je temperatura stene gravure tudi konstantna.

Za izračun časa hlajenja je treba poznati efektivno termalno difuzijo materiala, ki je razmerje termalne prevodnosti, gostote in specifične toplotne kapacitete [17].

Čas hlajenja se nato lahko izračuna po enačbi 1 [17]:

$$t = \frac{s^2}{\pi^2 a_{eff}} \ln \left(\frac{4}{\pi} \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \quad (1),$$

pri čemer je:

- t - čas hlajenja (s),
- s - debelina stene (mm²),
- a_{eff} - efektivna termalna difuzija,
- T_M - temperatura taline (°C),
- T_E - temperatura izmeta (°C),
- T_W - temperatura stene gravure (°C).

Rezultat je podan v sekundah in je teoretičen, glede na to, da se za izračun uporabljajo konstante za parametre temperatur.

2.7.3 Temperatura taline

Za temperaturo taline se po navadi vzame srednja vrednost predpisane temperature proizvajalca materiala, da imamo možnost korekcije na višjo ali nižjo temperaturo za korekcije problemov pri brizganju ter zmanjševanju časa brizganja [14].

2.7.4 Hitrost tečenja

Točna hitrost tečenja ni znana dokler je gravura končana in testirana. Tipično imajo tankostenski izdelki večjo hitrost tečenja ter potrebujejo hitrejši vbrizg, da se prepreči predčasno strjevanje taline. Hitrosti se lahko predvidevajo, tako da se deli volumen gravure in dolivnega kanala s predvidevanim časom polnjenja [14].

2.7.5 Zapiralna sila

Tlak zapiralne sile se predvideva kot integral tlaka taline, ki se izvaja na predvidevano površino gravure, ki je predstavljena z enačbo 2 [14].

$$F_{zap} = \int P(A) \cos \phi(A) dA \quad (2),$$

Pri čemer je:

- F_{zap} - zapiralna sila (N),
- P - tlak taline (MPa),
- A - predvidena površina gravure (cm²),
- d - št. gnezd.

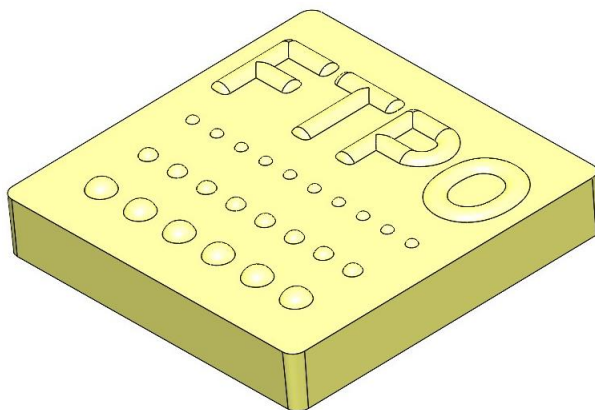
Tlak taline je svetovan s strani proizvajalca materiala, glede na debelino stene izdelka, glede na pot tečenja materiala od točke dolivka ter glede na čas vbrizgavanja. Te vrednosti so po navadi predvidene, ne pa popolnoma natančne [18].

Za predvidevano površino gravure se vzame največja na ravnino projektirana površina izdelka, vključno z dolivkom [18].

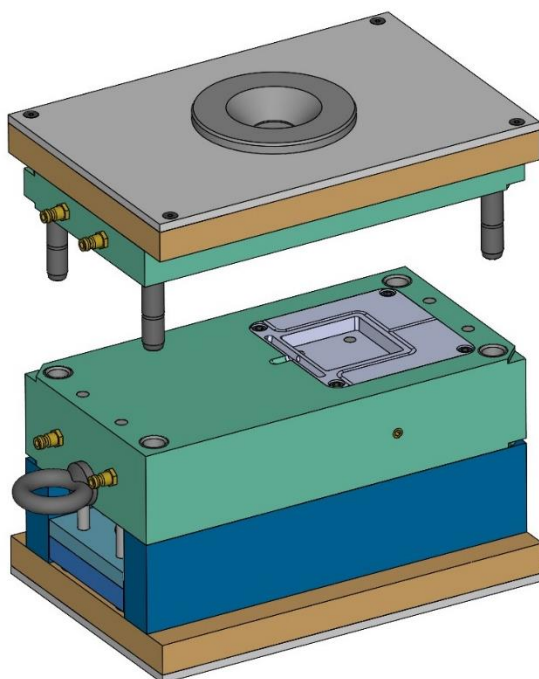
Za določevanje tlaka zapiralne sile se vzame najvišji tlak potreben za zapiranje orodja. Torej, če je zapiralni tlak med polnjenjem manjši kot potrebna količina naknadnega tlaka, potem se za zapiralno silo vzame vrednost naknadnega tlaka [14].

3 EKSPERIMENTALNI DEL

Za eksperimentalni del naloge bomo izdelali orodje, oziroma gravurne vložke za že izdelano orodje za vnaprej določen izdelek. 3D model izdelka na sliki 11 smo prejeli iz strani FTPO. Za ta izdelek smo izdelali 3D konstrukcijo orodja prikazano v sliki 12 ter pripravili zanj vso potrebno dokumentacijo.



Slika 11: 3D model izdelka



Slika 12: 3D model orodja

3.1 Ogled in meritev že izdelanega orodja

V laboratoriju FTPO je že izdelano orodje, ki je primerno za testiranje penjenega brizganja danih izdelkov. Ob ogledu orodja smo spoznali zasnovo orodja ter ga tudi premerili, da smo lahko pridobili 3D modele standardnih plošč ter komponent, ki spadajo zraven sestave:

- podporne plošče,
- gravurne plošče,
- izmetalni paket,
- centrirne obroče,
- dolivno pušo,
- vodilne puše,
- vijake,
- izolacijske plošče.

Izmerili smo zunanje gabarite orodja. Podrobno smo tudi izmerili postavitev že izdelanih izvrtin za izmetače, da smo lahko prilagodili naše gravurne vložke že izdelanim izvrtinam v izmetalnem paketu orodja, prikazanem v sliki 13.

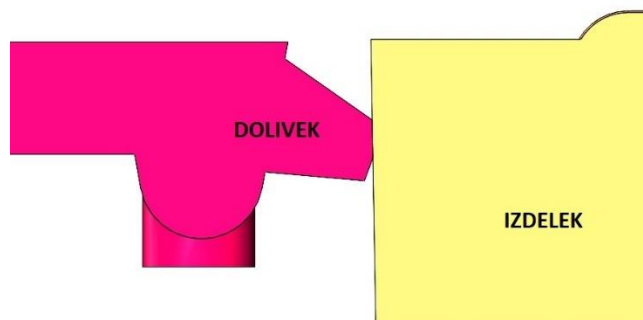


Slika 13: Fotografija izdelanega izmetalnega paketa

3.2 Modeliranje orodja

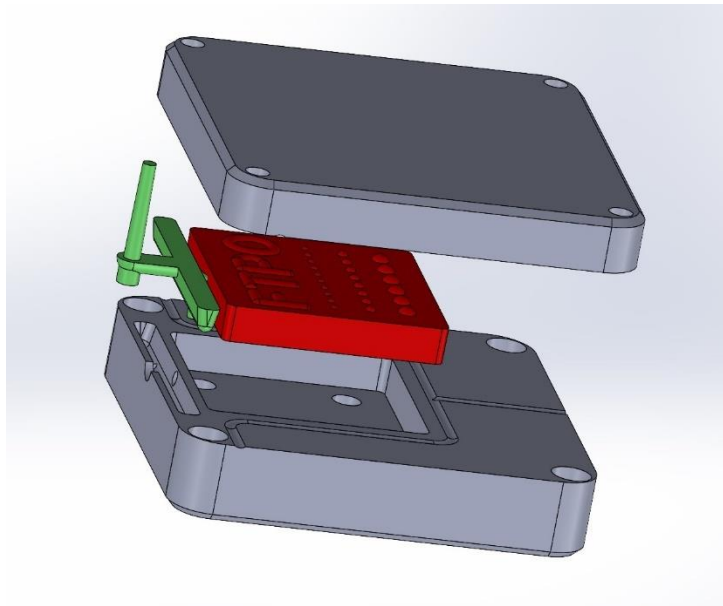
Za modeliranje orodja smo uporabili programski paket z imenom Solidworks. Ta program ima zelo razširjeno področje modeliranja ter je uporabniku prijazen, kar se tiče njegovih funkcij. Ker s tem programom tudi modeliramo v podjetju Oprema Ravne, se z njim že dobro poznamo. Najprej smo naš model izdelka morali povečati, oz. skalirati za predviden skrček po brizganju glede na predviden material brizganja, ki je v našem primeru polipropilen. Za ta material je predviden skrček 1,8 %. Nato smo na ta izdelek določili delilno ravnino, to je ravnina na kateri se orodje odpre, oz. kjer se stikata dolivni in izmetalni vložek. Ker je naš izdelek pravilne pravokotne oblike z veliko ravninsko površino, smo se odločili za najenostavnejši pristop ter smo delilno ravnino postavili tako, da je v dolivnem vložku ostala samo oblika mehurčkov in napis.

Glede na mere že izdelanega orodja smo nato vrisali oba vložka ter dodali izvrtine za vijake, odzračevalne kanale in pozicije za izmetače. V izmetalni vložek smo nato dodali še dolivni kanal ter izvrtine za izmetače dolivka. Potrebno je bilo tudi dodati mesto dolivka, ki smo ga določili s pomočjo simulacij brizganja. Najbolj ustrezen je bil tako imenovani tunelski dolivek na sliki 14.



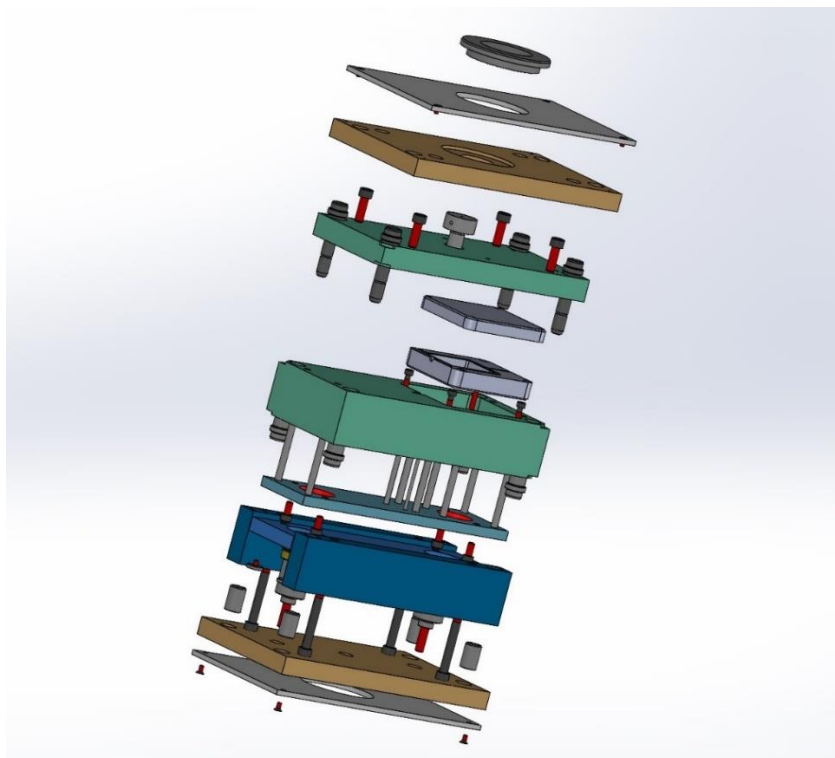
Slika 14: Primer tunelskega dolivka

Potrebno je bilo tudi prirediti naš izdelek tako, da smo mu še dodali kot izmetavanja v izmeri 1°. Naš izdelek je imel v osnovi popolnoma pravokotne stranice, kar pomeni, da če bi pustili izdelek takšen kot je bil, bi bilo brizgan kos iz orodja nemogoče odstraniti samo z izmetači.



Slika 15: Gravura z izdelkom in dolivkom

Ko smo imeli izdelane vložke prikazane v sliki 15, smo se posvetili še ostali konstrukciji orodja. Glede na to, da je orodje že izdelano, smo iz tega orodja odčitali zunanje dimenzije ter pozicije izmetačev in pozicije gravurnih vložkov. S temi informacijami smo lahko dobili še preostale 3D modele orodja. Za namen čim hitrejške konstrukcije smo se poslužili spletnega kataloga na spletni strani podjetja Meusburger [19]. Veliko delov orodja je standardiziranih ter smo lahko večino potrebnih delov enostavno prenesli v naš model in sestavili konstrukcijo, kot je prikazana na sliki 16.



Slika 16: Eksplozijska slika orodja

Po izdelani konstrukciji orodja, smo izdelali še tehnične risbe za vse izdelke ter te risbe tudi dopolnili z zahtevanimi tolerančnimi področji, kakovostnimi obdelavami ter natančnimi pozicijami. Vse te tehnične risbe se nahajajo v prilogi 5. Posluževali smo se večinoma tolerančnega področja H7 za potrebne izvrtine, po standardu ISO-286-2 prikazanem v tabeli 1 ter pozicijske tolerance v območju ± 0.02 mm in ± 0.05 mm.

Tabela 1: Tolerančno območje H, vrednosti v mikrometrih [2]

		Tolerančno področje												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Področje tolerance v mm.	1-3	+0.8 0	+1.2 0	+2 0	+3 0	+4 0	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+40 0	+60 0	+100 0	+140 0
	3-6	+1 0	+1.5 0	+2.5 0	+4 0	+5 0	+8 0	+12 0	+18 0	+30 0	+48 0	+75 0	+120 0	+180 0
	6-10	+1 0	+1.5 0	+2.5 0	+4 0	+6 0	+9 0	+15 0	+22 0	+36 0	+58 0	+90 0	+150 0	+220 0
	10-18	+1.2 0	+2 0	+3 0	+5 0	+8 0	+11 0	+18 0	+27 0	+43 0	+70 0	+110 0	+180 0	+270 0
	18-30	+1.5 0	+2.5 0	+4 0	+6 0	+9 0	+13 0	+21 0	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0	+210 0	+330 0
	30-50	+1.5 0	+2.5 0	+4 0	+7 0	+11 0	+16 0	+25 0	+39 0	+62 0	+100 0	+160 0	+250 0	+390 0
	50-80	+2 0	+3 0	+5 0	+8 0	+13 0	+19 0	+30 0	+46 0	+74 0	+120 0	+190 0	+300 0	+460 0
	80-120	+2.5 0	+4 0	+6 0	+10 0	+15 0	+22 0	+35 0	+54 0	+87 0	+140 0	+220 0	+350 0	+540 0
	120-180	+3.5 0	+5 0	+8 0	+12 0	+18 0	+25 0	+40 0	+63 0	+100 0	+160 0	+250 0	+400 0	+630 0
	180-250	+4.5 0	+7 0	+10 0	+14 0	+20 0	+29 0	+46 0	+72 0	+115 0	+185 0	+290 0	+460 0	+720 0

3.3 Definiranje materiala za gravurne vložke

Najbolj primeren material za gravurne vložke bi bilo v našem primeru orodno jeklo X38CrMoV5-1, tako imenovano z oznako Metala Ravne: UTOP MO1 (Werkstoff nr. 1.2343). Ker smo v podjetju Oprema Ravne imeli že material s podobnimi lastnostmi na zalogi, ki je ustrezna zamenjava, smo izbrali tega.

Material izbran je X40CrMoV5-1, (Werkstoff nr. 1.2344) ali z oznako Metal Ravne UTOP MO2. Ta zlitina je osnovana na bazi kroma ter vsebuje molibden in vanadij kot ojačevalni material. Krom temu materialu pomaga pri upiranju popušcanju, če je uporabljen pri visokih temperaturah. Zadrži veliko trdnost pri visokih temperaturah. Ima dobro odpornost proti obrabi, eroziji in utrujenosti materiala. Material je tudi lahko vodno hlajen. Povprečne fizične značilnosti [20]:

- modul elastičnosti [kN/mm²]: 215,
- gostota [g/cm³]: 7,78,
- termična prevodnost [W/m.K]: 25,0,

- električna upornost [$\text{Ohm mm}^2/\text{m}$]: 0,52,
- specifična zmogljivost zadrževanja temperature [J/g.K]: 0,46.

3.4 Izdelava vložkov

Za izdelavo vložkov so potrebne vnaprej navedene tehnološke faze, da se končni izdelek ujema z zahtevanimi dimenzijami in obliko. Tehnologija izdelave je dodana v prilogi 1 in prilogi 2. Najprej je bilo treba material pridobiti ter ga žagati na vložke z dodatki na zunanjih merah. Nato je bilo treba grobo obdelati zunanjo obliko ter naležne ploskve. Potem je sledila groba obdelava na CNC rezkalnem stroju in obrobkanje ostrih robov. Po teh operacijah je sledila kontrola grobo obdelanih dimenzij. Nato so se vložki kalili na zahtevano trdnost. Trde vložke smo zbrusili na končno višino z dodatkom za fino brušenje. Vložki so se gotovo obdelali na CNC rezkalnem centru ter nato še enkrat zbrusili po delilni ravnini. Ponovno so se robkali ostri robovi in se tudi dimenzijsko kontrolirali. V primeru izmetalnega vložka se je izvedla na vložkih še izdelava dolivnega sistema, s potopno erozijo in izrez izmetalnih izvrtin na žični eroziji.

3.4.1 Groba izdelava vložkov in gravure

Z grobo izdelavo vložkov smo pričeli na tračni žagi v podjetju Oprema Ravne. Material za vložke, prikazan v sliki 17 in sliki 18, v izmeri 125 mm x 80 mm x 1000 mm se je odrezal na dolžino 125 mm x 80 mm x 125 mm ter nato še enkrat po daljši ravnini na dimenzije 125 mm x 125 mm x 40 mm. Razrez materiala, vključno s pripravo dela je trajal približno 30 min.



Slika 17: Prvi rez materiala



Slika 18: Drugi rez materiala

Po izrezu grobega materiala smo vložke obdelali na klasičnem rezkalnem stroju, kot prikazuje slika 19. Tam so se vložki obdelali na debelino z dodatkom 2 mm ter poravnali v pravokotno obliko. Izdelovali smo dolivni in izmetalni gravurni vložek, katerih mere se po debelini razlikujejo. Dolivni vložek se je izdelal na debelino 17 mm izmetalni vložek pa se je izdelal na debelino 24 mm. Ta obdelava je vključno s pripravo trajala okvirno 3 h.



Slika 19: Grobo rezkanje debeline ter pravokotnosti vložkov

Nato je bilo treba obdelati vložke na gotove mere z dodatkom 0,25 mm na steno in je bilo treba, da se izdelajo na CNC stroju. Za to je bilo treba pripraviti program obdelave. CNC Program je bil izdelan v računalniškem sistemu Solidworks ter njegovem podaljšku z imenom CamWorks. Slike simulacij so navedene v prilogi 4. V programu smo izdelali obdelavo za vložke, kjer smo najprej v primežu na sliki 20, rezkali in vrtali izvrtine za pritrdilne vijake. Nato je bilo treba s pomočjo teh izvrtin vložke privijačiti na izdelano pripravo na stroju iz slike 21. Rezkali smo debelino z dodatkom 0,25 mm. Nato smo izdelali zunanjo obliko z dodatkom 0,25 mm. Sledila je izdelava oblike izdelka z dodatkom 0,25 mm. Za izmetalni vložek smo za grobo izkopavanje globine

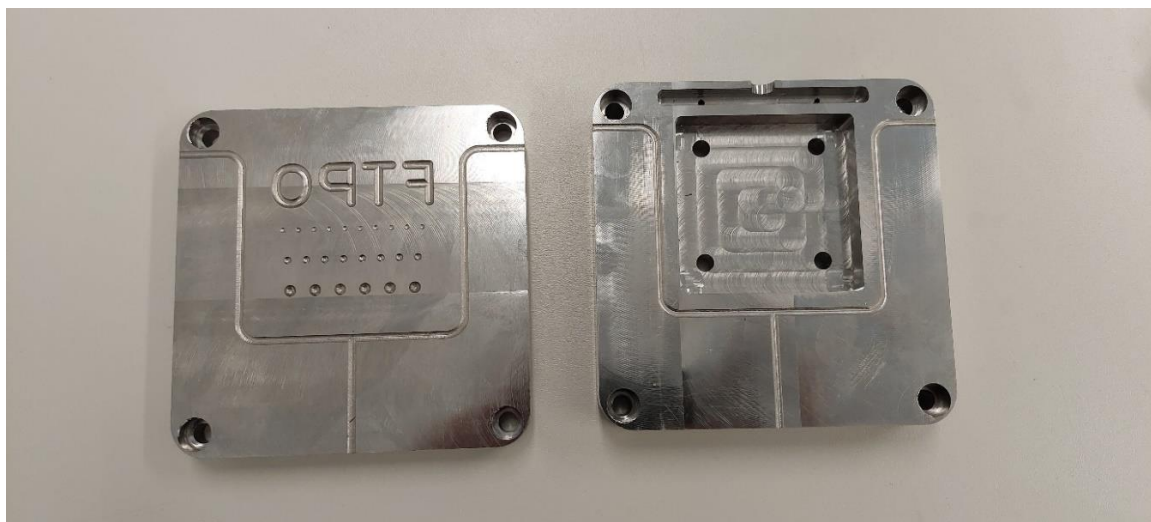
uporabili tehnologijo hitrega odvzema materiala z imenom Vollumill, ki omogoča velike globine rezanja ter visoke delovne pomike orodja. Običajno se uporabi rezalna hitrost orodja od v_c 300 m/min naprej. Mi smo uporabili v_c 320 m/min ter delovni pomik orodja 3500 mm/min. Vrtali smo še izvrtine z dodatkom 1 mm na steno ter grobo rezkali dolivni kanal. Za dolivni vložek smo potrebovali 3 vpetja na stroju, za izmetalnega pa 4. Groba obdelava na CNC je vključno z izdelavo CNC programa ter priprave na stroju trajala okoli 7 h. Od tega približno 3 h izdelava programa, 1,5 h priprava stroja, 1,5 h izdelava izmetalnega vložka ter 1 h izdelava dolivnega vložka. Končna groba obdelava je prikazana na sliki 22.



Slika 20: Vpetje v primežu



Slika 21: Vpetje na pripravi na stroju



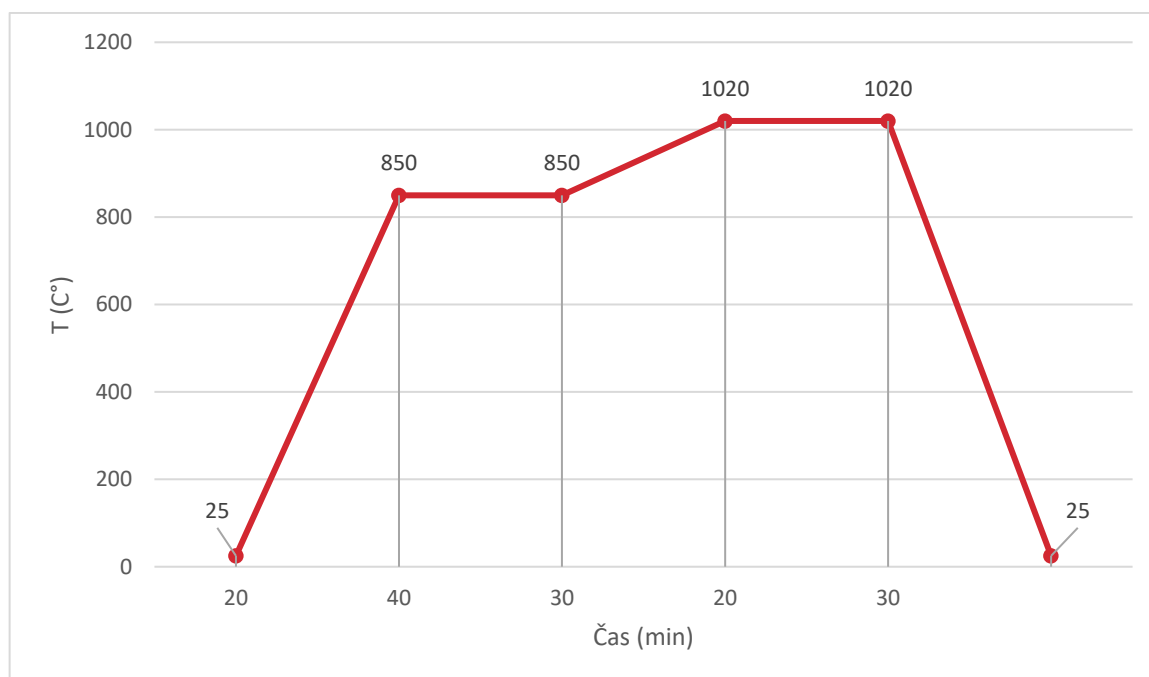
Slika 22: Grobo izdelani vložki

3.4.2 Termična obdelava vložkov

Po grobi mehanski obdelavi, smo vložke dali vakuumsko zakaliti na trdoto po Rockwellu 52–54 HRC. Segrevanje vložkov je potekalo po parametrih prikazanih na sliki 23.

Termično obdelani vložki so prikazani na sliki 24.

Za segrevanjem se je vložke kalilo v zaščitnem plinu Co_2 in ventilaciji na tlaku 0,25 MPa. Po kaljenju je sledilo popuščanje materiala, ki se je izvajalo na temperaturi 550 °C ter času 2,5 h. Popuščanje se je izvedlo 2 x [21].



Slika 23: Grafični prikaz segrevanja vložkov na termični obdelavi [21]

Po kaljenju se je trdota vložkov izmerila po Rockwellovi metodi merjenja trdote. Metoda po Rockwellu pomeni, da se izmeri trdoto tako, da se v površino s silo 100 N vtisne diamantni stožec s kotom 120° . Nato se sila poveča na 1400 N – 1500 N. Ta obremenitev se nato popusti nazaj na začetno vrednost 100 N ter se izmeri globina vtisa. Pri vakuumskem kaljenju se ogreva material s konvekcijo brez prisotnosti kisika. Kaljenje poteka z regulacijo dotoka inertnega plina, s čim lahko kontroliramo ohlajevalno hitrost [22].

Prednosti vakuumskega kaljenja proti standardnim so:

- jeklo ni naogljčeno ali razogljčeno,
- minimalne dimenzijske spremembe,
- optimalni čas kaljenja,
- fleksibilnost,
- čiste površine na jeklu.

Izmerjena trdota vložkov po kaljenju je 53 Hrc.



Slika 24: Termično obdelani vložki

3.4.3 Brušenje vložkov

Po termični obdelavi smo vložke zbrusili na končno debelino po načrtu. Najprej so se vložki zbrusili iz zadnje strani, ki je nasedna površina v dolivni in izmetalni plošči orodja, kot vidno na sliki 25. Vložke smo na brusilni stroj vpeli s pomočjo elektromagnetnega primeža.

Pri grobi obdelavi se je na višini iz spodnje strani pustil dodatek 0,25 mm, zato se je toliko tudi odbrusilo. Po brušenju zadnje strani, se je brusila še sprednja stran vložkov, torej tesnilna stran oz. delilna ravnina izdelka, kar prikazuje slika 26. Tudi ta stran je

imela pri grobi obdelavi dodatek 0,25 mm. Stran delilne ravnine se ni brusila na točno mero, ampak smo pustili še 0,05 mm dodatka na površini za končno brušenje po fini mehanski obdelavi.



Slika 25: Brušenje spodnje strani vložkov



Slika 26: Brušenje delilne ravnine vložkov

Brusili smo v inkrementih 0,01 mm na prelet brusnega orodja, da smo dosegli popolno ravnost površine. Brušenje je trajalo približno 1h.

3.4.4 Fina obdelava gravure

Fina obdelava vložkov je potekala na stroju Mazak VTC830/30SL. Za obdelavo izmetalnega vložka smo hoteli uporabiti 5-osni sistem stroja, ampak je bilo zaradi napake na stroju to neizvedljivo. Uporabili smo 3-osni sistem kopiranja kotov, da smo lahko rezkali izmetalni kot izdelka na izmetalnem vložku ter mehurčkaste oblike v dolivnem vložku. Fina izdelava izmetalnega vložka je prikazana na sliki 27.



Slika 27: Fina obdelava izmetalnega vložka

Glede na to, da je bil polizdelek kaljen na vrednost 53 Hrc, smo uporabili manjše rezalne hitrosti, kot pri grobi obdelavi. Uporabili smo rezalne hitrosti od 40 do 60 v_c ter delovne pomike orodja v ekvivalentu odreza 0,03 mm – 0,05 mm na zob rezilnega orodja.

Orodje smo privijali na enako pripravo, kot smo jo uporabljali za grobo obdelavo vložka. Ker je bila groba oblika gravure izdelana v enakem vpetju, kot zunanja oblika, smo lahko rotacijo izdelka enostavno centriral po eni izmed zunanjih stranic. Po določeni rotaciji, smo se z dotičnim merilnikom dotaknili še vseh štirih stranic, da smo določili center izdelka ter se dotaknili zgornje brušene ploskve, s čimer smo določili še izhodišče stroja po višini. CNC program je vseboval ponovno rezkanje zunanjih stranic na gotove mere ter poglobitev gravure za vrednost dodatka, ki je bil upoštevan pri grobi obdelavi. Za izdelovanje snemalnega oz. izmetalnega kota na vložku smo uporabili 3-osni sistem rezkanja s trdo kovinskim krogelnim rezkarjem premera $\varnothing 4$ mm.



Slika 28: Fina obdelava dolivnega vložka

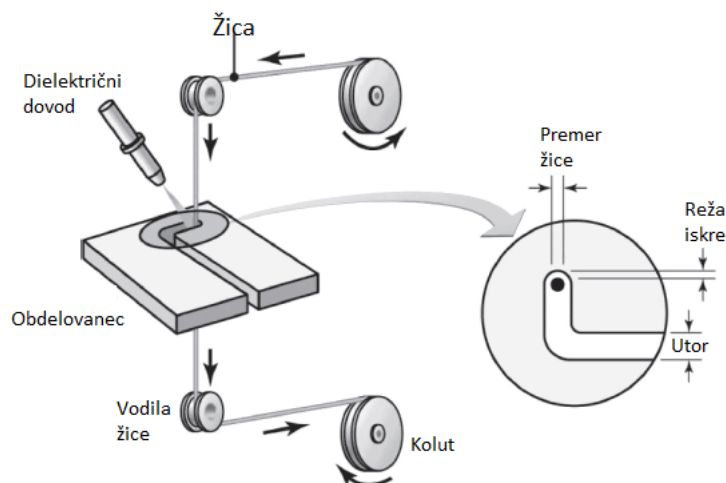
Po končani fini obdelavi so se izdelki ponovno minimalno ploščinsko brusili po delilni ravnini zaradi zagotavljanja tesnitve pri delovanju orodja. Fina obdelava vložkov je

potekala podobno kot groba, skupno približno 7 h, zaradi nižjih hitrosti odreza materiala. Končna fina obdelava dolivnega vložka je prikazana v sliki 28.

3.4.5 Erodiranje orodja

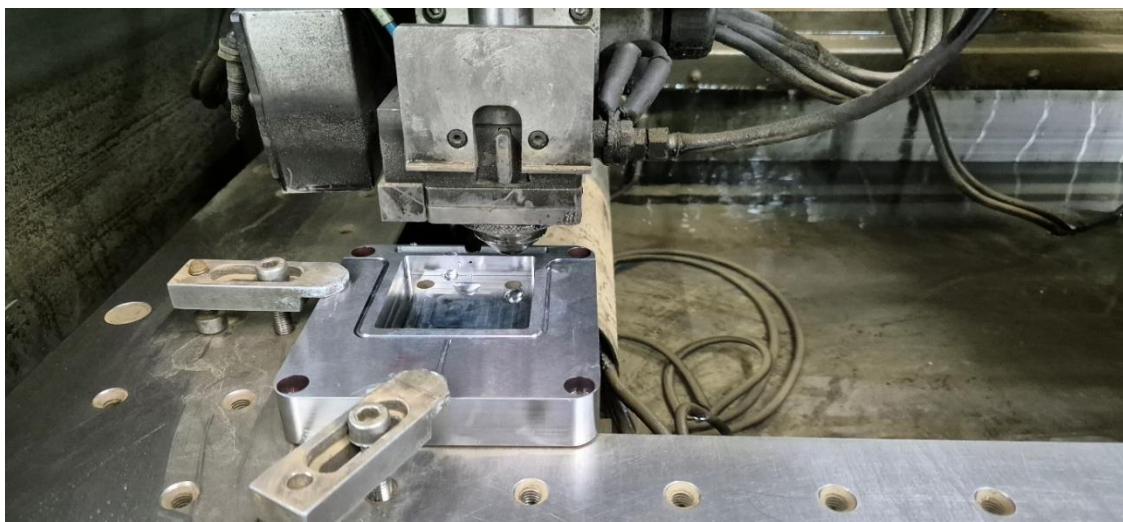
Erodiranje orodja je potekalo v podjetju KOM, d. o. o, kjer se je izdelal dolivni kanal ter izvrtine za izmetače na izmetalnem vložku.

Najprej se je izdelek vpel na CNC stroj za žično erozijo ali WEDM. Ta stroj deluje na principu elektro erozije prevodnih materialov z medeninasto žico, potopljenih v dielektriku. Največkrat je to deionizirana voda. Kadar se žica s premerom od 0,1 mm – 0,3 mm, pod napetostjo približa kovini na kritično točko, med njima pride do razelektritve, oz. preskoči iskra, ki odvzame kovinski material. Postopek je prikazan na sliki 29. V osnovi ima ta stroj zgornjo in spodnjo glavo, preko katere se napelje žica, ki je narejena iz medenine. Stroj je računalniško podprt s krmiljem in servomotorji, da lahko izrezujemo iz materiala natančne oblike in dosegamo gladke obdelave.



Slika 29: Prikaz postopka WEDM

Izdelek se je najprej vpel na mizo stroja tako, da je bila pod delom izvrtin zračnost, prikazano na sliki 30. Na stroju se je najprej določila izhodiščna točka izdelka na tak način, da se stroj z žico dotakne izdelka in na ta način določi izhodišče za CNC program. Nato se je skozi prej izdelane izvrtine napeljala žica stroja. V našem primeru smo uporabljali žico premera 0,25 mm. Z vodenjem stroja preko krmilja in CNC programa, smo nato lahko izrezali natančne izvrtine, ki smo jih potrebovali. V našem primeru je bilo to 4 izvrtine premera $\varnothing 8$ mm v toleranci H7 ter dve izvrtini premera $\varnothing 4$ mm v toleranci H7.



Slika 30: Vpetje izdelka na žični eroziji

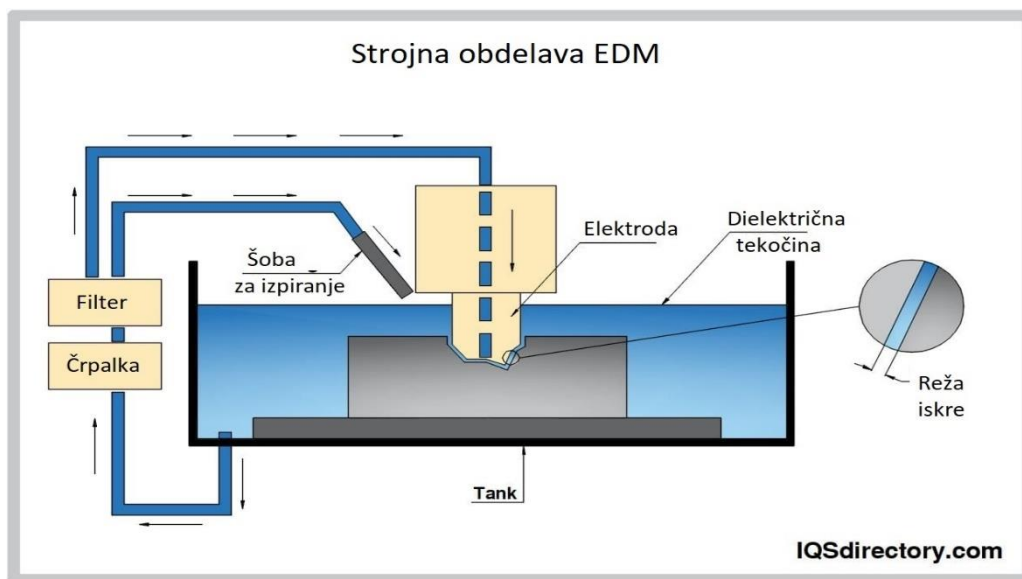
Za izrezovanje izvrtin sta se uporabila dva reza vsake izvrtine. Prvi rez je imel večjo jakost rezanja ter tudi dodan dodatek na steno izvrtine, medtem ko je drugi rez izvrtino porezal na gotovo tolerančno področje. V tabeli 2 so zapisani parametri za žično erozijo, ki so bili uporabljeni za izrez izvrtin. Veliko parametrov ima stroj pred nastavljenih zaradi lažje uporabe, nekateri se nastavljajo dodatno, glede na potrebe.

Tabela 2: Parametri žične erozije [23]

Parametri stroja	1. rez	2. rez
IP – nastavitev limite pulza (10 ali 11)	10	10
ON – jakost pulza (A)	13	3
OFF– jakost pulza (A)	8	8
AON – dolžina pulza (μs)	8	3
AOFF– dolžina pulza (μs)	8	8
SV – napetost (V)	34	51
WT – napetost žice (gms)	12	13
WF – pomik žice (mm/min)	16	7
WA – jakost izpiranja (Kg/cm^2)	7	1
Offset – dodatek (μm)	0,1870	0,1320
Roughness – Grobost (μm)	2,5	2,3

Po izdelavi izvrtin se je izdelek vpel še na stroj za potopno erodiranje ali EDM, ki deluje na enakem principu kot žična erozija, prikazana na sliki 31, le da za erodiranje materiala uporablja oblikovne tako imenovane elektrode, ki ko se približajo kovinskemu izdelku med njima nastane razelektritev. Ta povzroči mikroskopski odvzem materiala na kovini. Za to se uporabljajo večinoma elektrode izdelane iz bakra ali grafita. Te elektrode tekom dela postopoma zgubljajo svojo obliko, glede na količino električne energije s katero se erodira orodje. V večini primerov se zato uporabljajo grobe in fine elektrode. Grobe imajo končno obliko želene gravure, zmanjšano za 0,5 mm ali več,

medtem ko fine za samo 0,05 mm, saj se za fino obdelavo uporablja manj električnega toka, da se ustvari bolj fina obdelava stene.



Slika 31: Prikaz obdelave EDM [24]

V našem primeru nismo potrebovali grobe elektrode, saj je bil zahtevan odvzem materiala na našem vložku zelo majhen. Izmetalni vložek se je pod zelenim kotom vpel na stroj. Z elektrodo smo se dotaknili našega vložka, da smo določili izhodišče ter se s pomočjo računalniškega krmilja postavili na teoretično želeno mesto, kjer smo želeli izdelati dolivni kanal. Izdelava je prikazana v sliki 32. Količino električnega toka, oz. jakost erodiranja smo nastavili po smernicah interne dokumentacije podjetja KOM, d. o. o. Stroj smo nastavili, da se v intervalu 2 sekund ponavljajoče dotika in izhaja iz materiala. Na ta način smo zagotovili, da smo lahko z dodanim dielektrikom, oz. namenskim oljem iz naše votline sproti izpirali ostanke erodiranega materiala. Zadostno izpiranje tega materiala je pomembno, saj pri prevelikem nakopičenju ostankov lahko pride do neželenih oblik erodiranja, ali napak na izdelku.



Slika 32: Izdelava dolivka na izmetalnem vložku

3.5 Dodelava vložkov

Zaradi nepopolnega pregleda dolivnega dela orodja ter predvidevanja stanja na orodju, je bilo treba dodelati dolivni vložek, da je ustrežal odprtini v že izdelani dolivni plošči. Vložek je bilo treba stanjšati na debelino 8 mm ter rezkati zunanjo obliko na zahtevane dimenzije, ki so 104 mm x 69 mm. Treba je bilo tudi izdelati nove izvrtine za vijake, saj so bile na drugih mestih kot prvotno mišljeno. Vložek smo s pomočjo primeža vpeli na CNC rezkalni stroj Mazak VTC830/30SL ter iz spodnje strani vložka

rezkali debelino 8,2 mm. Nato smo vložek obrnili ter v primežu izdelali nove izvrtine za vijake. Po izdelanih izvrtinah smo vložek privijačili na pripravo ter rezkali še zunanjo obliko vložka.

Po CNC obdelavi smo vložek iz zadnje strani ponovno brusili na dimenzijo 8 mm. Prav tako je bilo treba brusiti še zunanje mere izmetalnega vložka, zaradi zagotavljanja lažje montaže izdelka v orodje.

3.6 Sestavljanje orodja

Orodje smo sestavili v laboratoriju na FTPO. Ker je že izdelano orodje funkcionalno, pri sestavi nismo imeli veliko dela. V orodju so že vstavljeni vsi ključni deli, kot so vodila in vodilne puše ter vijaki in ostali potrebni deli.

Najprej je bilo potrebno orodje razstaviti. Prvo smo ločili dolivni in izmetalni del orodja. Nato smo iz dolivnega dela odvijačili dolivni vložek. Odstranili smo star dolivni vložek, ter vstavili novega. Sestavljen izmetalni del je viden na sliki 33. Vstavljen vložek pa je prikazan na sliki 34. Nato smo se lotili izmetalnega dela, kjer smo morali odstraniti izmetalno ploščo, podpornike in spodnjo izmetalno ploščo. Tako smo lahko odstranili nepotrebne izmetače iz že izdelanega orodja. V tej fazi smo lahko tudi odvijačili izmetalni vložek v orodju ter ga zamenjali z novim. Vstavili smo nove izmetače ter po obratnem postopku demontaže orodje sestavili nazaj.



Slika 33: Montiran izmetalni del orodja



Slika 34: Montiran dolivni del orodja

3.7 Brizganje vzorcev za testiranje

Testno brizganje vzorcev se je izvajalo na stroju Krauss Maffei CX 50-150 power. Na stroj se je vpelo skupaj sestavljeno orodje. Najprej se je naslonilo na dolivno stran stroja ter se je pozicioniral centrini obroč, za določevanje natančnega centra dolivnega mesta. Nato se je dolivna stran orodja privijačila na stroj s pomočjo spon. Naprej se je pomaknila izmetalna plošča, da se je lahko povezal izmetalni cilindri, na izmetalni paket. Ko je bilo to urejeno, se je naslonila še izmetalna stran stroja na orodje ter se je orodje s pomočjo spon pričvrstilo še na izmetalni del. Delovanje mehanizma zapiranja ter odpiranja orodja in izmetavanja izdelkov se je nato še nekajkrat naknadno testiralo za preverjanje nemotenega delovanja. Priključiti smo morali cevi za hlajenje oz. temperiranje na orodje. Nastavili so se brizgalni parametri na stroju ter se je izvedlo testno brizganje.

Izvedli smo penjenje izdelka z nizkim tlakom. To pomeni, da smo zapolnili približno 70 % gravure z materialom, ostali del gravure se je zapolnil s samim penjenjem materiala. Uporabljen material je bil polipropilen TotalEnergies Lumicene Supertough 22ST05 & 32ST05 [25], ter penilo Nouryon Expancell [26]. Za osnovne parametre stroja smo vzeli zapiralno silo 500 kN. Brizgalni tlak smo nastavili na 200 MPa za klasično brizganje, za penjeno brizganje pa 130 MPa. Temperatura taline je bila predvidena na 200 °C. Temperiranje orodja je bilo nastavljeno na 33 °C. Naknadni tlak pri brizganju nepenjenih izdelkov je bil nastavljen 45 MPa. Naknadni tlak pri brizganju

penjenih izdelkov ni potreben, saj se tlak v gravuri ustvarja s penjenjem materiala, zato je bil v tem primeru brizgalni tlak nastavljen na 0 MPa. Zaradi oblike našega izdelka in debeline stene, ki je 10 mm, bo potreben daljši čas hlajenja, da se ohladi tudi notranje jedro izdelka. Čas hlajenja je bil nastavljen na 120 s. Brizganje je potekalo v dolžini 65 mm s hitrostjo 10 mm/s. Čas vbrizgavanja je bil 3,53 s. Zunanja skorja brizganega izdelka je bila predvideno ohlajena v roku 20 sec.

Brizgali smo 3 šarže izdelkov, in sicer:

- klasično brizganje - 16 kosov,
- penjenje z mešanico, v katero smo dodali 2 % penila - 7 kosov,
- penjenje z mešanico, v katero smo dodali 5 % penila - 16 kosov.

Za vsako šaržo smo pripravili 1 kg materiala za brizganje. Za klasično brizganje 1000 g polipropilena, za 2-% mešanico 20 g penila in 980 g polipropilena, za 5-% mešanico pa 50 g penila in 950 g polipropilena.

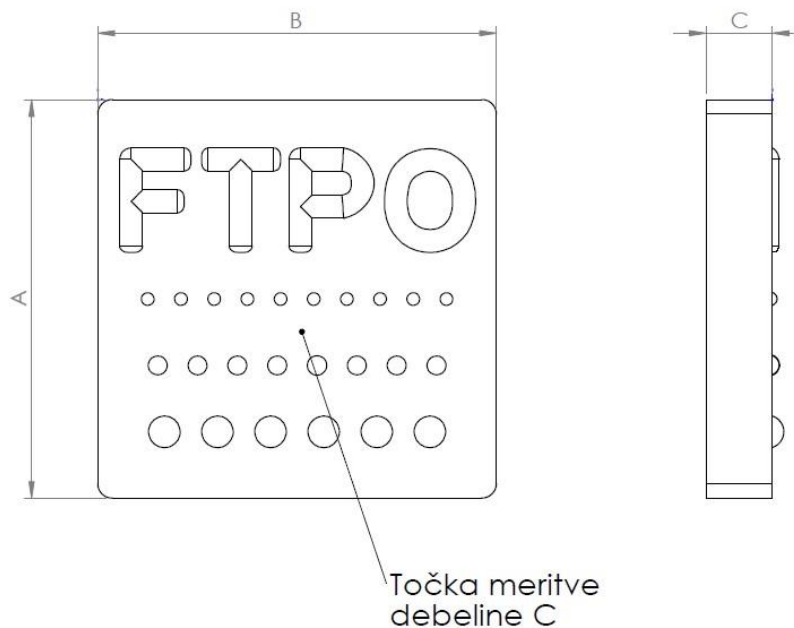
3.8 Testiranje vzorcev

Na brizganih vzorcih smo opravili masne in dimenzijske meritve, za primerjanje med brizganjem s samim polipropilenom ter penjenjem z 2-% mešanico penila in penjenjem s 5-% mešanico penila. Vzorce smo dimenzijsko izmerili ter dobili podatke v tabeli 3, katere rezultati se neposredno nanašajo na sliko 35. Vzorce smo merili z digitalnim pomičnim merilom.

Tabela 3: Ročne meritve dimenzij testnih izdelkov

PP					PP + 2 % Penila					PP + 5 % Penila				
Št.	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Masa (g)	Št.	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Teža (g)	Št.	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Teža (g)
1	NEZAPOLNJEN				1	NEZAPOLNJEN				1	NEZAPOLNJEN			
2	59,52	59,49	11,12	30,26	2	NEZAPOLNJEN				2	59,37	59,42	9,70	29,74
3	59,14	59,19	10,84	29,42	3	NEZAPOLNJEN				3	59,20	59,31	9,67	29,53
4	59,20	59,23	10,79	29,43	4	58,82	59,09	9,85	29,13	4	59,26	59,35	9,68	29,52
5	59,17	59,23	10,40	29,51	5	58,96	59,2	9,87	29,27	5	59,26	59,26	9,68	29,48
6	59,19	59,25	9,85	29,44	6	59,14	59,06	9,83	29,34	6	59,20	59,24	9,71	29,26
7	59,18	59,16	9,90	29,41	7	59,10	59,12	9,85	29,58	7	59,11	59,27	9,63	29,50
8	V LABORATORIJU									8	59,19	59,26	9,64	29,47
9	59,35	59,31	9,75	29,63						9	V LABORATORIJU			
10	NEZAPOLNJEN									10	59,26	59,31	9,69	29,51
11	NEZAPOLNJEN									11	59,27	59,36	9,74	29,51
12	59,50	59,48	10,08	30,04						12	59,25	59,35	9,74	29,58
13	59,53	59,48	10,08	29,98						13	59,23	59,36	9,81	29,52
14	59,35	59,37	10,06	29,63						14	59,20	59,33	9,76	29,50
15	59,27	59,32	10,12	29,61						15	59,27	59,31	9,77	29,53
16	59,30	59,31	10,10	29,65						16	59,36	59,30	9,80	29,52
POVPREČNO				29,67	POVPREČNO				29,33	POVPREČNO				29,51

Vse dimenzijske meritve so izvedene v mm.
Vse masne meritve so izvedene v gramih.

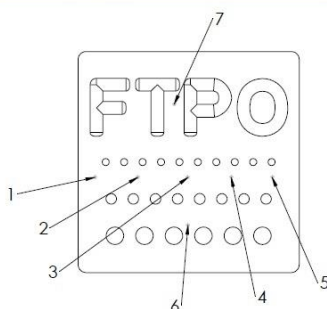


Slika 35: Slika točke meritve in dimenzij za ročne meritve

Iz podatkov mase, izmerjenih preko vseh vzorcev, smo v povprečju izračunali, da imajo v primerjavi z izdelki brez penila, izdelki z 2-% polnila zmanjšano maso za 1,14 %, medtem, ko imajo izdelki s 5-% polnila zmanjšano maso za 0,52 %.

Izmerili smo posedenosti vzorcev na vnaprej določenih točkah na kosih. Uporabili smo koordinatni merilni stroj Hexagon TigoSF [27]. Izdelke smo postavili na želeno mesto, ter jim zasidrili položaj. Na ta način smo lahko izdelali avtomatski program merjenja, ter samo menjavali želene vzorce. Izmerili smo kose s 5 % penila. Merili smo čelne točke na več mestih, da smo lahko določili posedenost ploskve. Slika 36 prikazuje pozicije izvedenih meritev ter odstopanja glede na nominalno vrednost višine 10 mm, pri kosu št. 4. Nastavili smo vrednost odstopanja v toleranci $\pm 0,2$ mm. Meritve označene z rdečo barvo so že izven tolerančnega področja. Zelena barva označuje dobro meritev, vijolična približevanje tolerančni meji, medtem ko je rumeno označena prekoračitev tolerance. Preostale slike meritev se nahajajo v prilogi 3. Tabela 4 prikazuje strnjeno vrednost opravljenih meritev.

Pc		PART NAME : Test brizganih kosov				avgust 23, 2024	13:12
		REV NUMBER : Kos 4		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PLN1 TO PNT2 (ZAXIS) 1					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.955	-0.045	0.000
↔	MM	DIST2 - PLN1 TO PNT3 (ZAXIS) 2					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.671	-0.329	0.129
↔	MM	DIST3 - PLN1 TO PNT4 (ZAXIS) 3					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.788	-0.212	0.012
↔	MM	DIST4 - PLN1 TO PNT5 (ZAXIS) 4					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.748	-0.252	0.052
↔	MM	DIST5 - PLN1 TO PNT6 (ZAXIS) 5					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.810	-0.190	0.000
↔	MM	DIST6 - PLN1 TO PNT7 (ZAXIS) 6					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.556	-0.444	0.244
↔	MM	DIST7 - PLN1 TO PNT8 (ZAXIS) 7					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.669	-0.331	0.131



Točke meritev

Slika 36: Primer meritve izdelkov na merilnem stroju (meritve izvedene v mm)

Tabela 4: Meritve odstopanj od nominalne mere 10mm

		Merjeno odstopanje v mm v točki meritve						
		1	2	3	4	5	6	7
Št. kosa	4	-0,045	-0,329	-0,212	-0,252	-0,190	-0,444	-0,331
	6	-0,056	-0,381	-0,243	-0,310	-0,264	-0,531	-0,464
	7	-0,053	-0,440	-0,296	-0,382	-0,304	-0,623	-0,445
	8	-0,052	-0,431	-0,312	-0,368	-0,268	-0,523	-0,471
	10	-0,049	-0,390	-0,262	-0,290	-0,219	-0,514	-0,405
	11	-0,054	-0,327	-0,184	-0,194	-0,123	-0,390	-0,310
	12	-0,031	-0,313	-0,181	-0,207	-0,169	-0,408	-0,367
	13	-0,014	-0,239	-0,127	-0,176	-0,152	-0,345	-0,309
	14	-0,038	-0,312	-0,201	-0,251	-0,214	-0,440	-0,386

Prav tako smo postopek ponovili pod mikroskopom v laboratoriju FTPO. Posedenost izdelkov izmerjenih v laboratoriju prikazuje tabela 5. Izdelki so se merili na označenih točkah na sliki 37, kjer se je s pomočjo mikroskopa določevalo vrednosti. Osnovna vrednost, oz. izhodišče za meritve je bila najvišja ravnina mere 10 mm. Od te višine

se je določila količina posedenosti izdelka na petih danih mestih meritev. Podrobnejši rezultati z grafičnim izrisom se nahajajo v prilogi 3.



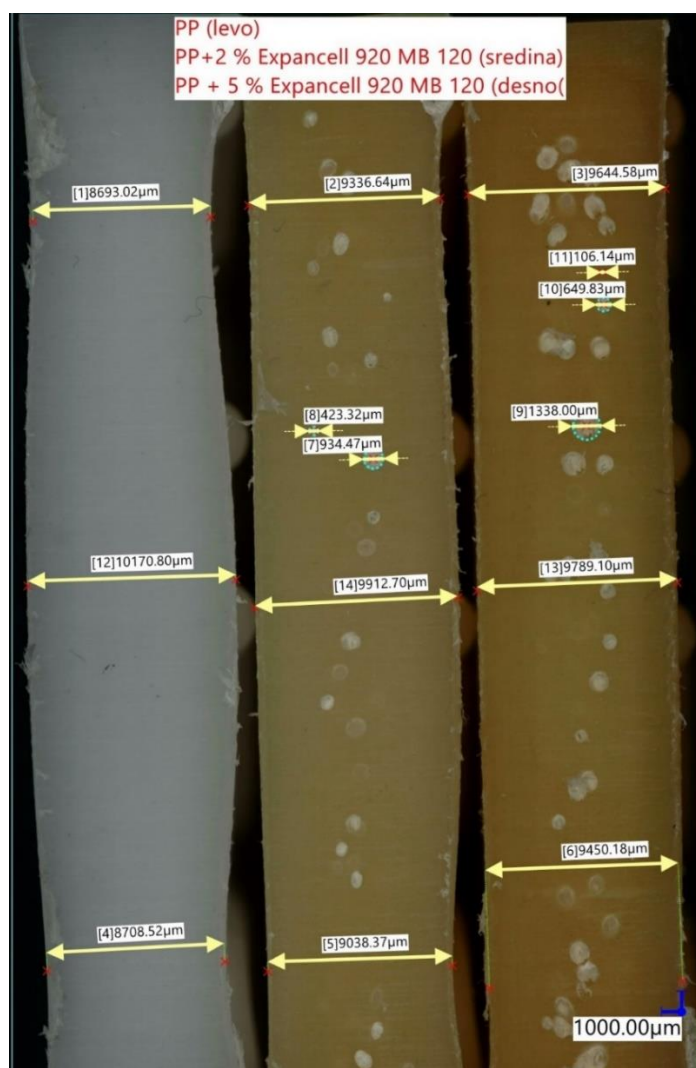
Slika 37: Prikaz rezultata meritev pod mikroskopom

Meritve z mikroskopom so se izvajale za samo en kos iz posamezne šarže, medtem ko so se vse ostale meritve izvajale na merilnem stroju.

Tabela 5: Meritve posedenosti izdelkov s pomočjo mikroskopa (v mm)

		PP	PP + 2%	PP + 5%
Točka meritve	1.	1,17	0,69	0,46
	2.	1,10	0,20	0,23
	3.	1,17	0,72	0,4
	4.	1,02	0,93	0,47
	5.	1,25	1,06	0,62

Iz vsake šarže brizganih izdelkov smo enega prerezali na rezkalnem stroju, da smo zagotovili čim bolj gladek odrez ter smo pregledali strukturo v sredini izdelka, prav tako na mikroskopu. Na sliki 38, je viden presek izdelkov ter njihova penjena struktura, ki je vidna že tudi s prostim očesom. Pričakovali smo vidno penjeno mikrostrukturo, vendar so na prerezu vidni samo veliki zračni mehurčki. Ti mehurčki so pri 5 % polnili največji, oz. jih je tudi največ, kar dokazuje večjo sposobnost penjenja, pri večjem odstotku penila. Označene so tudi meritve presekov izdelkov izmerjene v mikrometrih (μm).



Slika 38: Prikaz prereza treh različnih testnih kosov

4 REZULTATI IN DISKUSIJA

4.1 Rezultati in diskusija – vložki

Vložki so bili izdelani v zahtevanih tehnoloških dimenzijah in kvaliteta obdelave, z dovolj veliko trdnostjo. Zaradi nezmožnosti uporabe 5-osnega stroja, je bilo treba izdelke še dodatno spolirati na roke, da se je zagotovila gladka stena izmetalnega kota. Na dolivnem vložku se na enem delu vidi nepravilnost v gravuri, ker je pri fini mehanski obdelavi prišlo do loma rezkalnega orodja. Prav tako je prišlo do neželenega zareza v material. To napako smo poskušali ročno čimbolj odstraniti, ampak je še vedno vidna na končnem izdelku. Izmetalni vložek je bil izdelan zadovoljivo, dolivni vložek pa ima na zunanji obliki vidne napake, zaradi naknadne dodelave, ki ne vplivajo na učinkovitost izdelka, glede na njegovo funkcionalnost.

4.2 Rezultati in diskusija – brizgani izdelki

Brizgali smo izdelke z maso brizgalnega materiala približno 1 kg. Najprej smo klasično brizgali izdelke polipropilena, ter smo s količino mase dobili 16 izdelkov. Nato smo v posodo dodali granulat PP in granulat penila, jih ročno dobro premešali ter tako pripravili maso 2 % mešanice penila in brizgali izdelke, vendar smo zaradi prevelike posednosti ter nezadostnega zapolnjevanja gravure postopek predčasno prekinili. Dobili smo 7 izdelkov. Za tem smo na enak način pripravili mešanico s 5 % dodanega penila ter nabrizgali dodatnih 16 izdelkov, ki so bili zadovoljivi glede zapenjenosti, ter manjše posednosti ravnine na izdelkih. Izmerjena posednost ravnine je sicer še vedno kar visoka, ampak v primerjavi s klasičnim brizganjem zelo izboljšana. Zaradi dodatka penila se je zmanjšala tudi sama poraba materiala v povprečju 0,52 %. Pričakovano je bilo, da bo pri vzorcih s 5 % penila masa izdelka manjša kot pri 2 %, vendar je zaradi majhnega št. testiranih vzorcev z 2 % mešanico penila verjetno prišlo do napake meritev med vzorci zaradi jemanja povprečne mase vseh testnih vzorcev v posamezni šarži. Penjenje izdelkov je vsekakor dobrodošlo, kar se tiče porabe materiala ter zmanjševanja časa brizganja, glede na to, da se iz brizgalnega cikla izvzame čas naknadnega tlaka. Vendar je v našem primeru še vedno prisotna posednost izdelkov, ki je drastično manjša v primerjavi z nepenjenim izdelkom. Zelo vidne so tudi površinske napake na stenah, kot je na primer lise na površini od vidne smeri tečenja materiala. V našem primeru je prihajalo tudi do samovžiga materiala v gravuri, ali tako imenovanega "diesel" efekta. Rešitev za izogib te napake je v dodatnem odzračevanju gravure in z zniževanjem zapiralne sile.

5 SKLEP

Za izdelavo diplomskega dela smo dobili navodila za pripravo orodja za penjen izdelek. Od FTPO smo dobili model izdelka za katerega je treba to orodje izdelati ter informacijo o že izdelanem ohišju, oz. orodju. V to orodje smo morali izdelati nove gravurne vložke ter testirati brizganje izdelkov.

Za izdelavo orodja smo se odločili povprašati v podjetju kjer smo trenutno zaposleni. V podjetju so bili veseli sodelovanja z nami na tem projektu. Omogočili so nam dostop do potrebnih materialov in orodnega parka strojev za vse zahtevane obdelave. Izdelava vložkov je vzela kar nekaj časa, zaradi napak na strojih in tudi njihovo prezasedenostjo. Za izdelavo izmetalnih izvrtin nismo imeli na voljo stroja, zato smo izdelek poslali v kooperacijo zunanjemu izvajalcu za obdelavo.

Na koncu se je orodje testiralo na brizgalnem stroju, da se je dokazalo njegovo učinkovitost. Na brizganih izdelkih se je izvedla kontrola kakovosti ter še nekaj dodatnih fizičnih testov.

Izdelava diplomskega dela je bila kar obsežna, saj je bilo potrebno veliko različnih operacij oz. obdelav za izdelavo vložkov. Prav tako nas je zelo zavlačeval čas zasedenosti strojev v podjetju za samo izdelavo. Končni rezultat izdelkov je zadovoljiv ter tudi dovolj trpežen za brizganje velike količine izdelkov.

Brizgani izdelki so dosegli zadovoljiv rezultat, kar se tiče posedenosti izdelkov. Malo manj zadovoljivi so v optičnem smislu vizualnih napak.

Za nadaljevanje bi predlagali, da bi gravuro nadgradili z možnostjo spreminjanja debeline, tako da bi lahko izvajali raziskave v smeri vpliva različnih polnil in njihovih koncentracij v odvisnosti od debeline brizganega kosa.

SEZNAM LITERATURE IN VIROV

- [1] ©2002 - 2024 Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation, SOLIDWORKS | 3D CAD Design Software & PDM Systems, (2024). <https://www.solidworks.com/> (accessed June 15, 2024).
- [2] Oprema Ravne, Oprema Ravne | Proizvodnja pnevmatskih kladiv in tehnoloških linij, (2024). <https://www.opremaravne.si/> (accessed June 15, 2024).
- [3] © Hexagon AB and/or its subsidiaries, PC-DMIS | Hexagon, (2024). <https://hexagon.com/products/product-groups/measurement-inspection-software/metrology-software/pc-dmis> (accessed June 15, 2024).
- [4] Xindong. Zhu, Advanced structural foam injection molding technology: Use of a very low BA content for fine-celled HDPE foams, 2004. https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/117548/1/MR21445_OCR.pdf (accessed May 23, 2024).
- [5] D. Dias, C. Peixoto, R. Marques, C. Araújo, D. Pereira, P. Costa, V. Paulo, S. Cruz, Production of microcellular lightweight components with improved surface finish by technology combination: A review, International Journal of Lightweight Materials and Manufacture 5 (2022) 137–152. <https://doi.org/10.1016/J.IJLMM.2021.11.005>.
- [6] Trexel Inc., Home - Trexel Inc., (2024). <https://trexel.com/> (accessed June 15, 2024).
- [7] J. Antonio, R. Ruiz, M. Vincent, J.-F. Agassant, T. Sadik, C. Pillon, Polymer foaming with chemical blowing agents: Experiment and modeling, Polym Eng Sci 55 (2015) 2018. <https://doi.org/10.1002/pen.24044>.
- [8] Trexel Inc., Microcellular Foaming Technology for Injection Molding Industry MuCell ®, (2024). <https://trexel.com/wp-content/uploads/2019/08/Brochure-Corporate-1.pdf> (accessed June 15, 2024).
- [9] J. Avery, Gas-Assist Injection Molding: Principles and Applications, Hanser, Munich, 2001.
- [10] HPL Additives Limited, Azodicarbonamide Chemical Blowing Agents, (2024). <https://www.indiamart.com/proddetail/mikrofine-azodicarbonamide-chemical-blowing-agents-22049377212.html> (accessed June 24, 2024).
- [11] SYC Cylinders, Botella 14 L cargada 178 Nitrógeno - SYC Cylinders, (2024). <https://www.syc-cylinders.eu/en/shop/14-l-cylinder-178-n2-concave-for-industrial-nitrogen-gas-fulled/> (accessed June 24, 2024).
- [12] A.S. Dutta, Polyurethane Foam Chemistry, Recycling of Polyurethane Foams (2018) 17–27. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-51133-9.00002-4>.

-
- [13] D. V. Rosato, D. V. Rosato, M. V. Rosato, FOAMING, Plastic Product Material and Process Selection Handbook (2004) 333–368. <https://doi.org/10.1016/B978-185617431-2/50011-6>.
- [14] D.O. Kazmer, Injection Mold Design Engineering, in: D.O. Kazmer (Ed.), Injection Mold Design Engineering (Second Edition), Second Edition, Hanser, 2016: pp. I–XXIV. <https://doi.org/https://doi.org/10.3139/9781569905715.fm>.
- [15] D. Bhattarai Upadhyay, P. Thapa, N. Ghimire, Design, Analysis & Optimization of Injection Mold for Production of Plastic Safety Helmet, 2019. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17082.41922>.
- [16] RJG inc., Best Practices for Drying Plastic Resins - RJG, Inc., (2023). <https://rjginc.com/best-practices-for-drying-plastic-resins/> (accessed August 1, 2024).
- [17] BASF Plastics, Estimating cooling times in injection moulding Technical Information, (2024). https://pmttools-na.basf.com/quickcost/cooling_time_est.pdf (accessed August 1, 2024).
- [18] Invotec solutions limited, Moulding Machine Clamp Force Calculations : Invotec Solutions, (2024). <https://www.invotecsolutions.co.uk/moulding-machine-clamp-force-calculations/> (accessed August 11, 2024).
- [19] Meusburger Georg GmbH & Co KG, Normalije | Orodjarstvo I Strojegradnja I Meusburger, (2024). <https://www.meusburger.com/SL/SI/index> (accessed August 12, 2024).
- [20] SIJ Metal Ravne d.o.o, SITHERM 2344 Steel (Mat.No. 1.2344, DIN X40CrMoV51, AISI H13), (2023). <https://steelselector.sij.si/steels/UTOPMO2.html> (accessed July 6, 2024).
- [21] SIJ Ravne Systems d.o.o, Interna dokumentacija kalilnice SIJ Ravne Systems d.o.o, 2024.
- [22] Miheu d.o.o, Vakuusko kaljenje, (2022). <https://www.miheu.si/toplotna-obdelava/vakuusko-kaljenje> (accessed July 30, 2024).
- [23] KOM d.o.o, KOM d.o.o - izdelava in prodaja orodij, (2024). <http://komdoo.si/> (accessed August 9, 2024).
- [24] IQS Directory, EDM Machining: Components, Types, Applications, and Advantages, (2024). <https://www.iqsdirectory.com/articles/edm/edm-machining.html> (accessed August 11, 2024).
- [25] TotalEnergies, Supertough 22ST05 | Polymers, (2024). <https://polymers.totalenergies.com/supertough-22st05> (accessed August 14, 2024).
- [26] Nouryon, Expancel® thermoplastic microspheres - Nouryon, (2024). <https://www.nouryon.com/products/expancel-microspheres/> (accessed August 14, 2024).

-
- [27] © Hexagon AB and/or its subsidiaries, TIGO SF | Hexagon, (2024).
<https://hexagon.com/products/tigo-sf> (accessed August 23, 2024).

SEZNAM SLIK

Slika 1: Primer nastajanja penjene strukture [5]	2
Slika 2: Primer MuCell stroja [8]	4
Slika 3: Primer azodikarbonamida, kemičnega penila [10]	5
Slika 4: Primer dušika, fizikalnega penila [11]	5
Slika 5: Primer fizikalnih polnil [13]	6
Slika 6: Primer kemijskih penil [13]	7
Slika 7: Primer prereza orodja [14]	8
Slika 8: Proces snovanja orodja [14]	9
Slika 9: Primer odpiranja delilne ravnine [15]	10
Slika 10: Primer simulacije brizga [14]	12
Slika 11: 3D model izdelka	15
Slika 12: 3D model orodja	15
Slika 13: Fotografija izdelanega izmetalnega paketa	16
Slika 14: Primer tunelskega dolivka	17
Slika 15: Gravura z izdelkom in dolivkom	18
Slika 16: Eksplozijska slika orodja	18
Slika 17: Prvi rez materiala	20
Slika 18: Drugi rez materiala	21
Slika 19: Grobo rezkanje debeline ter pravokotnosti vložkov	21
Slika 20: Vpetje v primežu	22
Slika 21: Vpetje na pripravi na stroju	22
Slika 22: Grobo izdelani vložki	23
Slika 23: Grafični prikaz segrevanja vložkov na termični obdelavi [21]	23
Slika 24: Termično obdelani vložki	24
Slika 25: Brušenje spodnje strani vložkov	25
Slika 26: Brušenje delilne ravnine vložkov	25
Slika 27: Fina obdelava izmetalnega vložka	26
Slika 28: Fina obdelava dolivnega vložka	26
Slika 29: Prikaz postopka WEDM	27
Slika 30: Vpetje izdelka na žični eroziji	28
Slika 31: Prikaz obdelave EDM [24]	29

Slika 32: Izdelava dolivka na izmetalnem vložku	30
Slika 33: Montiran izmetalni del orodja	31
Slika 34: Montiran dolivni del orodja	32
Slika 35: Slika točke meritve in dimenzij za ročne meritve	34
Slika 36: Primer meritve izdelkov na merilnem stroju (meritve izvedene v mm)	35
Slika 37: Prikaz rezultata meritev pod mikroskopom	36
Slika 38: Prikaz prereza treh različnih testnih kosov	37
Slika 39: Tehnologija izdelave dolivnega vložka 1/3	49
Slika 40: Tehnologija izdelave dolivnega vložka 2/3	50
Slika 41: Tehnologija izdelave dolivnega vložka 3/3	51
Slika 42: Tehnologija izdelave izmetalnega vložka 1/3	52
Slika 43: Tehnologija izdelave izmetalnega vložka 2/3	53
Slika 44: Tehnologija izdelave izmetalnega vložka 3/3	54
Slika 45: PP + 5% pod mikroskopom	55
Slika 46: PP + 2% pod mikroskopom	55
Slika 47: PP pod mikroskopom	56
Slika 48: Meritev testnega izdelka št.4	56
Slika 49: Meritev testnega izdelka št.6	57
Slika 50: Meritev testnega izdelka št.7	57
Slika 51: Meritev testnega izdelka št.8	58
Slika 52: Meritev testnega izdelka št.10	58
Slika 53: Meritev testnega izdelka št.11	59
Slika 54: Meritev testnega izdelka št.12	59
Slika 55: Meritev testnega izdelka št.13	60
Slika 56: Meritev testnega izdelka št.14	60
Slika 57: Prikaz simulacije obdelave dolivnega vložka	61
Slika 58: Prikaz simulacije obdelave izmetalnega vložka	61
Slika 59: Simulacija izdelave dolivnega kanala na izmetalnem vložku	62
Slika 60: Simulacija zagrezitev izvrtin iz zadnje strani vložkov	62
Slika 61 : Simulacija fine obdelave dolivnega vložka	63
Slika 62: Simulacija fine obdelave izmetalnega vložka	63
Slika 63: Simulacija dodelave dolivnega vložka	64

Slika 64: Dolivni vložek	65
Slika 65: Izmetalni vložek	65
Slika 66: Dolivna izolacijska plošča	66
Slika 67: Izmetalna izolacijska plošča	66
Slika 68: Dolivna podložna plošča	67
Slika 69: Dolivna plošča	67
Slika 70: Izmetalna plošča	68
Slika 71: Podporna plošča	68
Slika 72: Izmetalna plošča spodnja	69
Slika 73: Spodnja izmetalna plošča	69
Slika 74: Zgornja izmetalna plošča	70
Slika 75: Sestava penjena ploščica	70

SEZNAM TABEL

Tabela 1: Tolerančno območje H, vrednosti v mikrometrih [2]	19
Tabela 2: Parametri žične erozije [23]	28
Tabela 3: Ročne meritve dimenzij testnih izdelkov	33
Tabela 4: Meritve odstopanj od nominalne mere 10mm	35
Tabela 5: Meritve posedenosti izdelkov s pomočjo mikroskopa (v mm)	36

SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV

ρ - gostota (kg/m^3),
 m - masa (kg),
 t - čas hlajenja (s),
 s - debelina stene (mm^2),
 a_{eff} - efektivna termalna difuzija,
 T_M - temperatura taline ($^{\circ}\text{C}$),
 T_E - temperatura izmeta ($^{\circ}\text{C}$),
 T_W - temperatura stene gravure ($^{\circ}\text{C}$),
 F_{zap} - zapiralna sila (N),
 vc - odrezilna hitrost (m/min),
 f - pomik na zob (mm/min).

SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

PBA - Physical blowing agents,
CBA - Chemical blowing agents,
SCF - Supercritical fluid,
PBA - Physical blowing agents,
FTPO - Fakulteta za tehnologijo polimerov,
CAD - Computer assisted design,
3D - three dimensional,
CNC - Computer numerical control,
PET - Polyethylene terephthalate,
HRC - Hardness Rockwell C,
EDM - Electric discharge machine,
WEDM - Wire electric discharge machine .

PRILOGE

Priloga 1: Tehnologija izdelave dolivnih vložkov

Oprema Ravne d.o.o.					SPREMNICA		Obrat: 51 Modul: 30	
Naročilo: 2240000 1		Naročnik: OPREMA RAVNE D.O.O.			Ident vl.: 19600			
Ident: 216983 Pogojnost:		Načrt:			Teža vl.: 0,00			
DN: 154551 0		Naziv:			Dim.vlož: 25X125X125			
		Kraj odpreme: 20		Naročeni kosi: 1		Vrsta DN: 50		
.....				Teža: 0 kg		Pl.datum začetka: 20.06.2024		
154886						Pl.datum zaključka: 31.07.2024		
ŠARŽA:		Mere: 2705024_001			Material: 1.2344			
SM	Oper.	Tipz	Ti	T	Tekst operacije			P
Ertna koda					Podrobno besedilo operacije			Tipi kont. post.
4503	10	0,000	0,000	0,000	IZDAJA MATERIALA-toleranco (H)9 beri h9			
.....								
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:		
45111	20	0,150	0,100	0,250	ŽAGANJE			
..... ŽAGATI NA MERE 25X125X125MM; MAT: 1.2344								
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:		
45412	30	1,000	1,000	2,000	CNC REZKANJE MAZAK			
..... REZKATI GOTOVO ZUNANJE MERE 125X125MM, Z RADIUSOM R11MM NA VOGALIH. REZKATI MERO 15+-0,05MM Z DODATKOM 0,25+-0,05MM NA STENO. IZ ENE STRANI PO CELOTNEM OBODU IZDELATI POSNETJE 1,5X45 STOPNJ								
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:		
45412	40	1,000	1,000	2,000	CNC REZKANJE MAZAK			
..... REZKATI GRAVURO Z DODATKOM 0,25+-0,05MM. REZKATI ODZRAČEVALNE KANALE Z DODATKOM 0,25+-0,05MM. GOTOVO IZDELATI IZVRTINE D6,6 TER POGLOBITEV D11MM V GLOBINO 6,8MM. PRI GLOBINI UPOŠTEVAJ DODATEK NA DEBELINI								
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:		
45912	50	0,100	0,100	0,200	OBROBKANJE			
..... RAZIGLITI POZICIJO								
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:		
4507	60	0,000	0,000	0,000	KONTROLA OBDELANIH MER.			
.....								
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:		

Slika 39: Tehnologija izdelave dolivnega vložka 1/3

Oprema Ravne d.o.o.					SPREMNICA		Obrat: 51 Modul: 30
Naročilo: 2240000 1		Naročnik: OPREMA RAVNE D.O.O.			Ident. vl.: 19600		
Ident: 216983 Pogojnost:		Načrt:			Teža vl.: 0,00		
DN: 154551 0		Naziv:			Dim.vlož: 25X125X125		
.....		Kraj odpreme: 20		Naročeni kosi: 1		Vrsta DN: 50	
154886				Teža: 0 kg		Pl.datum začetka: 20.06.2024	
						Pl.datum zaključka: 31.07.2024	
ŠARŽA:		Mere: 2705024_001			Material: 1.2344		
SM	Oper.	Tpz	Ti	T	Tekst operacije		P
Ertna koda		Podrobno besedilo operacije				P	Tipi kont. post.
35	70	0,000	0,000	0,000	KALJENJE		
.....		KALITINA 52-54HRC					
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:	
45801	80	0,300	0,300	0,600	PLOŠEINSKO BRUŠENJE		
.....		BRUSITI PLOŠEINO IZ OBEH STRANI NA MERO 15+-0,05MM. BRUSITI NA ZGORNJO MEJO TOLEARANCE.					
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:	
45412	90	1,000	0,400	1,400	CNC REZKANJE MAZAK		
.....		GOTOVO REZKATI GRAVURO IN ODZRAČEVALNE KANALE. UPOŠTEVAJ DA SE POZICIJA PO REZKANJU ŠE MINIMALNO PREBRUSI.					
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:	
45801	100	0,300	0,100	0,400	PLOŠEINSKO BRUŠENJE		
.....		MINIMALNO PREGLADITI PLOŠEINO S STRANI OBDELAVE RA=0,8					
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:	
45912	110	0,100	0,100	0,200	OBROBKANJE		
.....		RAZIGLITI IN OČISTITI					
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:	
4507	120	0,000	0,000	0,000	KONTROLA OBDELANIH MER.		
.....							
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:	

Slika 40: Tehnologija izdelave dolivnega vložka 2/3

Oprema Ravne d.o.o.				SPREMNICA				Obrat: 51 Modul: 30	
Naročilo: 2240000 1		Naročnik: OPREMA RAVNE D.O.O.		Ident. vl.: 19600					
Ident: 216983 Pogojnost:		Načrt:		Teža vl.: 0,00					
DN: 154551 0		Naziv:		Dim.vlož: 25X125X125					
..... 154886		Kraj odpreme: 20		Naročeni kosi: 1		Vrsta DN: 50			
				Teža: 0 kg		Pl.datum začetka: 20.06.2024			
						Pl.datum zaključka: 31.07.2024			
ŠARŽA:		Mere: 2705024_001		Material: 1.2344					
SM	Oper.	Tipz	Ti	T	Tekst operacije			P	Tipi kont. post.
Ertna koda		Podrobno besedilo operacije							
45	130	0,000	0,000	0,000	ODPREMA-ZAŠČITITI PROTI KOROZIJ				
.....									
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:			
45	140	0,000	0,000	0,000	TEHNOLOG-PRIKERŽNIK				
.....									
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:			
Tehnolog:					Tehnologijo kontroliral:				
Delne odpreme						Končna odprema			
kos	datum	podpis	kos	datum	podpis	kos	datum	podpis	
OPOMBA:									
Šifra MP	Oznaka materiala	Dimenzija		EM	Količina	Št. kosov			
19600	1.2344	25X125X125		KG	3,10	1			

Slika 41: Tehnologija izdelave dolivnega vložka 3/3

Priloga 2: Tehnologija izdelave izmetalnih vložkov

Oprema Ravne d.o.o.					SPREMNICA		Obrat: 51 Modul: 30
Naročilo: 2240000 1		Naročnik: OPREMA RAVNE D.O.O.		Ident vl.: 19600			
Ident: 216984 Pogojnost:		Načrt: *****		Teža vl.: 0,00			
DN: 154552 0		Naziv: *****		Dim.vlož: 32X125X125			
Kraj odpreme: 20		Naročeni kosi: 1		Vrsta DN: 50			
● ● ● ● ● ● ● ● 154887		Teža: 0 kg		Pl.datum začetka: 20.06.2024			
				Pl.datum zaključka: 31.07.2024			
ŠARŽA:		Mere: 2705024_002		Material: 1.2344			
SM	Oper.	Tpz	Ti	T	Tekst operacije	P	
Šifra koda		Podrobno besedilo operacije				Tipi kont. post.	
4503	10	0,000	0,000	0,000	IZDAJA MATERIALA-toleranco (H)9 beri h9		
● ● ● ● ● ● ● ●							
Prevzel: _____		Izdelal: _____		Dobri k.: _____		Slabi k.: _____	
45111	20	0,150	0,100	0,250	ŽAGANJE		
● ● ● ● ● ● ● ●							
ŽAGATI NA MERE 32X125X125MM; MAT: 1.2344							
Prevzel: _____		Izdelal: _____		Dobri k.: _____		Slabi k.: _____	
45412	30	1,000	1,000	2,000	CNC REZKANJE MAZAK		
● ● ● ● ● ● ● ●							
REZKATI GOTOVO ZUNANJE MERE 125X125MM, Z RADIUSOM R11MM NA VOGALIH. REZKATI MERO 22+-0,05MM Z DODATKOM 0,25+-0,05MM NA STENO. IZ ENE STRANI PO CELOTNEM OBODU IZDELATI POSNETJE 1,5X45 STOPINJ							
Prevzel: _____		Izdelal: _____		Dobri k.: _____		Slabi k.: _____	
45412	40	1,600	1,500	3,100	CNC REZKANJE MAZAK		
● ● ● ● ● ● ● ●							
REZKATI UTORA 60,72X60,72MM IN KONIČNI UTOR Z DOD 0,25+-0,05MM. REZKATI ODZRAČEVALNE KANALE Z DODATKOM 0,25+-0,05MM. IZ STRANI IZDELATI DOLIVNI KANAL NA GOTOVE MERE. GOTOVO IZDELATI IZVRTINE D6,6MM TER POGLOBITEV D11MM V GLOBINO 6,8MM. PRI GLOBINI UPOŠTEVAJ DODATEK NA DEBELINI. PREDVRTATI IZVRTINI D8H7 IN D4H7.							
Prevzel: _____		Izdelal: _____		Dobri k.: _____		Slabi k.: _____	
45912	50	0,100	0,100	0,200	OBROBKANJE		
● ● ● ● ● ● ● ●							
RAZIGLITI POZICIJO							
Prevzel: _____		Izdelal: _____		Dobri k.: _____		Slabi k.: _____	
4507	60	0,000	0,000	0,000	KONTROLA OBDELANIH MER.		
● ● ● ● ● ● ● ●							
Prevzel: _____		Izdelal: _____		Dobri k.: _____		Slabi k.: _____	

Slika 42: Tehnologija izdelave izmetalnega vložka 1/3

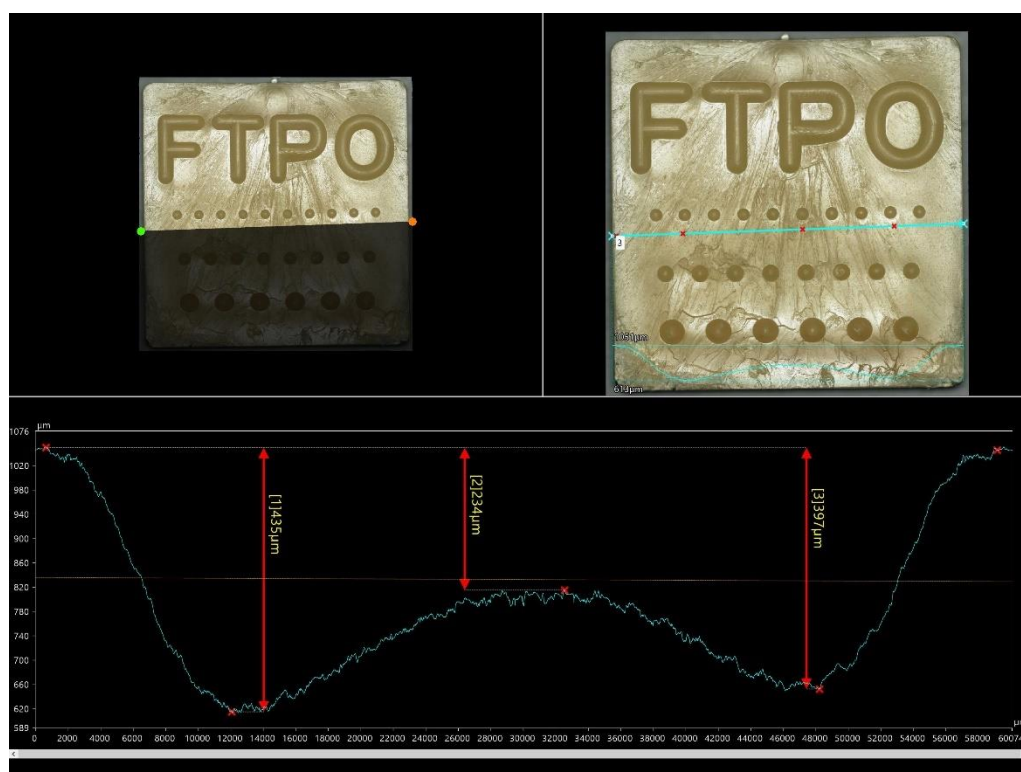
Oprema Ravne d.o.o.					SPREMNICA		Obnat: 51 Modul: 30		
Naročilo: 2240000 1		Naročnik: OPREMA RAVNE D.O.O.			Ident. vl.: 19600				
Ident: 216984 Pogojnost:		Načrt:			Teža vl.: 0,00				
DN: 154552 0		Naziv:			Dim.vlož: 32X125X125				
.....		Kraj odpreme: 20		Naročeni kosi: 1		Vrsta DN: 50			
154887				Teža: 0 kg		Pl.datum začetka: 20.06.2024			
						Pl.datum zaključka: 31.07.2024			
ŠARŽA:		Mere: 2705024_002			Material: 1.2344				
SM	Oper.	Tipz	Ti	T	Tekst operacije			P	Tipi kont. post.
Ėrtma koda					Podrobno besedilo operacije				
35	70	0,000	0,000	0,000	KALJENJE				
.....		KALITI NA 52-54HRC							
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:			
45801	80	0,300	0,300	0,600	PLOŠĖINSKO BRUŠENJE				
.....		BRUSITI PLOŠĖINO IZ OBEH STRANI NA MERO 22+/-0,05MM. BRUSITI NA ZGORNJO MEJO TOLEARANCE.							
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:			
45412	90	1,000	1,000	2,000	CNC REZKANJE MAZAK				
.....		GOTOVO REZKATI UTORA TER ODZRAĖĖVALNE KANALE. UPOŠTEVAJ DA SE POZICIJA PO REZKANJU ŠE MINIMALNO PREBRUSI.							
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:			
45801	100	0,300	0,100	0,400	PLOŠĖINSKO BRUŠENJE				
.....		MINIMALNO PREGLADITI PLOŠĖINO S STRANI OBDELAVE RA=0,8							
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:			
45912	110	0,100	0,100	0,200	OBROBKANJE				
.....		RAZIGLITI IN OĖISTITI							
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:			
4507	120	0,000	0,000	0,000	KONTROLA OBDELANIH MER.				
.....									
Prevzel:		Izdelal:		Dobri k.:		Slabi k.:			

Slika 43: Tehnologija izdelave izmetalnega vložka 2/3

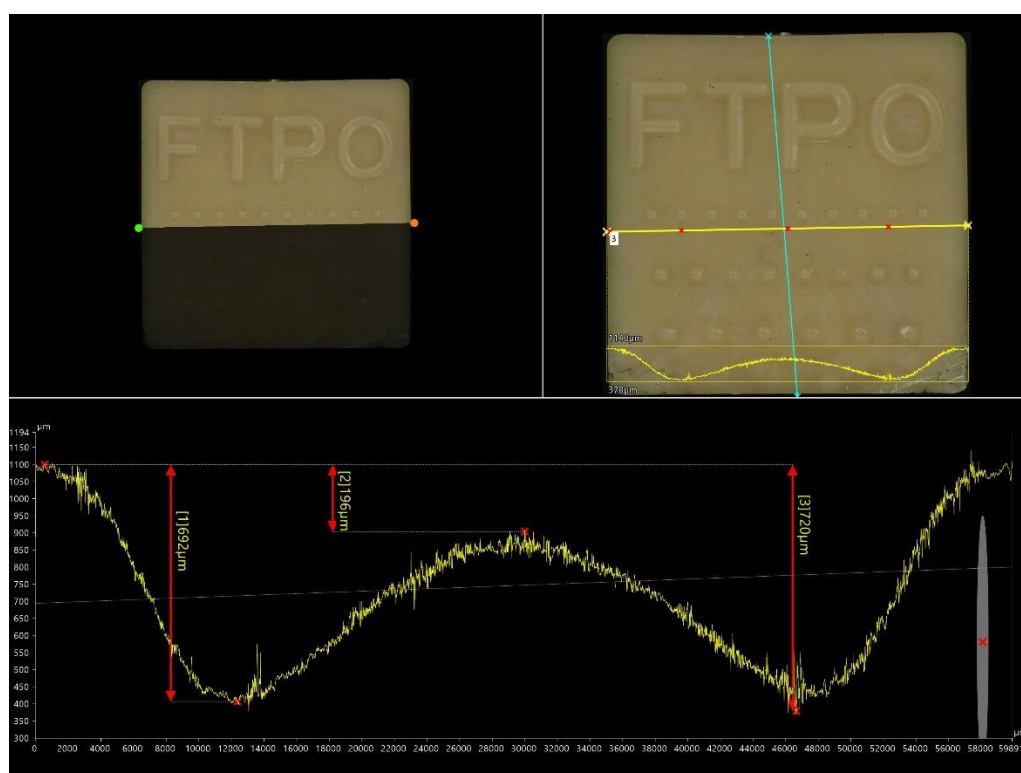
Oprema Ravne d.o.o.					SPREMNICA					Obrat: 51 Modul: 30	
Naročilo: 2240000 1			Naročnik: OPREMA RAVNE D.O.O.			Ident vl.: 19600					
Ident: 216984 Pogojnost:			Načrt: *****			Teža vl.: 0,00					
DN: 154552 0			Naziv: *****			Dim.vlož: 32X125X125					
			Kraj odpreme: 20			Naročeni kosi: 1			Vrsta DN: 50		
● ● ● ● ● ● ● ●						Teža: 0 kg			Pl.datum začetka: 20.06.2024		
154887									Pl.datum zaključka: 31.07.2024		
ŠARŽA:			Mere: 2705024_002			Material: 1.2344					
SM	Oper.	Tpz	Ti	T	Tekst operacije			P	Tipi kont. post.		
Štarna koda		Podrobno besedilo operacije									
35		122	0,000	0,000	0,000	KOOPERACIJA SPLOŠNO					
● ● ● ● ● ● ● ●		Z EROZIJO IZDELATI DOLIVNI KANAL TER IZVRTINE 8H7 IN 4H7									
Prevzel: _____		Izdelal: _____		Dobri k.: _____		Slabi k.: _____					
4507		125	0,000	0,000	0,000	KONTROLA OBDELANIH MER.					
● ● ● ● ● ● ● ●											
Prevzel: _____		Izdelal: _____		Dobri k.: _____		Slabi k.: _____					
45		130	0,000	0,000	0,000	ODPREMA-ZAŠČITITI PROTI KOROZIJ					
● ● ● ● ● ● ● ●											
Prevzel: _____		Izdelal: _____		Dobri k.: _____		Slabi k.: _____					
45		140	0,000	0,000	0,000	TEHNOLOG:PRIKERŽNIK					
● ● ● ● ● ● ● ●											
Prevzel: _____		Izdelal: _____		Dobri k.: _____		Slabi k.: _____					
Tehnolog:					Tehnologijo kontroliral:						
Delne odpreme						Končna odprema					
kos	datum	podpis	kos	datum	podpis	kos	datum	podpis			
OPOMBA:											
Šifra MP	Oznaka materiala	Dimenzija			EM	Količina	Št. kosov				
19600	1.2344	32X125X125			KG	3,93	1				

Slika 44: Tehnologija izdelave izmetalnega vložka 3/3

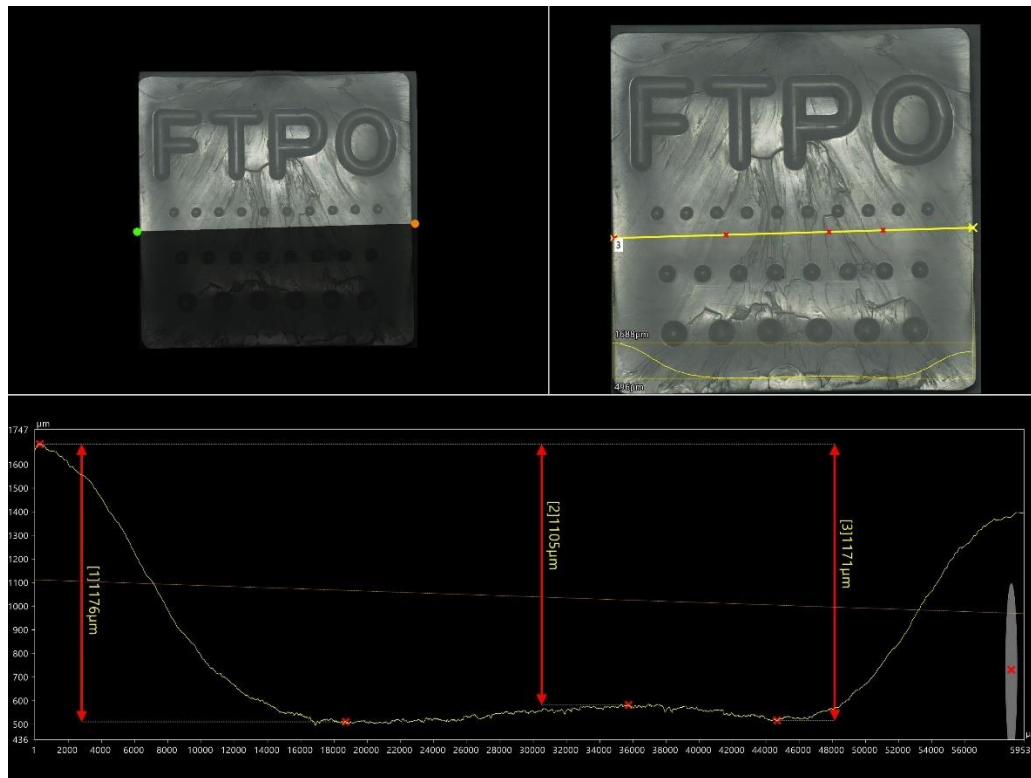
Priloga 3: Meritve izdelkov



Slika 45: PP + 5% pod mikroskopom



Slika 46: PP + 2% pod mikroskopom



Slika 47: PP pod mikroskopom

Pc		PART NAME : Test brizganih kosov				avgust 23, 2024		13:12	
		REV NUMBER : Kos 4		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PLN1 TO PNT2 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.955	-0.045	0.000	
↔		MM	DIST2 - PLN1 TO PNT3 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.671	-0.329	0.129	
↔		MM	DIST3 - PLN1 TO PNT4 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.788	-0.212	0.012	
↔		MM	DIST4 - PLN1 TO PNT5 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.748	-0.252	0.052	
↔		MM	DIST5 - PLN1 TO PNT6 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.810	-0.190	0.000	
↔		MM	DIST6 - PLN1 TO PNT7 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.556	-0.444	0.244	
↔		MM	DIST7 - PLN1 TO PNT8 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.669	-0.331	0.131	

Slika 48: Meritev testnega izdelka št.4

Pc		PART NAME : Test brizganih kosov				avgust 23, 2024		13:14	
		REV NUMBER : Kos 6		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PLN1 TO PNT2 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.944	-0.056	0.000	
↔		MM	DIST2 - PLN1 TO PNT3 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.619	-0.381	0.181	
↔		MM	DIST3 - PLN1 TO PNT4 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.757	-0.243	0.043	
↔		MM	DIST4 - PLN1 TO PNT5 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.690	-0.310	0.110	
↔		MM	DIST5 - PLN1 TO PNT6 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.736	-0.264	0.064	
↔		MM	DIST6 - PLN1 TO PNT7 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.469	-0.531	0.331	
↔		MM	DIST7 - PLN1 TO PNT8 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.536	-0.464	0.264	

Slika 49: Meritev testnega izdelka št.6

Pc		PART NAME : Test brizganih kosov				avgust 23, 2024		13:11	
		REV NUMBER : Kos 7		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PLN1 TO PNT2 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.947	-0.053	0.000	
↔		MM	DIST2 - PLN1 TO PNT3 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.560	-0.440	0.240	
↔		MM	DIST3 - PLN1 TO PNT4 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.704	-0.296	0.096	
↔		MM	DIST4 - PLN1 TO PNT5 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.618	-0.382	0.182	
↔		MM	DIST5 - PLN1 TO PNT6 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.696	-0.304	0.104	
↔		MM	DIST6 - PLN1 TO PNT7 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.377	-0.623	0.423	
↔		MM	DIST7 - PLN1 TO PNT8 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL		+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M		10.000		0.200	-0.200	9.555	-0.445	0.245	

Slika 50: Meritev testnega izdelka št.7

Pc		PART NAME : Test brizganih kosov				avgust 23, 2024		13:17	
		REV NUMBER : Kos 8		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PLN1 TO PNT2 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.948	-0.052	0.000		
↔		MM	DIST2 - PLN1 TO PNT3 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.569	-0.431	0.231		
↔		MM	DIST3 - PLN1 TO PNT4 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.688	-0.312	0.112		
↔		MM	DIST4 - PLN1 TO PNT5 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.632	-0.368	0.168		
↔		MM	DIST5 - PLN1 TO PNT6 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.732	-0.268	0.068		
↔		MM	DIST6 - PLN1 TO PNT7 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.477	-0.523	0.323		
↔		MM	DIST7 - PLN1 TO PNT8 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.529	-0.471	0.271		

Slika 51: Meritev testnega izdelka št.8

Pc		PART NAME : Test brizganih kosov				avgust 23, 2024	13:15
		REV NUMBER : Kos 10		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PLN1 TO PNT2 (ZAXIS)					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.951	-0.049	0.000
↔	MM	DIST2 - PLN1 TO PNT3 (ZAXIS)					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.610	-0.390	0.190
↔	MM	DIST3 - PLN1 TO PNT4 (ZAXIS)					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.738	-0.262	0.062
↔	MM	DIST4 - PLN1 TO PNT5 (ZAXIS)					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.710	-0.290	0.090
↔	MM	DIST5 - PLN1 TO PNT6 (ZAXIS)					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.781	-0.219	0.019
↔	MM	DIST6 - PLN1 TO PNT7 (ZAXIS)					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.486	-0.514	0.314
↔	MM	DIST7 - PLN1 TO PNT8 (ZAXIS)					
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M		10.000	0.200	-0.200	9.595	-0.405	0.205

Slika 52: Meritev testnega izdelka št.10

Pc		PART NAME : Test brizganih kosov				avgust 23, 2024		13:07		
		REV NUMBER: Kos 11			SER NUMBER:			STATS COUNT: 1		
↔		MM	DIST1 - PLN1 TO PNT2 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M		10.000	0.200	-0.200	9.946	-0.054	0.000			
↔		MM	DIST2 - PLN1 TO PNT3 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M		10.000	0.200	-0.200	9.673	-0.327	0.127			
↔		MM	DIST3 - PLN1 TO PNT4 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M		10.000	0.200	-0.200	9.816	-0.184	0.000			
↔		MM	DIST4 - PLN1 TO PNT5 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M		10.000	0.200	-0.200	9.806	-0.194	0.000			
↔		MM	DIST5 - PLN1 TO PNT6 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M		10.000	0.200	-0.200	9.877	-0.123	0.000			
↔		MM	DIST6 - PLN1 TO PNT7 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M		10.000	0.200	-0.200	9.610	-0.390	0.190			
↔		MM	DIST7 - PLN1 TO PNT8 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M		10.000	0.200	-0.200	9.690	-0.310	0.110			

Slika 53: Meritev testnega izdelka št. 11

Pc		PART NAME : Test brizganih kosov				avgust 23, 2024		13:09	
		REV NUMBER: Kos 12		SER NUMBER:			STATS COUNT: 1		
↔	MM	DIST1 - PLN1 TO PNT2 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.969	-0.031	0.000		
↔	MM	DIST2 - PLN1 TO PNT3 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.687	-0.313	0.113		
↔	MM	DIST3 - PLN1 TO PNT4 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.819	-0.181	0.000		
↔	MM	DIST4 - PLN1 TO PNT5 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.793	-0.207	0.007		
↔	MM	DIST5 - PLN1 TO PNT6 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.831	-0.169	0.000		
↔	MM	DIST6 - PLN1 TO PNT7 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.592	-0.408	0.208		
↔	MM	DIST7 - PLN1 TO PNT8 (ZAXIS)							
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.633	-0.367	0.167		

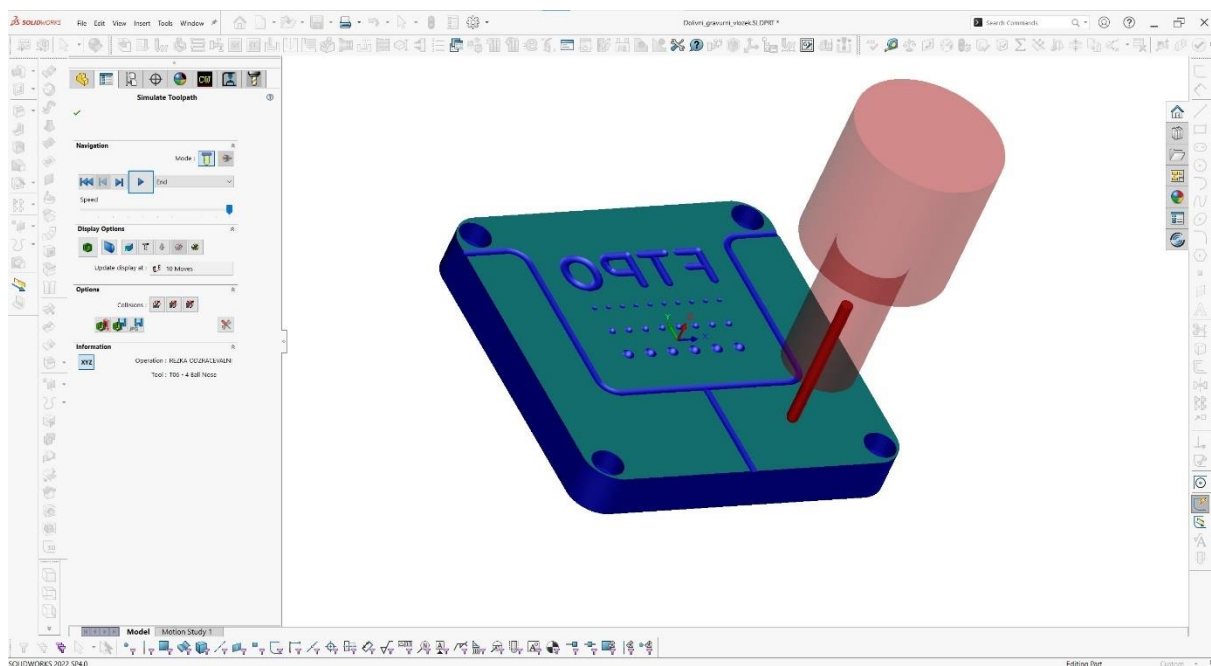
Slika 54: Meritev testnega izdelka št. 12

Pc		PART NAME : Test brizganih kosov				avgust 23, 2024		13:02	
		REV NUMBER : Kos 13		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PLN1 TO PNT2 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.986	-0.014	0.000		
↔		MM	DIST2 - PLN1 TO PNT3 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.761	-0.239	0.039		
↔		MM	DIST3 - PLN1 TO PNT4 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.873	-0.127	0.000		
↔		MM	DIST4 - PLN1 TO PNT5 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.824	-0.176	0.000		
↔		MM	DIST5 - PLN1 TO PNT6 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.848	-0.152	0.000		
↔		MM	DIST6 - PLN1 TO PNT7 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.655	-0.345	0.145		
↔		MM	DIST7 - PLN1 TO PNT8 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.691	-0.309	0.109		

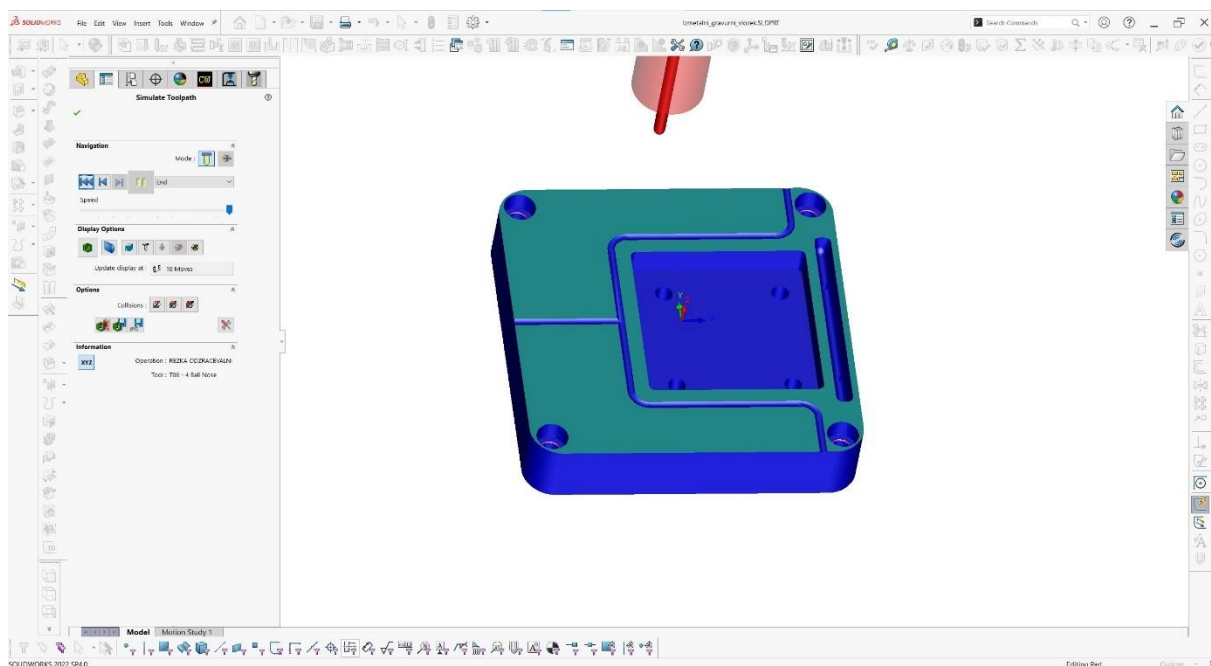
Slika 55: Meritev testnega izdelka št. 13

Pc		PART NAME : Test brizganih kosov				avgust 23, 2024		13:06	
		REV NUMBER : Kos 14		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PLN1 TO PNT2 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.962	-0.038	0.000		
↔		MM	DIST2 - PLN1 TO PNT3 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.688	-0.312	0.112		
↔		MM	DIST3 - PLN1 TO PNT4 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.799	-0.201	0.001		
↔		MM	DIST4 - PLN1 TO PNT5 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.749	-0.251	0.051		
↔		MM	DIST5 - PLN1 TO PNT6 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.786	-0.214	0.014		
↔		MM	DIST6 - PLN1 TO PNT7 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.560	-0.440	0.240		
↔		MM	DIST7 - PLN1 TO PNT8 (ZAXIS)						
AX		NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
M		10.000	0.200	-0.200	9.614	-0.386	0.186		

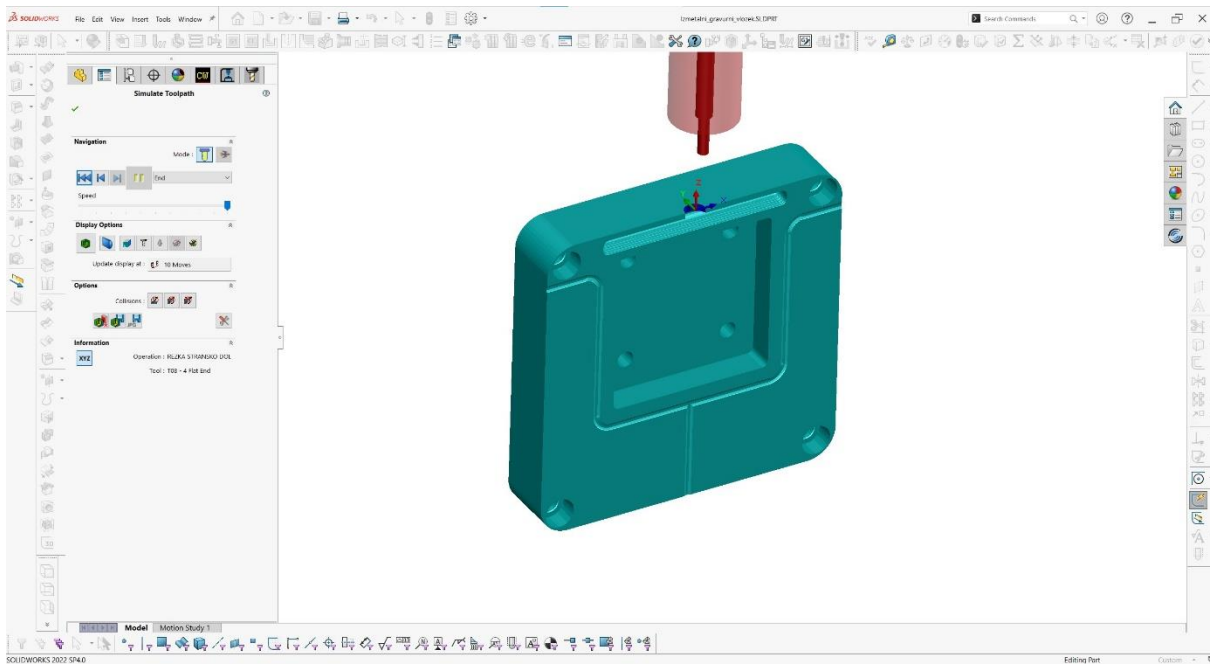
Slika 56: Meritev testnega izdelka št. 14

Priloga 4: Slike CNC obdelave

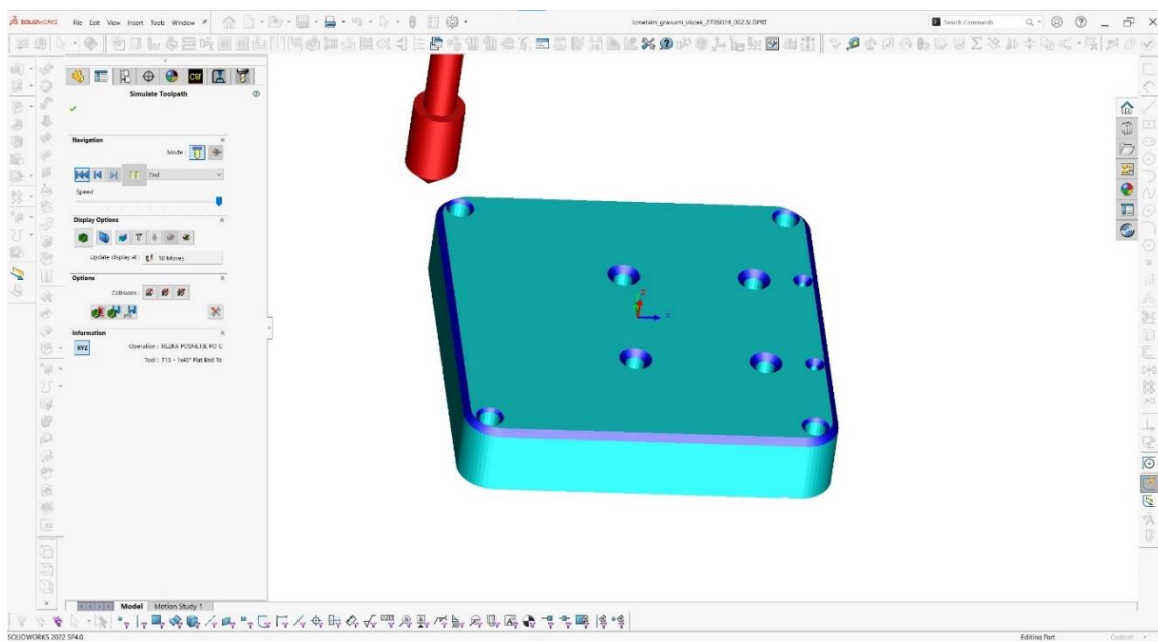
Slika 57: Prikaz simulacije obdelave dolivnega vložka



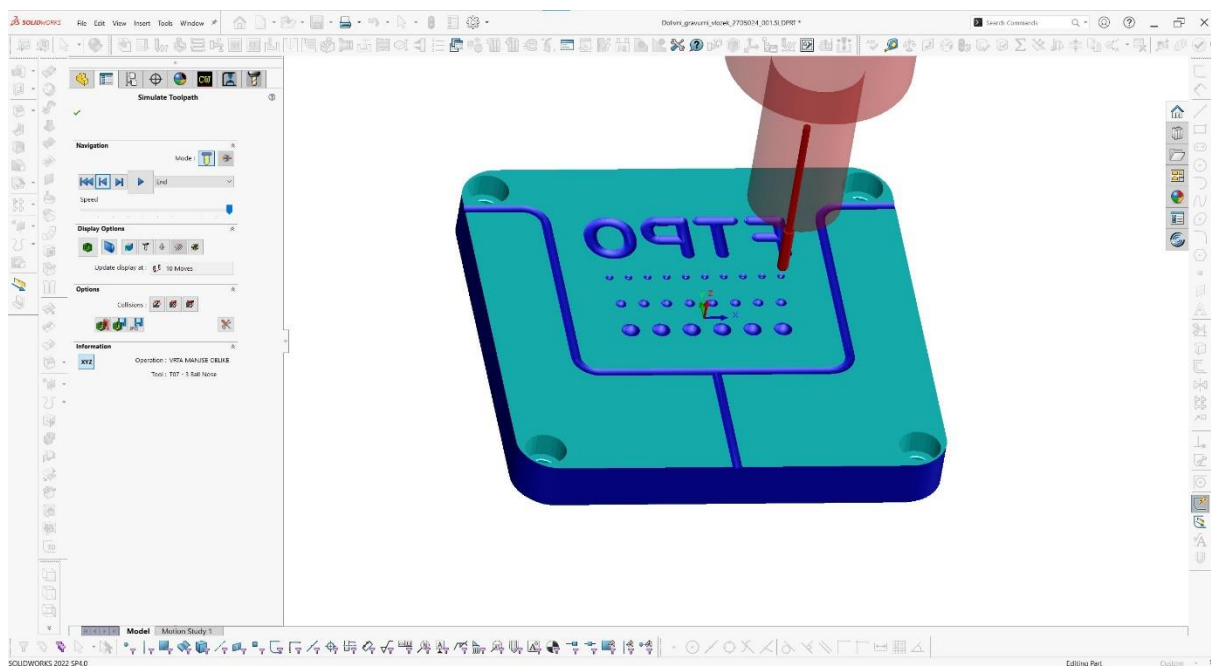
Slika 58: Prikaz simulacije obdelave izmetalnega vložka



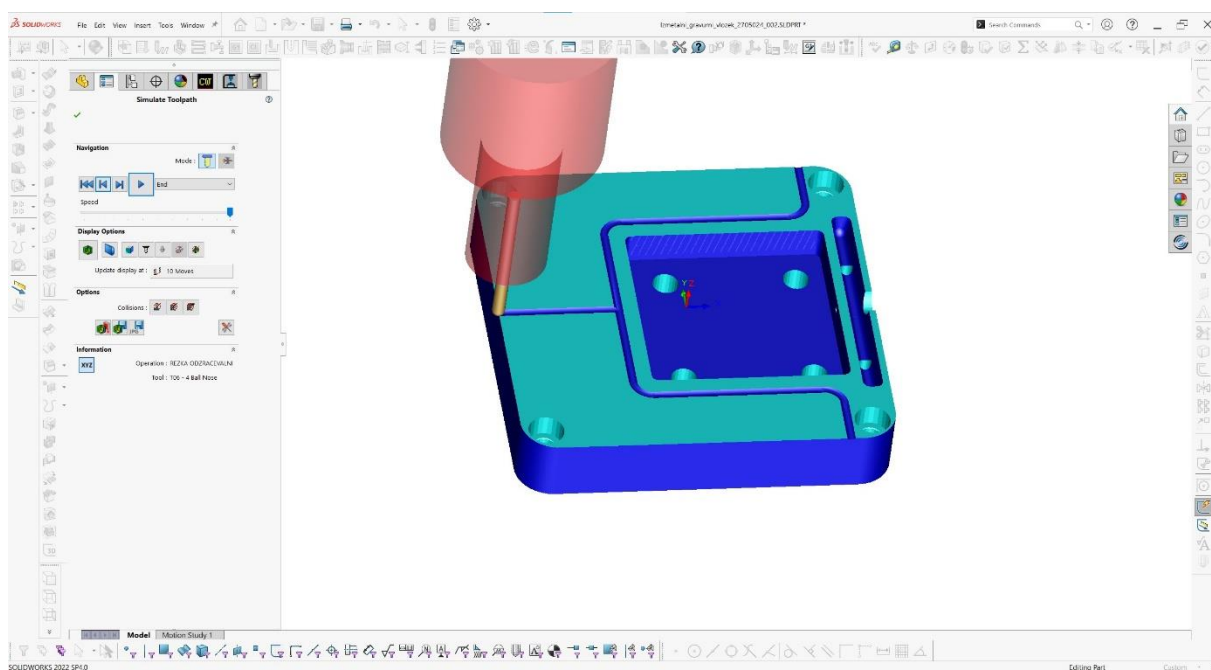
Slika 59: Simulacija izdelave dolivnega kanala na izmetalnem vložku



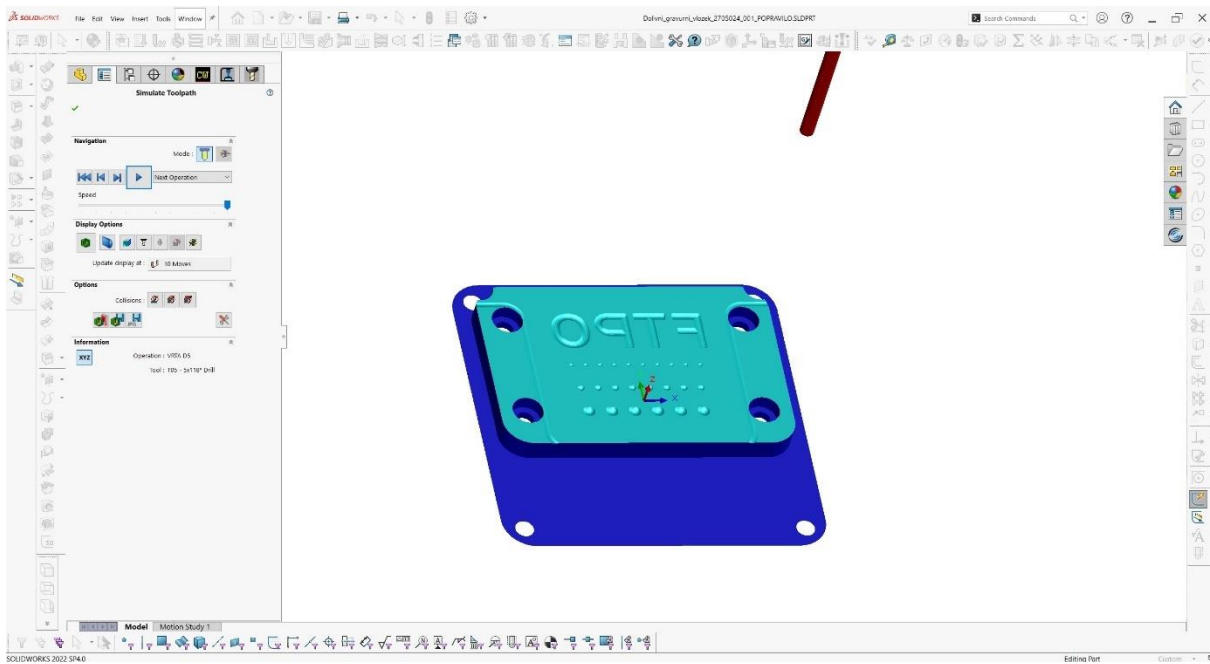
Slika 60: Simulacija zagrezitev izvrtin iz zadnje strani vložkov



Slika 61 : Simulacija fine obdelave dolivnega vložka

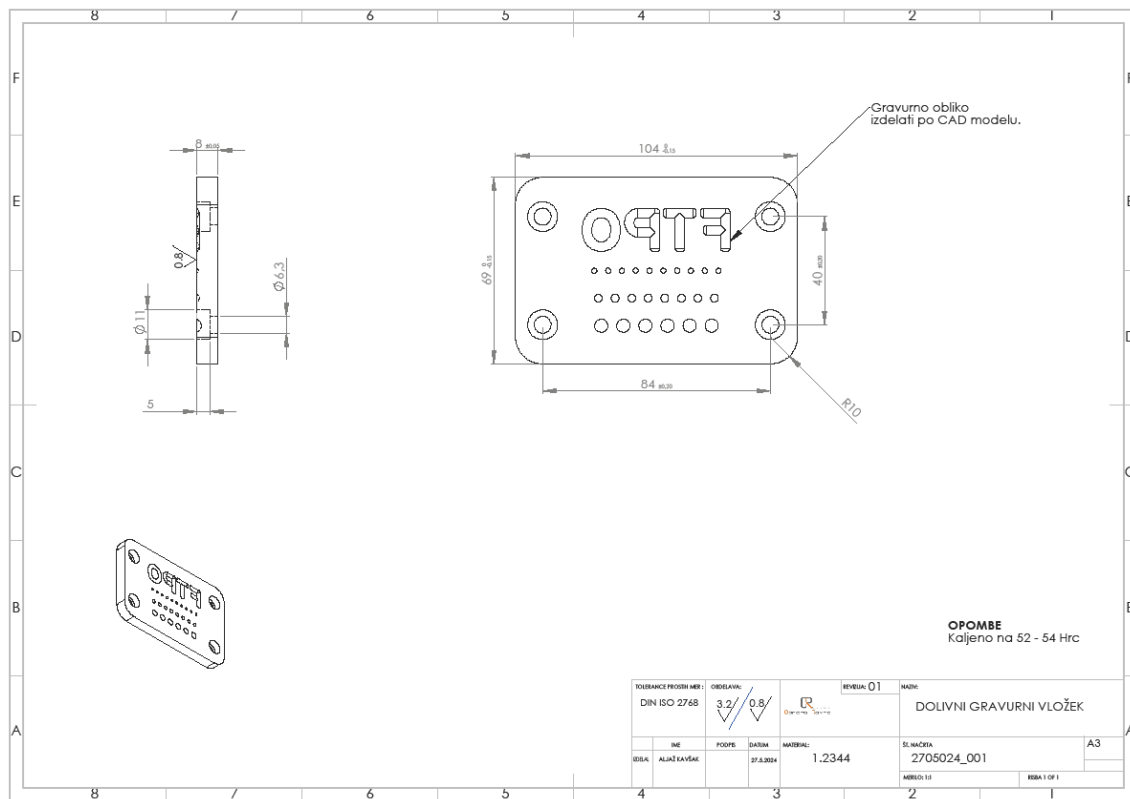


Slika 62: Simulacija fine obdelave izmetalnega vložka

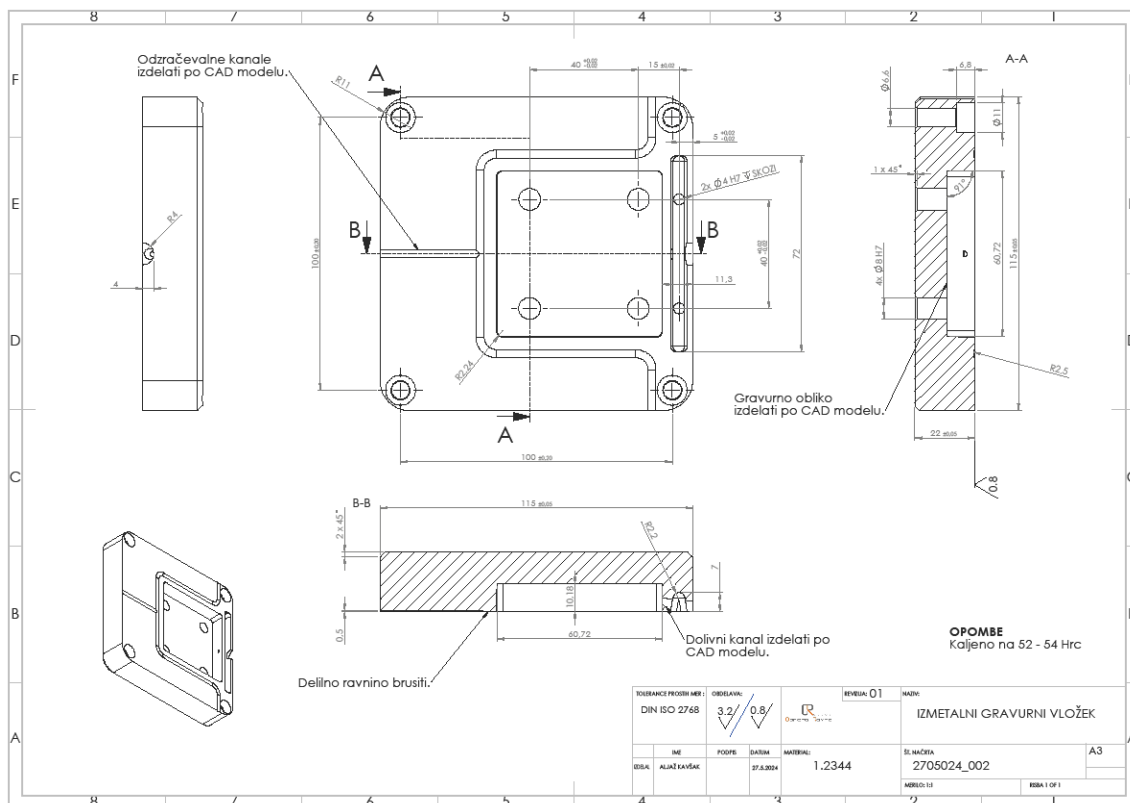


Slika 63: Simulacija dodelave dolivnega vložka

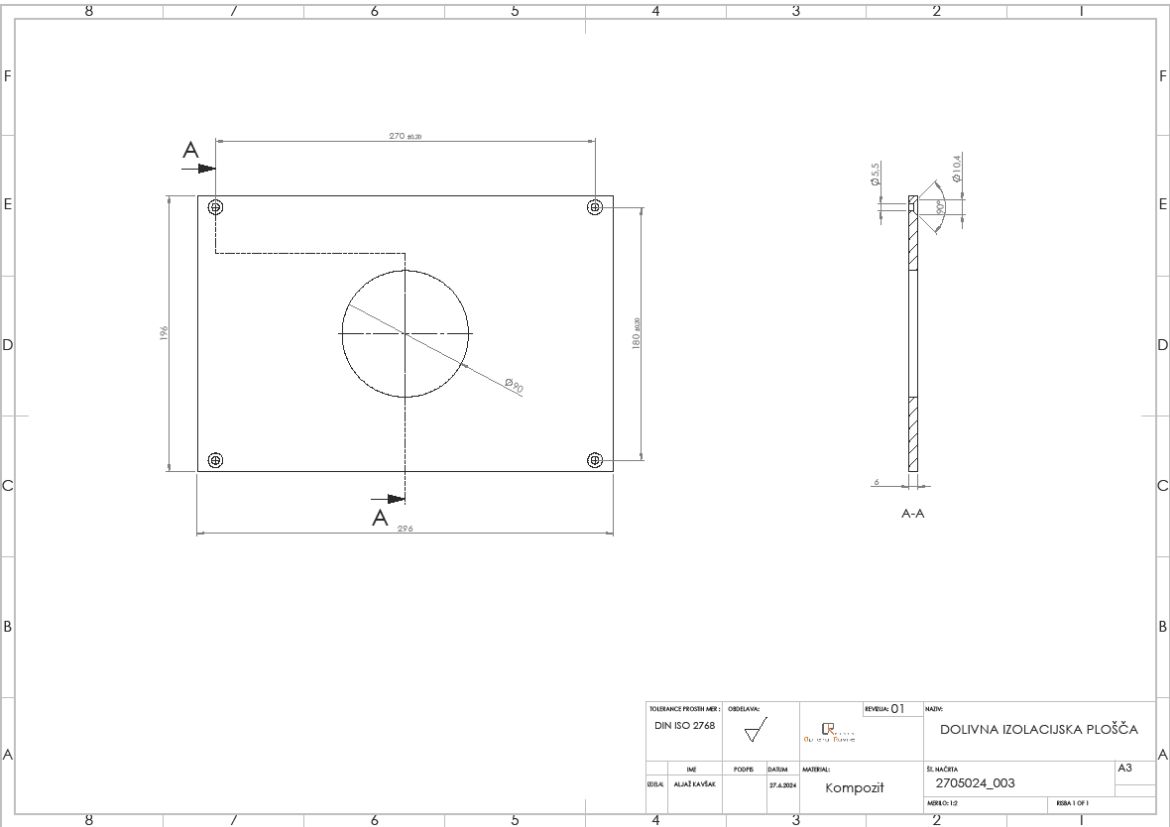
Priloga 5: Tehnična dokumentacija orodja



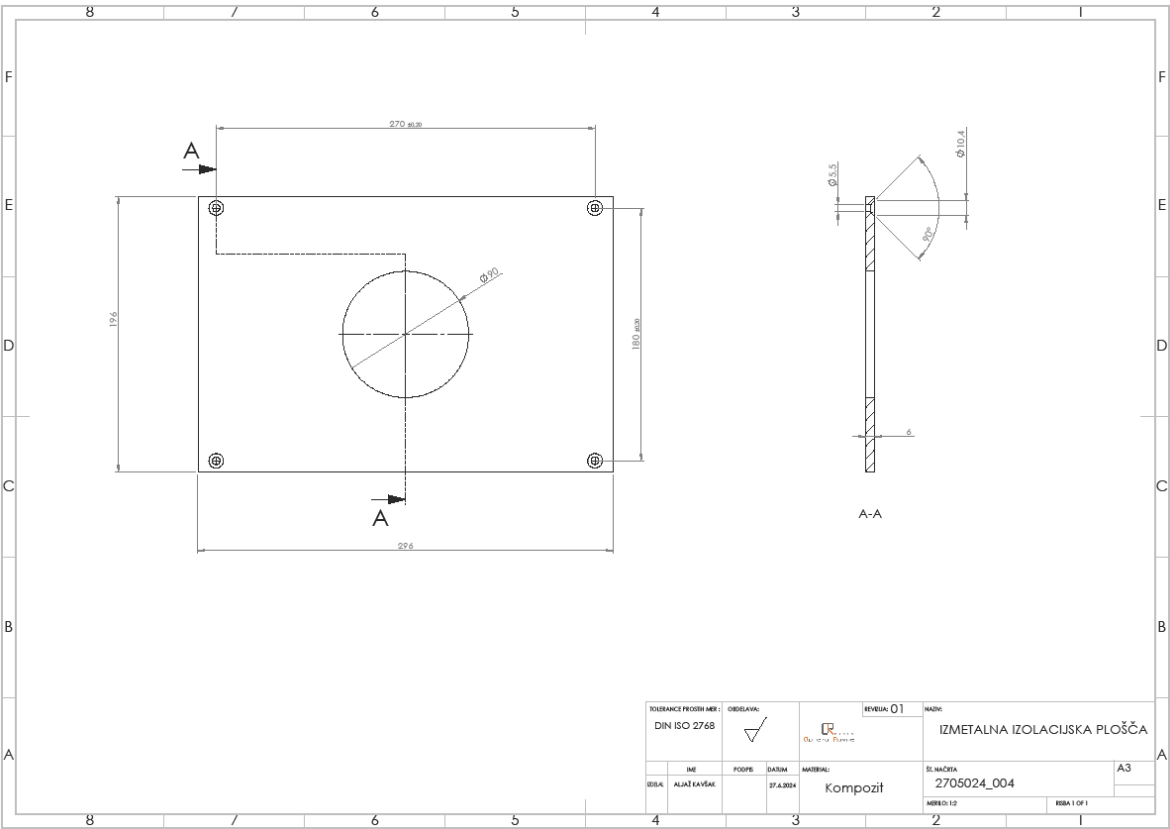
Slika 64: Dolivni vložek



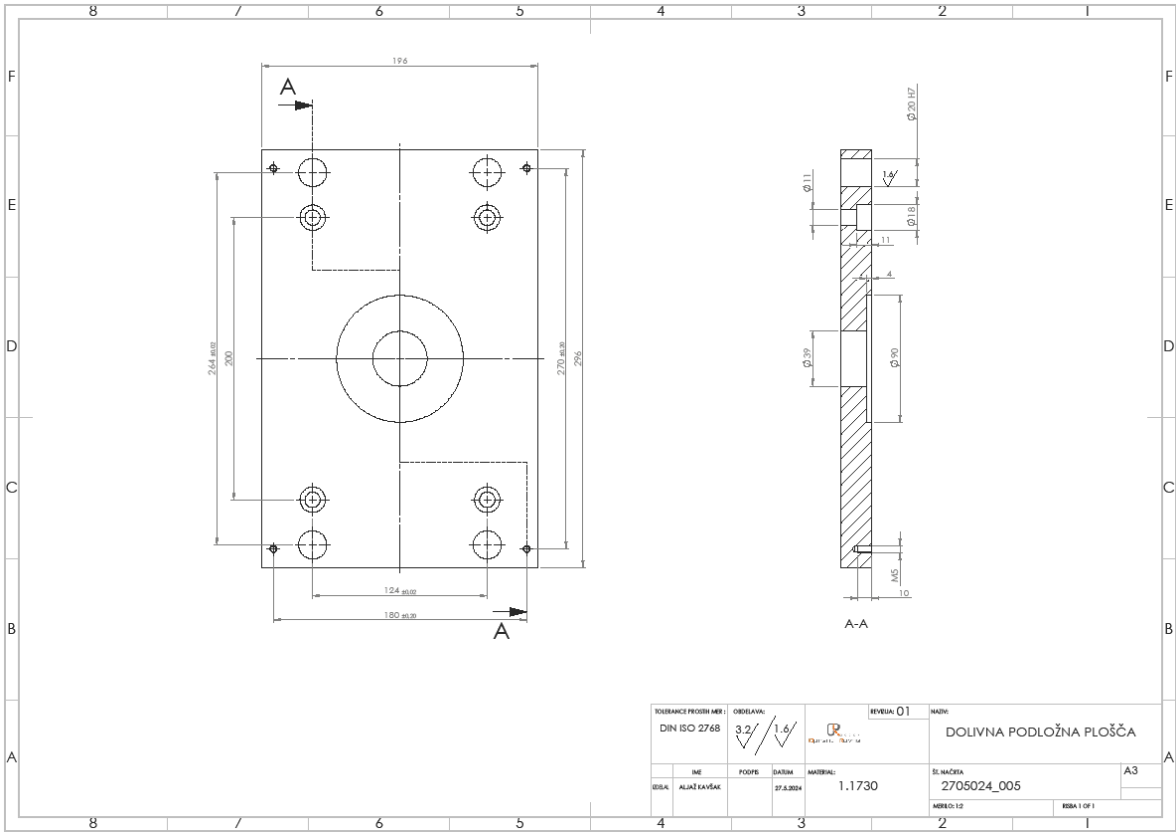
Slika 65: Izmetalni vložek



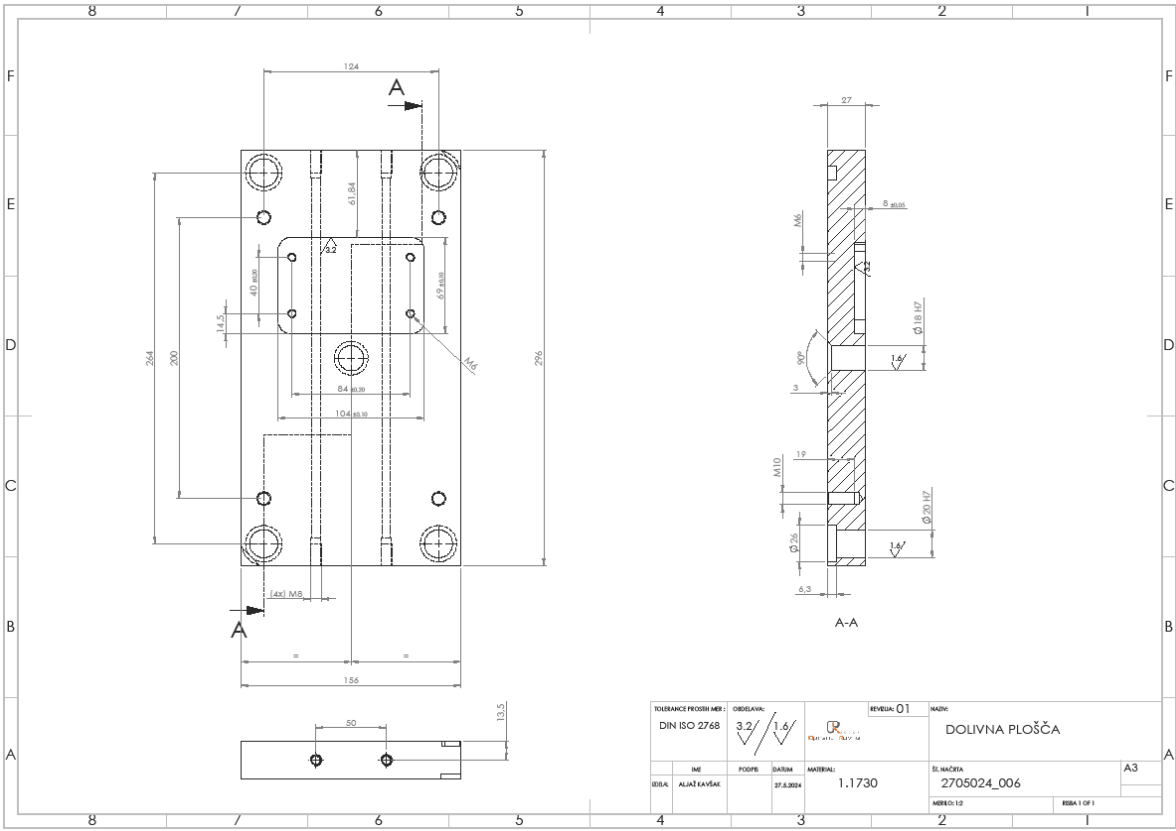
Slika 66: Dolivna izolacijska plošča



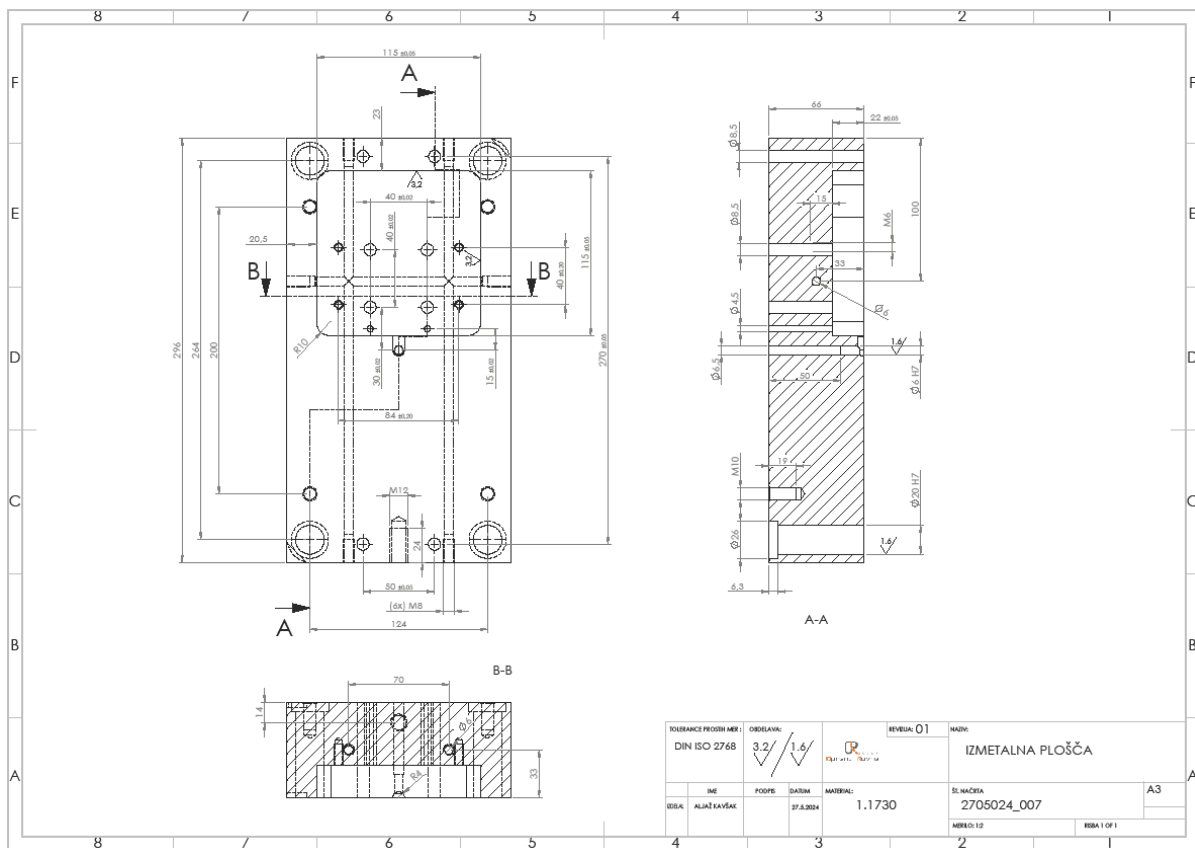
Slika 67: Izmetalna izolacijska plošča



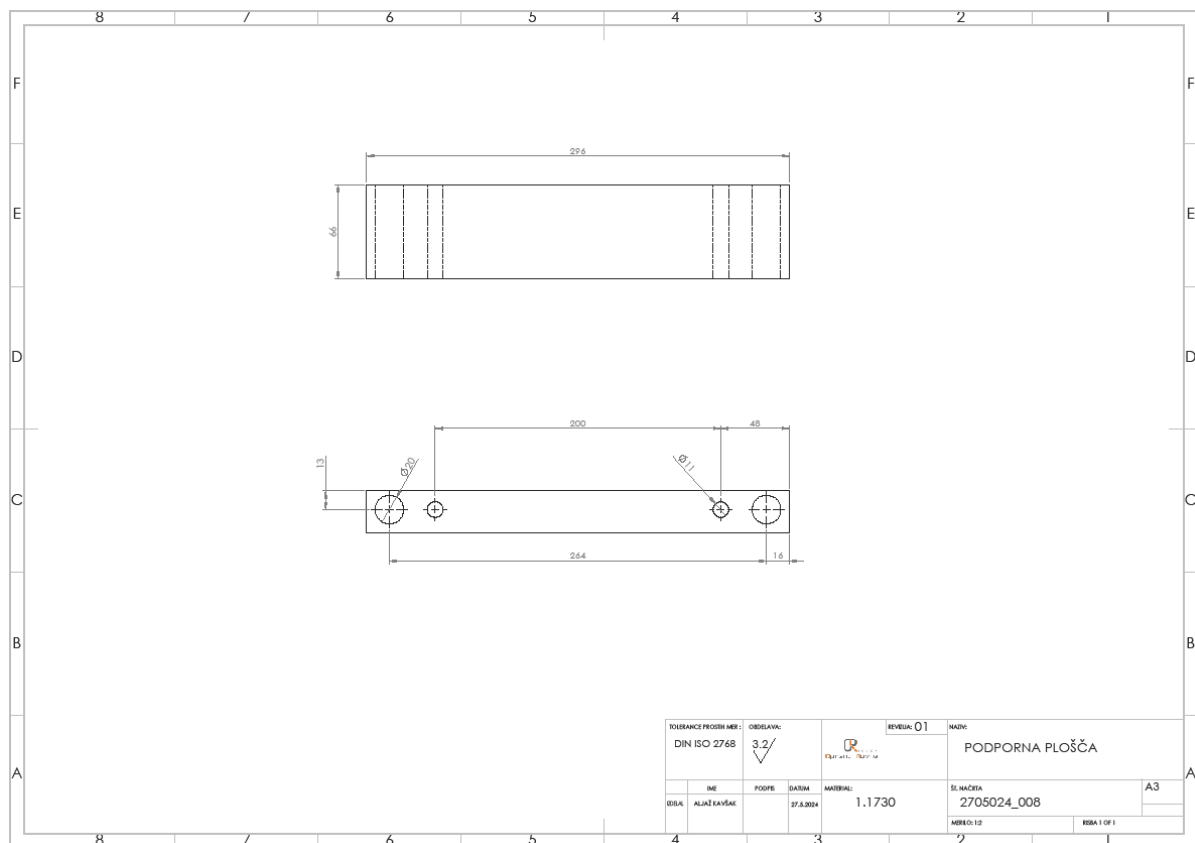
Slika 68: Dolivna podložna plošča



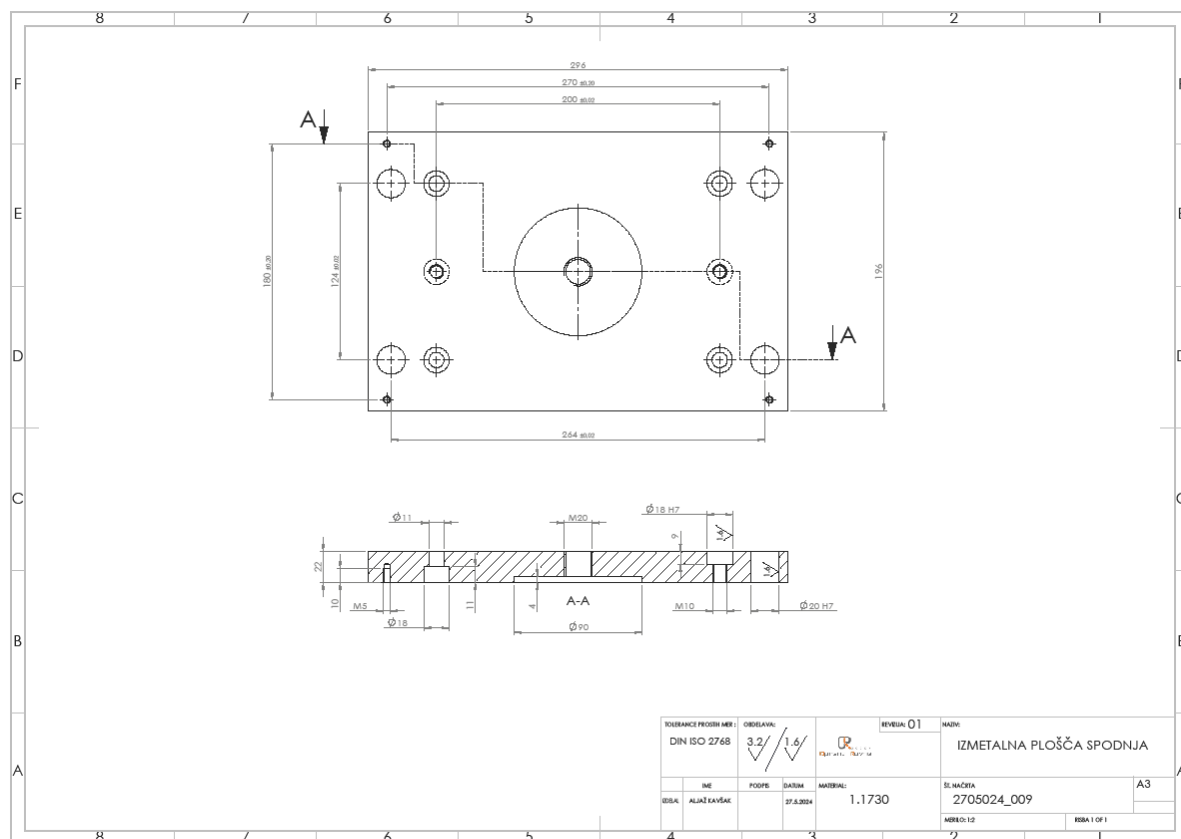
Slika 69: Dolivna plošča



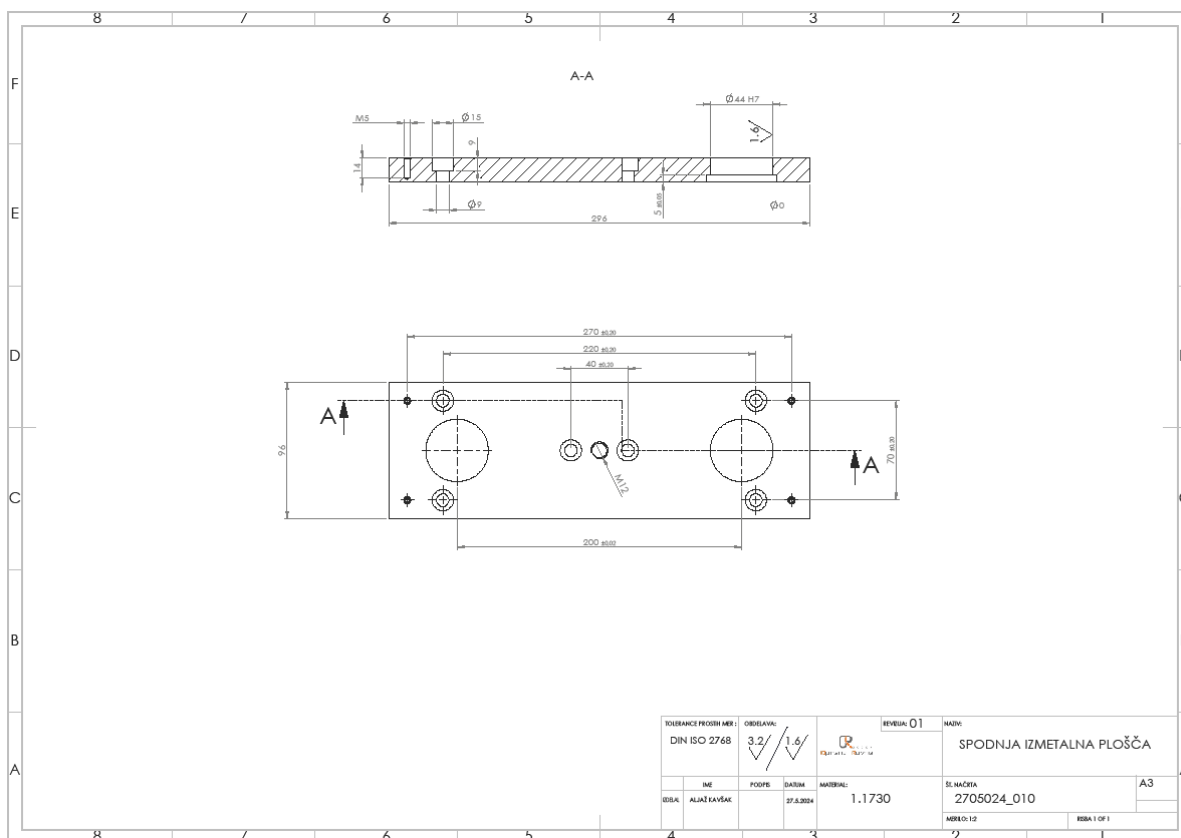
Slika 70: Izmetalna plošča



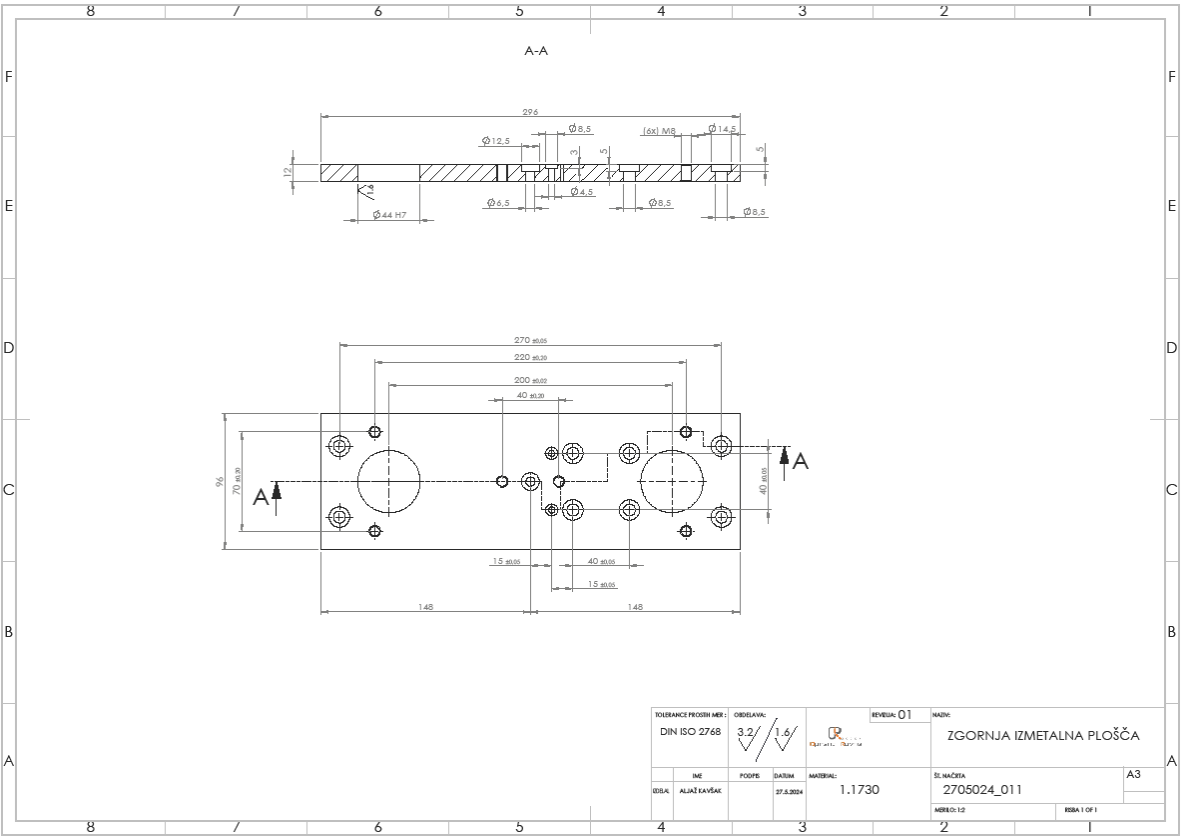
Slika 71: Podporna plošča



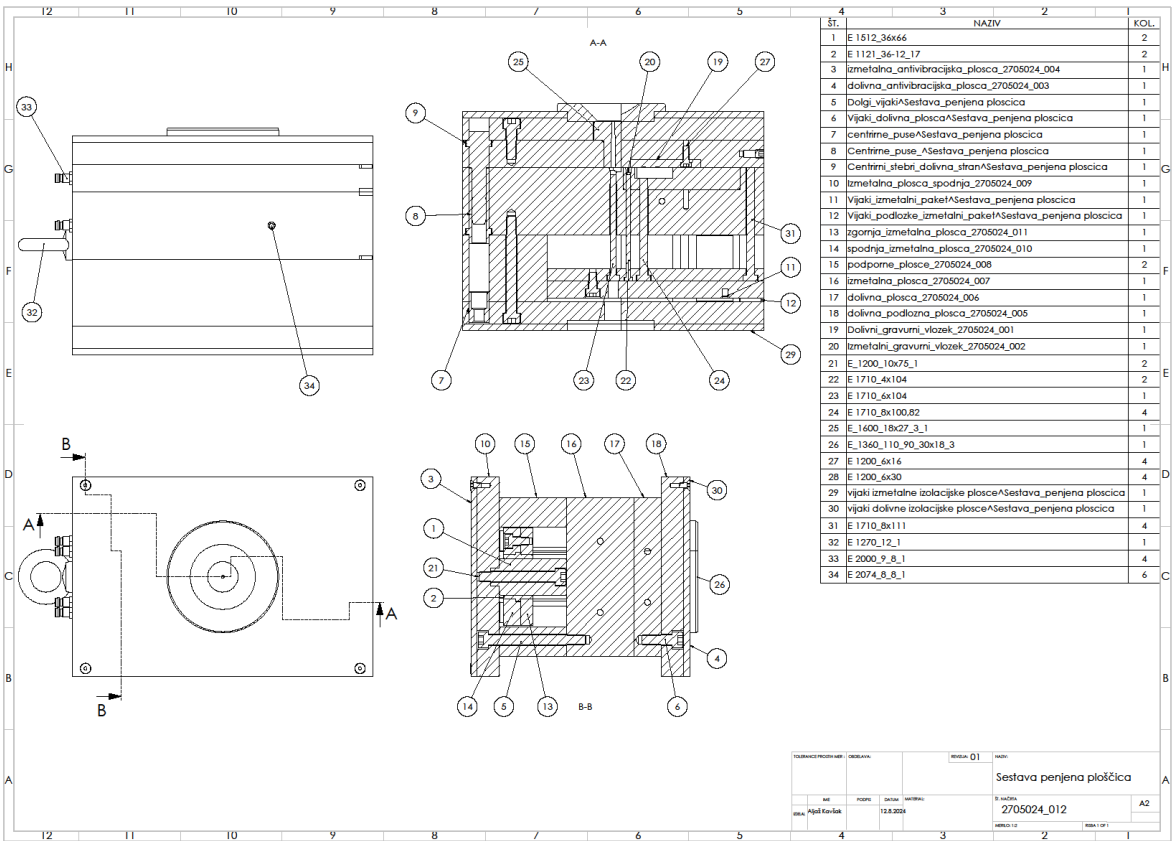
Slika 72: Izmetalna plošča spodnja



Slika 73: Spodnja izmetalna plošča



Slika 74: Zgornja izmetalna plošča



Slika 75: Sestava penjena ploščica