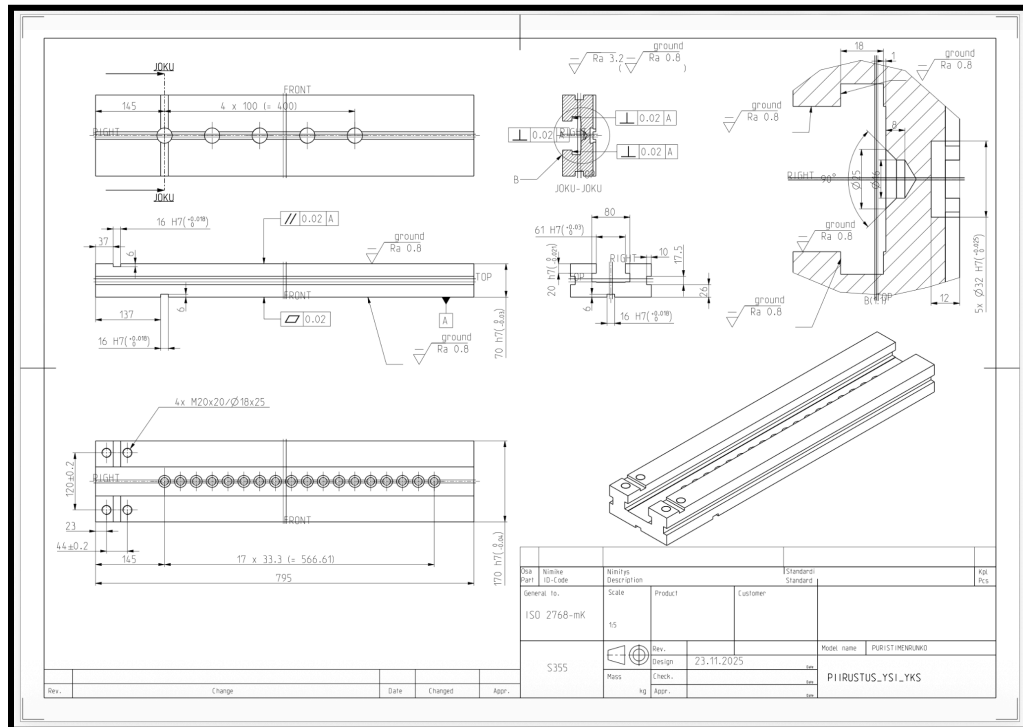


Harjoitustyö 9

Juri Soiri

Tair Kuanysh

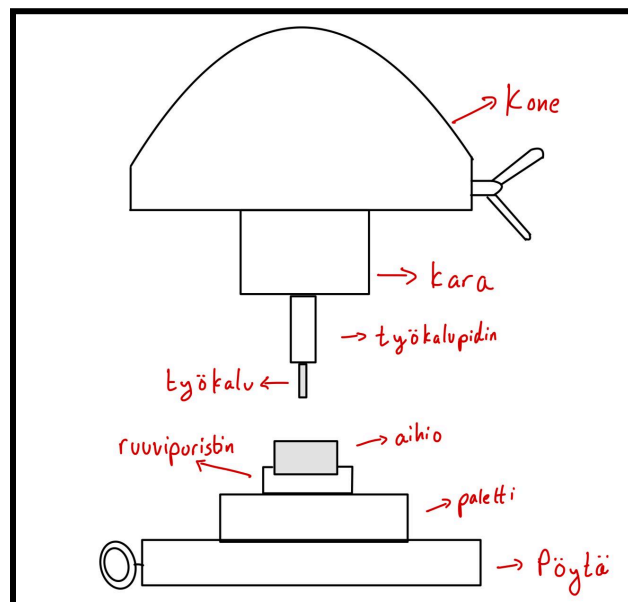
Vaihe 9.1



Kuva 1: 3D mallin 2D Työpiirustus

Ruuvipuristimen runko mallinnettiin Creossa, ja mallista laadittiin yllä oleva työpiirustus. Materiaalina käytettiin S355-rakenneterästä, joka on lujuutensa vuoksi yleisesti käytetty materiaali tämän tyyppisten kappaleiden valmistuksessa.

Yleiskuva

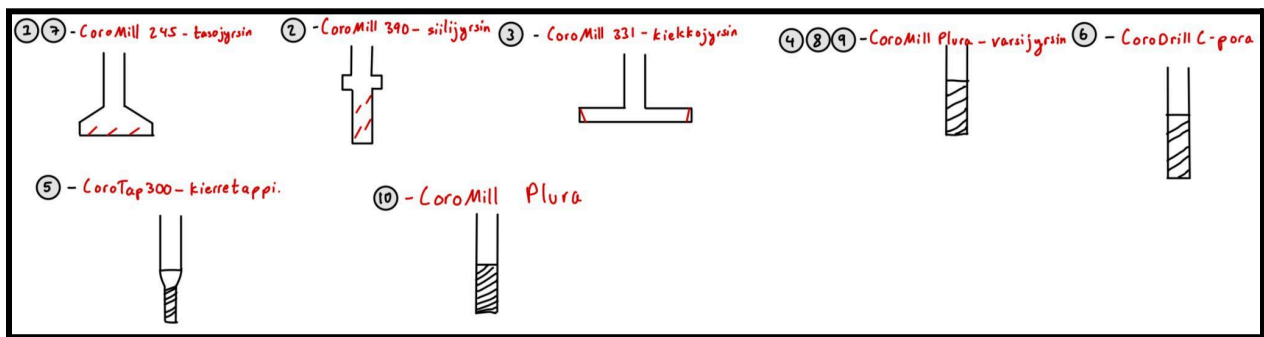


Kuva 2: Yleiskuva jyrsinkoneesta

Kuvassa esitetään kappaleen valmistusta, jossa aihio on kiinnitetty pystykaraan kolmiakseliseen jyrsinkoneeseen. Käyttämämme kiinnitin on ruuvipuristin, jonka avulla aihio pysyy tukevasti paikallaan koko valmistusprosessin ajan.

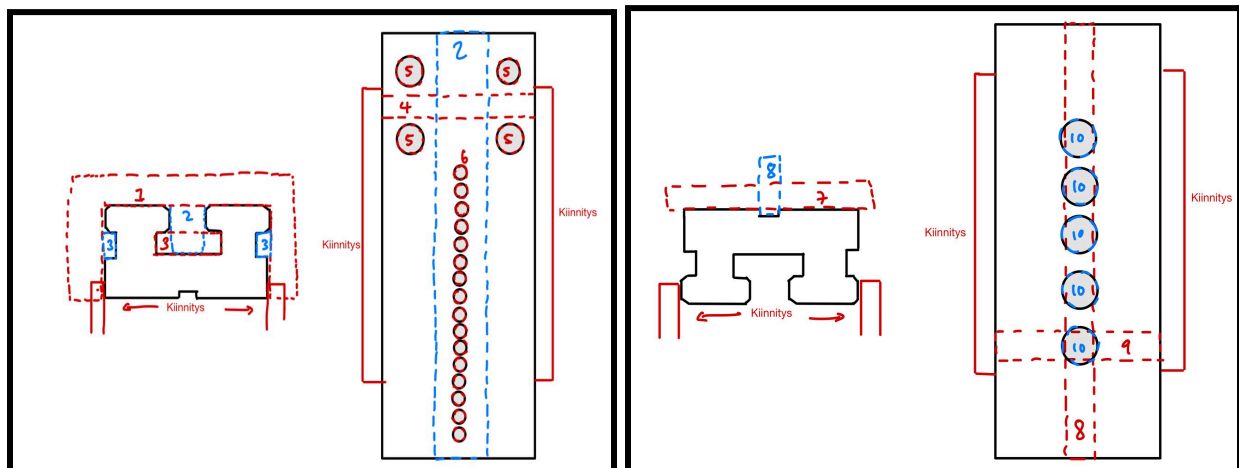
Valmistussuunnitelma

Suunnittelimme valmistusvaiheet siten, että kappaleen kääntökertoja minimoitiin valmistusajan lyhentämiseksi. Lopullisessa valmistussuunnitelmassamme kappaletta käännetään vain kerran. Aihion pituuden vuoksi se kiinnitettiin ruuvipuristimella sivulta. Lisäksi kappaleella on pitkiä uria, joten kiinnitys päistä vaikeuttaisi niiden työstämistä.



Kuva 3: Kuva käytetyistä työkaluista

Kuvassa 1 esitetään suunnitellut työkalut kappaleen valmistukseen. Kappaleen valmistukseen käytetään 6 eri työkalua, jotka mahdollistavat kaikki tarvittavat valmistusvaiheet. Kuvassa näkyy numerona työkalujen liittyvät työvaiheet.



Kuva 4 + 5: Kuvat valmistussuunnitelmasta

Yllä olevissa kuvissa esitetään kappaleen valmistus sekä ennen kääntöä (vasen) että sen jälkeen (oikea). Molemmissa kuvissa kappale näkyy päältä ja päädyistä katsottuna.

Ensimmäisessä työstövaiheessa tasoitetaan pinnat ja oikaistaan sivut CoroMill 245 - tasojyrsimellä (1), jonka jälkeen aihion vasen yläkulma asetetaan kappaleen nollapisteeksi. Kappaleen suurin ura työstetään sitten CoroMill 390 - siilijyrsimellä (2). Seuraavaksi käytetään CoroMill 331 - kiekkojyrsimetä sekä T-uran että ulkopuolisen sivu-uran valmistamiseen (3).

T-uran jälkeen jyrsitään vaakasuora ura (4) CoroMill Plura - varsijyrsimellä, jonka jälkeen aloitetaan poraus. Valmistussuunnitelmassamme urat tehdään ensin reikien lipsumisen välttämiseksi. Poraaminen jätetään viimeiseksi, jotta meillä olisi parempi näkyvyys ja kohdistus. Lisäksi estetään reikien purseiden syntymistä, mikä voi tapahtua, jos ura työstetään viimeiseksi. Reiät 6 tehdään CoroDrill C-poralla ja reiät 5 tehdään CoroTap 300 - kierretapilla.

Poraamisen jälkeen kappale käännetään toisin päin. Samoin kuin ensimmäisellä puolella, tasoitetaan ensin pinta (7), jotta voidaan määrittää ja asettaa kappaleen nollapiste. Tämän jälkeen jyrsitään urat 8 ja 9 varsijyrsimellä, minkä jälkeen aloitetaan toinen porauskierros CoroMill Plura - poralla reikiin 10.

Vaihe 9.2

Tässä vaiheessa valittiin työkalut ja terät valittiin Sandvik Coromant verkkosivujen avulla.

Lastuamisparametrit etsittiin ja valittiin sivustojen saatavien suositusten perusteella, huomioiden vaadittu pinnankarheus ja toleranssi.

Parametrit, kuten syöttönopeus, kierrossyöttö, ja lastuamisaika on laskettu seuraavilla laskentakaavoilla:

$$\text{kierrossyöttö, } f_n = z_n * f_z$$

$$\text{syöttönopeus, } v_f = z_n * n * f_z$$

$$\text{Lastuamisaika, } t = (\text{lastujen lkm.}) \frac{\text{Lastuamispituus}}{\text{syöttönopeus } (v_f)}$$

Taulukko 1: Käytetyt työkalut ja terät

	CoroMill 245	CoroMill 390	CoroMill 331	CoroMill Plura	CoroDrill C	CoroTap 300
Tilauskoodi	R245-100Q32- 18H	R390-054Q22- 18M	R331.35C-063 A25EM100	R215.34C1205 0-BC26P 1640	462.1-1608-120 A1-XM X2BM	T300-PM10 1JA-M20 P1PM

Teräsmateriaali	Kovametalli (HC)	Kovametalli (HC)	Kovametalli (HC)	Kovametalli (HC)	Kovametalli (HC)	High Speed Steel (HSS)
Pinnoite	PVD TiAlSiN	CVD TiCN+Al ₂ O ₃ + TiN	CVD TiCN+Al ₂ O ₃ + TiN	PVD TiAlN	PVD TiAlCrSiN	PVD TiAlN

Yläpinnan tasojyrsintä:

Taulukko 2: CoroMill 245 R245-100Q32-18H -tasojyrsimen lastuamisparametrit

	Rouhinta	Viimeistely
Teräpään halkaisija (Dc), mm	100	100
Hampaiden lukumäärä (Zn), kpl	6	6
Aksiaalinen lastuamissyvyys (ap), mm	0.5	0.125
Radiaalinen lastuamissyvyys (ae), mm	43.75	43.75
Lastujen lkm. (monella syöttöliikkeellä lastutaan), kpl	4	4
Hammaskohtainen syöttö (fz), mm/hammas	0.283	0.113
Lastuamisnopeus (vc), m/min	255	274
Karan kierrosnopeus (n), 1/min	775	856
Syöttönopeus (pöytäsyöttö) (vf), mm/min	1320	580
Kierrossyöttö (fn), mm/kierros	1.698	1.356
Lastuamispituus (lm), mm	800	800
Työvaiheen laskettu aika	7.9 min	

Rouhinnan lastuamisarvot on valittu siten, että materiaalin poisto on tehokas. Syvä aksiaalinen lastuamissyvyys ($a_p = 0.5$ mm) mahdollistaa suurten lastujen leikkauksen neljällä kerralla, mikä vähentää koneaikaa. Suuri radiaalinen lastuamissyvyys ($a_e = 43,75$ mm) kattaa lähes puolet terän halkaisijasta, jolloin koko pinta lastutaan tehokkaasti neljällä liikkeellä. Lastuamisnopeus ($v_c = 255$

m/min) on valittu Sandvik Compromat oppaan mukaan ja takaa stabiilin, turvallisen prosessin ilman työkalun liiallista kulumista tai värinää.

Halutun pinnankarheuden $Ra \approx 1,6 \mu m$ saavuttamiseksi viimeistelyssä oli tärkeää valita sopiva hammaskohtainen syöttö (f_z). Terän kulmasäde, r_ϵ , ja hammaskohtainen syöttö, f_z , ovat tärkeimmät parametrit, koska ne määräävät pinnalle jäävän harjanteen korkeuden, eli pinnankarheuden. Oikein valitut arvot varmistavat tasaisen ja halutunlaisen pinnan viimeistelyvaiheessa. Sandvik Coromant verkkosivun mukaan valitun terän R245-18 T6 E-W 1230 kulmasäde on $r_\epsilon = 1 mm$, joten syöttö voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$f_z \approx \sqrt{8 \cdot r_\epsilon \cdot Ra}$$

Näin ollen, sopiva hammaskohtainen syöttö arvo on: $f_z = \sqrt{8 \cdot 1 \cdot 0.0016} = 0.113 mm$

Matala aksiaalinen lastuamissyvyys ($a_p=0.5 mm$) ja sopiva hammaskohtainen syöttö ($f_z = 0.113 mm$) varmistavat, että terä leikkaa tarkasti haluttuun muotoon ilman ylimääräisiä poikkeamia. Suuri radiaalinen lastuamissyvyys ($a_e=43,75 mm$) mahdollistaa tasaisen lastuamisen koko leveydeltä. Lisäksi oikea lastuamisnopeus ($v_c = 274 m/min$) ja karan kierrosnopeus ($n = 856 1/min$) pitävät prosessin pysyvänä ja vähentävät värinää, mikä auttaa saavuttamaan toleranssivaatimuksen.

T-uran jyrsintä:

Taulukko 3: Coromill 390 R390-054Q22-18M -siiliijyrsimen lastuamisparametrit

	Rouhinta	Rouhinta	Viimeistely	Viimeistely
Teräpään halkaisija (Dc), mm	54	54	54	54
Hampaiden lukumäärä (Zn), kpl	4	4	4	4
Aksiaalinen lastuamissyvyys (ap), mm	9.62	9.62	0.5	13
Radiaalinen lastuamissyvyys (ae), mm	54	3	54	0.5

Lastujen lkm. (monella syöttöliikkeellä lastutaan), kpl	4	4	1	3
Hammaskohtainen syöttö (fz), mm/hammas	0.11	0.24	0.113	0.16
Lastuamisnopeus (vc), m/min	402	476	417	480
Karan kierrosnopeus (n), 1/min	2370	2800	2460	2830
Syöttönopeus (pöytäsyöttö) (vf), mm/min	1040	2700	1070	2260
Kierrossyöttö (fn), mm/kierros	0.44	0.96	0.432	0.8
Lastuamispituus (lm), mm	795	795	795	795
Työvaiheen laskettu aika	6.033 min			

Taulukko 4: Coromill 331 R331.35C-063A25EM100 -kiekkojyrsimen lastuamisparametrit

	Rouhintä	Rouhintä	Viimeistely	Viimeistely	Viimeistely
Teräpään halkaisija (Dc), mm	63	63	63	63	63
Hampaiden lukumäärä (Zn), kpl	6	6	6	6	6
Aksiaalinen lastuamissyvyys (ap), mm	10	6.94	10	6.94	0.3
Radiaalinen lastuamissyvyys (ae), mm	17.7	1.7	0.3	0.3	18
Lastujen lkm. (monella syöttöliikkeellä)	1	10	1	10	2

lastutaan), kpl					
Hammaskohtainen syöttö (fz), mm/hammas	0.134	0.134	0.433	0.433	0.17
Lastuamisnopeus (vc), m/min	369	369	391	391	368
Karan kierrosnopeus (n), 1/min	1860	1860	1970	1970	1860
Syöttönopeus (pöytäsyöttö) (vf), mm/min	747	747	2570	2570	951
Kierrossyöttö (fn), mm/kierros	0.804	0.804	2.598	2.598	1.02
Lastuamispituus (lm), mm	795	795	795	795	795
Työvaiheen laskettu aika	16.78 min				

T-uran jyrsintä koostuu kahdesta eri vaiheesta: Kapean uran varren jyrsintä ja T-uran muodostus.

Kapean varren rouhinta tehtiin 12:llä lastulla ja teräpään halkaisijana käytettiin 54 mm. Suuret karan kierrosnopeudet ($n = 2370\text{--}2800$ 1/min) sekä lastuamisnopeudet ($vc = 402\text{--}476$ m/min) että suuri aksiaalinen lastuamissyvyys ($ap = 9,62$ mm) mahdollistavat mahdollisimman tehokasta ja tarkkaa lastunpoistoa. Viimeistelyssä käytettiin kaksi f_z arvoa sekä sivun ($Ra = 1.6$) että pohjan ($Ra=3.2$) pinnankarheuksien laskemiseen.

1. Viimeistely sivulta:

$$f_z = \sqrt{8 \cdot 1 \cdot 0.0016} = 0.113 \text{ mm}$$

2. Viimeistely pohjalla:

$$f_z = \sqrt{8 \cdot 1 \cdot 0.0032} = 0.16 \text{ mm}$$

T-uran muodustamisessa käytetään Coromill 331 R331.35C-063A25EM100 -kiekkojyrsintä.

Rouhinta varmistaa, että suurin osa materiaalista poistuu tehokkaasti ja kappale pysyy lähellä

haluttua mittaa, mikä helpottaa tarkkaa viimeistelyä. Rouhinnassa käytettiin seuraavia lastuamisarvoja:

- Korkeat lastuamisnopeudet ($v_c = 369 \text{ m/min}$) ja karan kierrosnopeudet ($n = 1860 \text{ 1/min}$) mahdollistavat mahdollisimman tehokasta materiaalin poistoa ilman että aiheutuu tärinää. Liian korkeat lastuamisnopeudet ja kierrosnopeudet johtavat työkalun nopeaan kulumiseen ja aiheuttavat tärinää ja epätasaisia leikkauksia. Lisäksi, liian suuret nopeudet voi aiheuttaa kappaleen pieniä poikkeamia lämpölaajenemisesta tai tärinästä ja sen seurauksena mittatarkkuus voi pahentua. Sen takia lastuamisnopeudet ja kierrosnopeudet oli valittu Sandvik Coromant oppaan mukaisesti.
- Suuri aksiaalinen lastuamissyvyys ($a_p = 10 \text{ mm}$) ja radiaalinen lastuamissyvyys ($a_e = 17,7 \text{ mm}$) mahdollistavat uran nopean laajentamisen yhdellä liikkeellä.

Viimeistelyssä on tärkeää valita sopiva f_z että pinnankarheus vaatimus $Ra=1.6$ toteutuu. Sen voi laskea käyttämällä alla olevaa kaavaa:

$$f_z \approx \sqrt{8 \cdot r_\epsilon \cdot Ra}, \text{ jossa } r_\epsilon \text{ on terän kulman säde.}$$

Lopuksi saadaan $f_z \approx \sqrt{8 \cdot 2.3 \cdot 0.0016} \approx 0.17 \text{ (mm)}$, jossa $r_\epsilon = 2.3 \text{ mm}$. Sen lisäksi, viimeistelyssä on käytetty pieni aksiaalinen lastuamissyvyys ($a_p = 0.3$) ja radiaalinen lastuamissyvyys ($a_e = 0.3$), jotka auttavat saavuttamaan tarkempaa viimeistelyä ja Ra vaatimuksen.

Poikittainen kiinnitysura (suorakaide poikkileikkaus, H7):

Taulukko 5: Coromill Plura R215.34C12050-BC26P 1640 -varsijyrsimen lastuamisparametrit

	Rouhintaa	Rouhintaa	Viimeistely	Viimeistely
Teräpään halkaisija (Dc), mm	12	12	12	12
Hampaiden lukumäärä (Zn), kpl	4	4	4	4
Aksiaalinen lastuamissyvyys (a_p), mm	2.88	2.88	0.24	6
Radiaalinen lastuamissyvyys (a_e), mm	12	1.76	12	0.24

Lastujen lkm. (monella syöttöliikkeellä lastutaan), kpl	2	2	1	1
Hammaskohtainen syöttö (fz), mm/hammas	0.063	0.107	0.101	0.188
Lastuamisnopeus (vc), m/min	147	256	167	371
Karan kierrosnopeus (n), 1/min	3900	6790	4420	9840
Syöttönopeus (pöytäsyöttö) (vf), mm/min	983	2920	1780	3980
Kierrossyöttö (fn), mm/kierros	0.252	0.428	0.404	0.404
Lastuamispituus (lm), mm	54.5	54.5	54.5	54.5
Työvaiheen laskettu aika	12.28 sekuntia per ura (24.56 sekuntia yhteensä)			

Poikittainen kiinnitysura tehdään kuudella syöttö liikkeellä (neljä rouhintaa ja kaksi viimeistelyä) sen takia, teräpään halkaisija (12 mm) on pienempi kuin uran leveys (16mm toleranssissa H7). Ja vuorostaan, teräpään halkaisijana oli 12mm, koska sillä saavutettiin matalin koneistus aika (kun verrattiin muihin halkaisijoihin Sandvik Coromant:ssä).

Rouhinta-arvot Coromill Plura R215.34C12050-BC26P 1640 valittu siten, että materiaalinpoisto on tehokasta ja koneistusaika nopea. Aksiaalinen lastuamissyvyys ($a_p = 2,88$ mm) ja radiaalinen lastuamissyvyys ($a_e = 12$ mm) mahdollistavat syvän ja laajan lastuamisen yhdellä syöttö liikkeellä. Hammaskohtainen syöttö ($f_z = 0,063$ mm/hammas) ja lastuamisnopeus ($v_c = 147$ m/min) sekä karan kierrosnopeus ($n = 3900$ 1/min) auttavat saavuttamaan tasaisen ja tarkan jyrsinän ilman tärinää ja muita poikkeamia.

Pinnankarheuden vaatimuksena on $R_a = 3.2$, joten f_z laskemiseen käytettiin sama kaava eli:

$$f_z \approx \sqrt{8 \cdot r_\epsilon \cdot R_a}$$

Terän kulmasäde r_ϵ on 0.4 mm. Tästä seuraa, että $f_z \approx \sqrt{80 \cdot 0.4 \cdot 0.0032} \approx 0.101$ (mm).

Muut arvot:

- Pienempi aksiaalinen lastuamissyvyys ($a_p = 0,24 \text{ mm}$) ja radiaalinen lastuamissyvyys ($a_e = 1,76 \text{ mm}$) mahdollistavat pinnan tasaisen viimeistelyn ilman liiallista kuormitusta työkalulle.
- Hammaskohtainen syöttö ($f_z = 0,101 \text{ mm/hammas}$) ja suurempi lastuamisnopeus ($v_c = 371 \text{ m/min}$) yhdessä karan kierrosnopeuden ($n = 9840 \text{ 1/min}$) kanssa varmistavat, että uran pohja ja sivut jäävät tasaisiksi.

Toleranssi H7 saavutetaan valitsemalla viimeistely arvot siten, että materiaalin poisto on hallittua ja tarkkaa. Yllä mainittujen arvojen järkevä valinta vähentää työkalun tärinää ja epätasaisuuksia. Näin uran 16 H7 toleranssi toteutuu.

Kierrereivät 4 kpl:

Taulukko 6: CoroDrill C 462.1-1608-120A1-XM X2BM - poran lastuamisparametrit

Teräpään halkaisija (Dc), mm	16.08
Hampaiden lukumäärä (Zn), kpl	2
Aksiaalinen lastuamissyvyys (a_p), mm	8
Radiaalinen lastuamissyvyys (a_e), mm	16
Lastujen lkm. (monella syöttöliikkeellä lastutaan), kpl	1
Hammaskohtainen syöttö (f_z), mm/hammas	0.2005
Lastuamisnopeus (v_c), m/min	128
Karan kierrosnopeus (n), 1/min	2530
Syöttönopeus (pöytäsyöttö) (v_f), mm/min	1010
Kierrossyöttö (f_n), mm/kierros	0.401
Lastuamispituus (lm), mm	8
Työvaiheen laskettu aika	0.47 sekuntia per reikä (8.08s yhteensä)

Kaikkien 19 erillisen kierrettyökalun vertailussa tämä malli osoittautui parhaaksi kokonaisuudessa. Työkalu T300-PM101JA-M20 P1PM tarjoaa selkeän hinta-laatusuhde: hinta on 216 €, ja koneistusaika on nopea (2,5 s), mikä oli muiden kilpailijoiden tasolla, mutta he olivat kalliimpia. Lastuamisarvot on esitetty taulukossa 7.

Rouhinta kierretapilla CoroTap 300 T300-PM101JA-M20 P1PM on valittu niin, että kappaleen kierrereivät saadaan nopeasti ja tarkasti. Aksiaalinen lastuamissyvyys ($a_p = 20 \text{ mm}$) mahdollistaa reiän lastuamisen yhdellä syötöllä, radiaalinen lastuamissyvyys ($a_e = 1 \text{ mm}$) varmistaa tasaisen leikkauksen, ja hammaskohtainen syöttö ($f_z = 0,625 \text{ mm/hammas}$) on saatu Sandvik Coromant:stä. Lastuamisnopeus ($v_c = 55,5 \text{ m/min}$) ja karan kierrosnopeus ($n = 883 \text{ 1/min}$) mahdollistavat pysyvän ja turvallisen prosessin ilman liiallista kulumista tai tärisemistä. Koska näille reijille ei ole annettu pinnankarheus vaatimusta, rouhinta riittää ja reiän mittatoleranssi (H7) saavutetaan ilman viimeistelyä.

Kiinnitysreiät:

Taulukko 7: CoroTap 300 T300-PM101JA-M20 P1PM –kierretapin lastuamisparametrit

Teräpään halkaisija (Dc), mm	20.01
Hampaiden lukumäärä (Zn), kpl	4
Aksiaalinen lastuamissyvyys (a_p), mm	20
Radiaalinen lastuamissyvyys (a_e), mm	1
Lastujen lkm. (monella syöttöliikkeellä lastutaan), kpl	1
Hammaskohtainen syöttö (f_z), mm/hammas	0.625
Lastuamisnopeus (v_c), m/min	55.5
Karan kierrosnopeus (n), 1/min	883
Syöttönopeus (pöytäsyöttö) (v_f), mm/min	2208
Kierrossyöttö (f_n), mm/kierros	2.5
Lastuamispituus (lm), mm	20

Työvaiheen laskettu aika	0.54 sekuntia per reikä (2.17s yhteensä)
---------------------------------	--

Samoin kuin kierrereikien porauksessa pinnankarheus vaatimusta ei ole mainittu, joten vain rouhinta riittää tehokkaaseen lastuamiseen sekä vaadittavan toleranssiluokan saavuttamiseen. CoroDrill C 462.1-1608-120A1-XM X2BM poran lastuamisparametrit oli valittu niin, että reiät saadaan tehtyyn nopeasti ja tarkasti. Aksiaalinen lastuamissyvyys ($a_p = 8 \text{ mm}$) mahdollistaa reiän poraamisen yhdellä liikkeellä, radiaalinen lastuamissyvyys ($a_e = 16 \text{ mm}$) kattaa koko reiän halkaisijan ja varmistaa tasaisen lastuamisjäljen. Hammaskohtainen syöttö ($f_z = 0,2005 \text{ mm/hammas}$) ja lastuamisnopeus ($v_c = 128 \text{ m/min}$) saatiin Sandvik Coromant:stä ja ne johta stabiiliin prosessiin ilman tärisemistä.

Koneistus Vaihe Creo:ssa

Linkki videoon:

<https://drive.google.com/drive/folders/1uhTiqvKhudCLDwSvdmzt4tb2evvU9tRb?usp=sharing>

$$\text{Lastuamisaika, } t = (\text{lastujen lkm.}) \frac{\text{Lastuamispituus}}{\text{syöttönopeus } (v_f)}$$

Yllä olevalla laskentakaavalla voidaan laskea kaikkien työvaiheiden lastuamisaika määritellyillä parametreilla. Esimerkiksi, tasoajyrsimen rouhinta ja viimeistely lasketaan olevan:

$$t_{\text{rouhinta}} = 4 \frac{800}{1320} = 2.4 \text{ min} = 145.5 \text{ s}$$

$$t_{\text{viimeistely}} = 4 \frac{800}{580} = 5.51 \text{ min} = 331.5 \text{ s}$$

$$t_{\text{kokonais}} = 145.5 \text{ s} + 331.5 \text{ s} = 477 \text{ s} = 7:56.5 \text{ min}$$

Tasoajyrsimen rouhinnan lastuamisaika on noin 145 sekuntia, ja viimeistelyn lastuamisaika on noin 331 sekuntia. Näin ollen pää pinnan taso ajrsintään pitäisi kulua noin 7 minuuttia ja 56 sekuntia.

Creo:n CAM-ohjelmiston mukaan tasoajrsintä kestäisi 8 sekuntia, mikä on huomattavasti nopeampi arvo verrattuna laskettuun arvoon. Yritettiin selvittää tätä eroa, ja selvisi, että jakamalla creo:ssa käytetyn syöttönopeuden 60:llä saatiin noin 480 sekuntia, mikä on suhteellisen lähellä laskettuja arvojamme. Lisäksi syöttönopeudellamme 8 sekunnin ajrsintä olisi fyysisesti täysin mahdotonta, joten todettiin, että Creo:n ohjelma näyttää todennäköisesti lastuamisajan minuuteissa, eikä sekunneissa. Tällä perusteella lastuamisaika erosi 4 sekunnilla.

Vaikka ero on hyvin pieni, se voi johtua siitä, että laskettuissa arvoissa syöttönopeus oletetaan vakiona, kun taas Creo:n laskelmat sisältävät koneen hidastukset ja käännöt.

Kappaleen laskettu työstöaika on noin 31 minuuttia, mikä on tuotannollisesti sopiva.

Lähteet

- [1]-“Sandvik Coromant - Manufacturing Tools & Machining Solutions.” *Sandvik Coromant*, 2025, www.sandvik.coromant.com/en-gb. Accessed 30 Nov. 2025.
- [2]-“Laskukaavoja Ja Määritelmiä.” *Sandvik Coromant*, 2025, www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/machining-formulas-definitions. Accessed 30 Nov. 2025.