



CAT1000

Mittaaminen ja käyttöohje

Mitja Muttonen

OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2023

Konetekniikka
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotantotekniikka

Muttonen, Mitja
CAT1000
Mittaaminen ja käyttöohje

Opinnäytetyö 47 sivua
Huhtikuu 2023

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena tutustua koordinaattimittakoneen käyttöön, MCOSMOS-ohjelman toimintoihin ja luoda käyttöohje CAT1000-alaohjelman käyttöön mittaamisessa. Työ tehtiin Tampereen ammattikorkeakoululle. Tavoitteena oli luoda opetusmateriaali, jonka avulla aloittelija voi tutustua koordinaattimittauksen perusteisiin. Ohjelman monimutkaisuuden takia ongelmia ilmeni erityisesti tiedon karsimisessa ja oikeiden tehokkaiden mittausratkaisujen löytämisessä. Opinnäytetyöraportissa esitellään eri koordinaattimittakoneratkaisut, työssä käytettävä laite sekä ohjelmisto, jota mittauksessa hyödynnettiin ennen käyttöohjetta.

Työssä selvitettiin koordinaattimittakoneen perustoiminnot ja käytiin läpi mahdolliset virheet ja niiden korjaaminen. Raportissa esitellään manuaalinen mittaus MCOSMOKSEN Geopak-puolella nollapisteen määrittämiseksi. Työn keskiössä oli CAT1000, jonka osalta käytiin läpi tavat, joilla mitata peruspiirteitä, kuten pinta-alaa, ympyrää sekä kartiota. Tämän lisäksi näytettiin, kuinka mittauskärki voidaan kääntää, jotta kappaleen haastavampia pintoja voidaan mitata. CAT1000:sta käytiin läpi peruspiirteiden lisäksi soveltavia esimerkkejä, kuten yhdistettyjen pintojen mittaus. Lopuksi esiteltiin vielä, kuinka mittausohjelmaa voi editoida, ja miten tehdä testiohjelma sekä toistoja.

Koordinaattimittakone on tärkeä työkalu laadunvalvonnassa. Laitteen avulla voidaan säästää suuria kuluja välttämällä virheellisiä kappaleita tuotannossa. MCOSMOS-mittausohjelma ja sen sisällä oleva CAT1000-ohjelma ovat kaikkine toimintoineen aloittelijalle varsin monimutkaisia. Kokemuksen, kokeilun ja toivottavasti tämän opinnäytetyön sisältämän ohjeen avulla aloittelijakin pystyy hyödyntämään ja soveltamaan sitä kappaleen mittauksessa. CAT1000-ohjelman etuna on, että se on joustava, tehokas ja tarkka mittaamisessa käytettävä ohjelma.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

Muttonen, Mitja
CAT1000
Measuring and manual

Bachelor's thesis 47 pages
April 2023

The aim of this Bachelor's thesis was to become familiar with coordination measuring machine and the program MCOSMOS. This project was done for Tampere University of Applied Sciences. The goal was to create teaching material with which a newcomer can learn the basics of coordination measuring. In this thesis different measuring machine alternatives are shown and program MCOSMOS and CAT1000 are introduced.

This projects focus was CAT1000 manual that teaches the basics of the program. The manual explains different topics such as how to measure an object's basic features like surface area, circle, and cone. In addition to these the manual teaches how to turn the measuring probe, so the objects harder to measure surfaces can be measured. Lastly, there is a guide on how to edit, make test programs and how to run repetitions with a finished program.

Coordination measuring machine is an important quality control tool. With its help, flawed products can be avoided, and companies can save money and have a better reputation. The measuring program MCOSMOS and program inside it, CAT1000, can be difficult to use with all the different functions. CAT1000 is a flexible program and very exact when it comes to measuring.

Key words: coordination measuring machine, mcosmos, cat1000, geopak

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	Koordinaattimittakone	7
	2.1 Koordinaattimittakoneet yleisesti	7
	2.2 Erilaisia koordinaattimittakoneita	9
	2.3 Crysta-Apex S	12
3	MCOSMOS	14
4	TAVOITE	16
5	CAT1000-ohjelman käyttöohje	17
	5.1 Mittauksen aloittaminen ja alkumääritysten tekeminen: Geopak..	17
	5.1.1 Ohjelman nimeäminen	18
	5.1.2 Kärjen valinta	18
	5.1.3 Mittauspisteiden määrittäminen manuaalisesti	21
	5.1.4 Ympyrän keskireiän mittaaminen manuaalisesti	23
	5.1.5 Viivan määrittäminen manuaalisesti	24
	5.2 Mittaaminen CAT1000 -ohjelmalla	25
	5.2.1 Import file	26
	5.2.2 Clearance height ja Collision check	27
	5.2.3 Piste ja Plane by grid mittaus	28
	5.2.4 Ympyrän kehän mittaus, kärjen kääntö ja vaihto	32
	5.2.5 Kartion mittaaminen	35
	5.2.6 Useamman ympyrän mittaaminen kerralla	36
	5.2.7 Kahden tason keskitaso	38
	5.2.8 Memory recall ja teoreettinen suora	39
	5.3 Mittalaitteen törmäyttäminen kappaleeseen	41
	5.4 Relearn, edit, testiajo ja toistot	42
6	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSE	46
	LÄHTEET	47

ERITYISSANASTO

algoritmi	ohje tai järjestys prosessin suoritukseen
luotain	mittakärki kappaleen mittaukseen
kmk	koordinaattimittakone
metrologia	mittaamisen tiedeala

1 JOHDANTO

Tässä työssä käydään läpi koordinaattimittakoneiden käyttö, niiden hyödyntämiskohteet, erilaiset ratkaisut ja miten ohjelmistoa MCOSMOS hyödynnetään mittauksen kanssa. Pääosa työstä on mittausohje MCOSMOKSEN CAT1000 alaohjelmaan ja yleisesti MCOSMOKSEEN. Työ tehtiin Tampereen ammattikorkeakoululle TAMK:lle. TAMK:illa on kaikki oikeudet käyttää heille tehtyä mittausohjetta ja työtä. Koordinaattimittakoneen ja erityisesti MCOSMOS puolen mittausohjelmien suunnittelu voi olla alkuun hyvin haastavaa, koska erilaisia toimintoja ja mittautapoja on niin useita. Tämän takia koitetaan työn avulla selventää koordinaattimittakoneen käyttöä ja mittausohjelman tekoa.

Koordinaattimittakoneita hyödynnetään yleisesti tuotannon puolella tuotteen laaadun tarkistuksessa. Isossa tuotannossa on tärkeää, että mahdolliset virheet kappaleen mitatuksissa saadaan tarkistettua ja vältetään virheellisiltä kappaleilta. Koordinaattimittakonetta voidaan hyödyntää esimerkiksi prototyyppien mitoitusten tarkkuuden selvittämisessä, mutta työssä tuodaan myös esille ratkaisuja, jota voidaan hyödyntää linjaston ohessa.

Työn pääpainoitus löytyy käyttöohjeesta, joka on TAMK:lle tehty. Käyttöohje on kirjoitettu sillä ajatuksella, että sen avulla pystyisi mittauksia tekemään henkilö, joka ei ole ennen koordinaattimittakonetta tai MCOSMOS ohjelmaa käyttänyt. Käyttöohjeessa käydään läpi esimerkiksi koordinaattimittakoneen käyttöä, nollapisteen määrittystä ja perus piirteiden sekä sovellettujen pintojen mittauksia. Työn tavoitteena ei ole esittää mittausohjetta ohjelmiston kaikkiin toimintoihin vaan opettaa perusteet, joilla pärjätä jo hyvin pitkälle koordinaattimittakonetta käyttäessä.

2 Koordinaattimittakone

2.1 Koordinaattimittakoneet yleisesti

Koordinaattimittauskone on laite, jolla mitataan fyysisen objektin geometriset mitat. Se käyttää kärkeä mitatakseen pisteitä kappaleen pinnalla. Koordinaattimittakoneiden kehitys alkoi 1950-luvulla Ferranti yhtiön toimesta, ja ne tulivat yleiseen käyttöön 1960-luvun alkupuolella. Alkuperäinen mittakone oli 2-akselinen ja pystyi näyttämään mitat XYZ-asteikolla. Myöhemmin 1960-luvulla koordinaattimittakone kehitettiin 3-akseliseksi. (Creaform 2021)

Creaformin (2021) mukaan koordinaattimittakoneiden yleinen käyttökohde on selvittää, vastaavatko kappaleen geometriset mitat alkuperäistä suunniteltua kokoa. Mittausprosessi on osa laadunvalvontaa ja sitä käytetään, jotta välttyttäisiin valmistuneiden kappaleiden virheellisiltä tuloksilta. Koordinaattimittakoneen hyödyntäminen laadunvalvonnassa manuaalisen tarkistuksen sijaan auttaa välttymään inhimilliseltä virheeltä esimerkiksi mittalaitetta käyttäessä tai lukiessa. Koneen käyttö useammassa tapauksessa myös nopeampaa ja tarkempaa. (Creaform 2021)



Kuva 1. Koordinaattimittakone (Rapiddirect 2021).

Tuotteiden valmistuksessa on tärkeää, että prototyypit ja jo valmiit kappaleet ovat mitoitukseltaan täysin oikeat. Koordinaattimittakoneilla pystytään tukemaan laadunvarmistusta ennen tuotteiden valmistuksen aloittamista ja prosessin aikana. Laitteiden käytöllä tuettu nopea ja tarkka laadunvalvonta edistää tuotantoprosessin sujuvuutta ja tasalaatuisuutta. Se säästää aikaa ja kustannuksia ja siten lisää tuottavuutta prosessin aikana. (Rapiddirect 2021)

Rapiddirectin (2021) mukaan tuotteet, joita tällä hetkellä valmistetaan ovat niin monimutkaisia ja korkealaatuisia, että manuaalinen tarkistus on vaikeampaa ja tehottomampaa kuin tarkoituksenmukaisen laitteiston hyödyntäminen. Tehokas laadunvalvonta nopeuttaa tuotantoa ja parempi tuotelaatu edesauttaa myönteistä mainetta ja tukee myynnin kasvua. (Rapiddirect 2021)

Koordinaattimittakoneen viisi keskeistä komponenttia ovat. Kärki tai luotain, graniittipöytä, kiinnittimet, ilmakompressorit sekä ohjelmisto. Seuraavaksi kuvataa näiden komponenttien ominaisuuksia ja tehtäviä. (Rapiddirect 2021)

Kärki on työkalu, jolla kappale mitataan. Kärki valmistetaan jäykästä materiaalista, mikä mahdollistaa tasaisen mittaustuloksen. Tästä kuitenkin seuraa riski, että kärki rikkoutuu erityisesti korkeilla mittaussnopeuksilla, koska materiaali ei jousta. Mitatessa täytyykin olla tarkka, jotta tietää kärjen sijainnin kappaleeseen verrattuna. Kärjen muoto on pallomainen ja se on usein valmistettu rubiinista ja zirkoniumista. On tärkeää, että kärki kestää lämpötilojen vaihtelua, jotta sen koko ei muutu mittauksia tehdessä. Toimennallisuudeltaan kärki mittaa useita pisteitä kappaleesta, jonka avulla mitattu alue saadaan esille tietokoneella. Ilmakompressoria käytetään liikuttamaan mittauskonetta, esimerkiksi kun kärki liikkuu mittauspisteestä toiseen. (Rapiddirect 2021)

Graniittipöytä, kärjen tavoin on materiaaliltaan hyvin kestävä ja siinä on tasainen pinta. On hyvin tärkeää, että pöytä ei muovaudu lämpötilojen muutoksesta. Materiaalin luonteesta johtuen se on usein hyvin pitkäkestoinen. Graniittia hyödynnetään usein mittausprosesseissa, jotka ovat hyvin tarkkoja, koska sen muoto pysyy samanlaisena pitkän ajan. (Rapiddirect 2021)

Kiinnittimien tehtävänä on tukea kappale tasaisesti ja tukevasti pöytään kiinni. Kiinnittimien täytyy olla tukevat, jotta kappale pysyy kiinni samassa paikassa mittauksen aikana tai eri mittausten välissä. Ne voivat olla esimerkiksi kiinnityslevyjä, magneetteja tai puristimia. (Rapiddirect 2021)

Ohjelmisto on työkalu, jota käytetään mittauksen asetusten säätämiseen ja tulosten seurantaan. Ohjelmalla voidaan myös määrittää mittausprosessi, eli mistä kohtaa kappaletta mitataan ja missä järjestyksessä. Tässä opinnäytetyössä ohjelma on MCOSMOS v5. (Rapiddirect 2021)

2.2 Erilaisia koordinaattimittakoneita

Siltatyypiset koordinaattimittakoneet ovat kolmella akselilla X, Y ja Z liikkuva mittausjärjestelmä. Akselit sisältävät anturin, joka seuraa kärjen sijaintia kappaleen pinnalla mikrometrin tarkkuudella. Pisteiden avulla kuvataan pinta-ala, jota halutaan mitata ja tarkkailla. Siltakoordinaattimittakoneissa voidaan jakaa koneisiin, joissa joko pöytä liikkuu tai siltaosa itsessään on liikkuva osa. Siltatyylinen mittausjärjestelmä on yksi tarkimmista koordinaattimittakoneista. Tämän tyyppisillä laitteilla ideaalit mittauskohteet ovat pieniä ja keskikokoisia kappaleita tai koneistettuja osia, joilla on korkea toleranssi. (Creaform 2021)

Siltakoordinaattimittakone on siis tarkka, mutta tarkkuuden saavuttamiseksi sisältää se huonoja puolia. Laitteet ovat hyvin kalliita ja vaikeasti siirrettäviä. On tärkeää, että laite säilytetään hyvin suojatussa sijainnissa poissa tärinän aiheuttamista riskeistä. Mitattavat osat täytyy aina tuoda koneeseen mitattavaksi ja niiden vaihtoprosessi on hieman monimutkainen. Laite voikin olla aloittejilla hieman vaikeakäyttöinen ja tästä syystä on tarpeen varmistaa, että mittausten tekijällä on riittävästi kokemusta laitteen käytöstä. (Creaform 2021)

Portaalityypiset koordinaattimittakoneet ovat hyvin samanlaisia siltakoordinaattimittakoneiden kanssa. Niiden käyttö on kuitenkin suunnattu isoille kappaleille. Portaalityypisissä mittakoneissa vältetään kappaleiden nostoa pöydälle, ja kappaleet ovatkin lattialla mitattavana. Nämä mittakoneet ovat kiinnitettynä suoraan lattiaan, jonka takia niiden siirtely on hyvin vaikeaa. Mittakoneet täytyy säilyttää omassa tilassaan, jotta vältetään ylimääräisiltä

haitoilta. Itse laite ja mitattavat kappaleet ovat hyvin alltiita tärinälle lattiakiinnityksen takia. Portaalityyppiset koordinaattimittakoneet on suunnattu isoille kappaleille, minkä takia ne ovat myös hyvin isokokoisia itsekkin. Mittakoneen toiminnot ovat sinällään samanlaiset siltakoordinaattimittakoneiden kanssa, ja niiden käyttöönotto on samalla tavoin hieman monimutkaista. (Creaform 2021)



Kuva 2. Leitz PMM-G on yksi maailman isoimmista koordinaattimittakoneista (Hexagon n.d.).

Vaakapuomiset koordinaattimittakoneet ovat suunnattua pitkien ja ohuiden osien mittaukseen. Niitä hyödynnetään esimerkiksi autoteollisuudessa levymetallien mittauksessa sekä muissa isokokoisten kappaleiden tarkastuksessa esimerkiksi rautatie-, ilmailu- ja laivanrakennusteollisuudessa. Mittakoneet ovat hyvin avoimet, jonka takia niiden rakenteeseen ja kappaleeseen on helppo päästä muokkaamaan. (Vaakapuomiset KMK:t n.d.)

Vaakapuomiset koordinaattimittakoneet ovat helpommin asennettavissa ja otettavissa käyttöön useisiin muihin koordinaattimittakone ratkaisuihin verrattuna. Niitä käytetään mittaamiseen usein sellaisissa tilanteissa, joihin yleisemmät koordinaattimittakoneet eivät yltä. Vaakapuomiset mittakoneet eivät vaadi suurta kiinnitysjärjestelmää ja ne ovat hyvin kustannustehokkaita. Verrattuna muihin koordinaattimittakoneisiin vaakapuomiset mittakoneet eivät ole kuitenkaan yhtä

tarkkoja. Tämän lisäksi laite sisältää samoja huomioitavia näkökulmia kuin muut mittakoneet. Se tarvitsee yhtä lailla oman tilan mittaukselle tärinän eston takia, sitä ei voi siirtää eikä kappaleiden vaihto ole suoraviivaista. Laite vaatii aiemmin kuvattujen laitteiden tavoin käyttökokemusta sujuvan ja täsmällisen mittausprosessin toteuttamiseksi. (Creaform 2021)

Siirrettäviä nivelvarsimittalaitteita käytetään usein linjaston yhteydessä. Mittalaitteet auttavat tarkistamaan mitat suoraan tuotannon yhteydessä ja näin välttämään kappaleen siirtämiseltä mittaustilaan. Mitattavan laitteen käsivartta käytetään mittakärjen liikuttamiseen ja mittojen ottamiseen kappaleesta. Nivelvarsimittalaitteen hyötyjä ovat sen kevyt paino, helppo siirrettävyys ja sijainti valmistuslinjaston lähellä. Laitetta on helppo käyttää, koska se ei vaadi ohjelmointia ja mittausratkaisuna se on kohtalaisen edullinen. Ohjelmoinnin puutteen takia inhimillisen virheen määrä kuitenkin kasvaa ja mittaustarkkuus ei ole yhtä vahva ja tasainen kuin muilla koordinaattimittakoneilla. Vaikka nivelvarsimittalaitetta käytetäänkin linjaston ohessa, on se samalla tavoin altis tärinälle kuin muut mittalaitteet. (Creaform 2021)










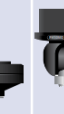




Optinen koordinaattimittakone on mittalaite joka skannaa kappaleen ja luo siitä 3D-datan perusteella mitat. Tulos on hyvin tarkka kehittyneen kuvan prosessoinnin ansiosta. Optiset koordinaattimittakoneet ovat nopeakäyttöisiä ja helposti siirrettäviä, minkä takia niitä voi myös käyttää linjaston luona. Optiset koordinaattimittakoneet ovat usein käytössä samanaikaisesti muiden koordinaattimittakoneiden kanssa. Niillä voidaan esimerkiksi yrittää pienentää tuotannon pullonkaulaa vähentämällä mitattavien kappaleiden siirtoa ja mittausta erillisessä koordinaattimittakoneetilassa. Tätä voidaan soveltaa esimerkiksi siten, että mitataan prototyypit siltakoordinaattimittakoneella, mutta tuotettavia kappaleita tarkistetaan linjaston yhteydessä optisella koordinaattimittakoneella. Optista koordinaattimittakoneetta on nopea käyttää eikä se ole kallis ratkaisu mittaamiselle. Optisesti mittaamalla vältetään kappaleiden kuljetuksesta ja kiinnityksestä mittaamista varten. Heikomman mittaustarkkuuden takia sitä käytetään kuitenkin usein aiemmin kuvatusti muiden koordinaattimittakoneiden yhteydessä. (Creaform 2021)

2.3 Crysta-Apex S

Crysta-Apex S on työssä käytettävä koordinaattimittakone. Koneen hyviä puolia on sen nopeus, tarkkuus ja joustavuus mittauksen aikana. Tämän ansiosta tarkkoja mittauksia kappaleesta pystyy tekemään nopealla tahdilla. Joustavuus mittalaitteesta jatkuu myös sen muokattavuuteen tulevaisuuden kannalta. Ohjelmiston pystyy päivittämään tai vaihtamaan uudempaan. Tämän lisäksi mittauskärjet voidaan vaihtaa erilaisiin ratkaisuihin. (OAMK Crysta Apex S 2015, 2)

Tarkkuus mittauksen aikana saavutetaan ohjelmiston algoritmeilla. Nämä asetukset määrittävät mittausreitit ja kappaleen sijainnin niin tarkasti, että vältetään geometrisilta virheiltä mittauksen aikana. Lämpötilan vaikutus mittaukseen on minimoitu. Laite täytyy kuitenkin säilyttää tilassa, jossa lämpötila on 16 celsiusasteen ja 26 celsiusasteen välillä. Näissä lämpötiloissa Crysta-Apex S näyttää mittaustuloksen, niin kuin se olisi mitattu 20 celsiusasteen lämpötilassa. Laitteen värinäestön takia, sitä voidaan säilyttää tuotantolinjalla lähellä, ja näin voidaan vähentää kuljetusaikaa mittauspisteelle. (OAMK Crysta Apex S 2015, 2)

Crysta-Apex S on käytettävissä erilaisten kärkien kanssa. Työssä käytetään kuitenkin vain kosketuksen avulla mittaavia kärkiä. Crysta-Apex S on yhteensopiva kosketuksen lisäksi mittaavilla kärjillä esimerkiksi laserin ja ilman laseria skannaavien luotainten sekä näköluotainten kanssa. Kärkien vaihto onnistuu mittauksen aikana ja se on automaattinen, kunhan vaihdon tekee ohjelmiston kautta. Kärjet, joita mitatessa käytetään, ovat pääasiassa pallomuotoisia ja voivat olla pienimillään halkaisijaltaan 0.3 mm. Kärjet ovat suurimmillaan 35 mm halkaisijaltaan. Varren pituuden ovat vaihdettavissa 10 ja 150 mm väliltä. (OAMK Crysta Apex S 2015, 3)

Contact									Non-contact						
Touch-Trigger					Scanning				Vision			Laser Scanning			
Fixed	Indexing		Fixed	Indexing		Fixed	Indexing			Fixed	Indexing		Fixed	Indexing	
PH1	PH10T	PH6M	PH10M	PH10MQ	SP80	PH6M	PH10M	PH10MQ	PH6M	PH10M	PH10MQ	PH6M	PH10M	PH10MQ	
															
															
TP200	PAA1+TP200	TP7M				SP25M			QVP			Surface Measure			
SCR200	ACR1	ACR3	SCR200		SCP80	ACR1	FCR25	ACR3	ACR1	ACR3		ACR1	ACR3		
Changer															

Kuva 3. Erilaiset luotaimet, jotka ovat yhteensopivia Crysta-Apex S:n kanssa (Mitutyo 2015).

3 MCOSMOS

MCOSMOS on Mitutoyo yhtiön valmistava metrologia-ohjelma. Ohjelmaa käytetään erilaisten kappaleiden mittaukseen. Mittausohjelmisto on tietokoneella käytettävissä ja yhdistetään mittauskoneeseen. Tässä opinnäytetyössä ohjelmaa käytetään koordinaattimittakoneen Crysta-Apex S kanssa. Ohjelmisto on käytössä 37 maassa ja on saatavilla 12 kielellä. Työssä käytettävä versio on MCOSMOS v5. (Mitutoyo n.d.)

MCOSMOS v5 on uusin versio MCOSMOS-ohjelmistosta. Ohjelmisto päivitetty versio sisältää päivitetyn käyttöjärjestelmän, MiCAT Planner -alaohjelman, joka on suunniteltu automatisoimaan osien ohjelmointia. Ohjelmisto on myös yhteensopiva isompien CAD-tiedostojen kanssa ja toimii nopeammin. Tämän lisäksi ohjelmaa on helpompi muokata omaan käyttöön esimerkiksi työkaluilla, jotka on asetettu nopeasti valittaviksi. (Mitutoyo n.d.)

MCOSMOS koostuu alaohjelmista, joita käytetään mittauksen aikana hallinnoimaan prosessia. Näitä alaohjelmia ovat esimerkiksi PartManager, System Manager, Geopak, CAT1000P ja CAT1000S. Tämän lisäksi ohjelma sisältää useita muita alaohjelmia, mutta nämä mainitut ovat työn kannalta asiaankuuluvia. (Mitutoyo Crysta-Apex S Series 2018, 10)

PartManager on hallinnollinen keskus ohjelmistoille. Sieltä voidaan valita kaikki mittaustehtävät. PartManagerin kautta voidaan avata muita alaohjelmia. PartManager säilöo kaiken dokumentaation ja datan. SystemManager näyttää 3D-mallina kaikki osat, jotka ovat käytössä mittausprosessissa. SystemManager:ssa voidaan muokata ja seurata eri osien sijaintia kiinnittimistä luotaimiin. (Mitutoyo MCOSMOS v5 n.d. 6, 7)

Geopak on ohjelma, jota käytetään kappaleen mittaukseen. Ohjelman avulla voidaan mitata kappaleen eri ulottuvuudet monella eri tapaa. Geopak on ohjelmoitavissa verkossa ja ilman verkkoa, mikä helpottaa tilanteissa, jos internet-yhteydet ovat heikot. Tämä vähentää riskiä, että ohjelma menee sekaisin tai työtä hukkaan. Ohjelma päivittyy reaaliajassa, jonka takia virheiden ilmetessä on helppo tehdä korjauksia. Jos ohjelma on suunniteltu valmiiksi pitkälle ilman

testausta, on vaikeata kuitenkin tehdä korjauksia keskelle ohjelmaa. Muokkaustyökalut voisivat olla joustavampia mittauksen kannalta. Geopak tukee 4 ja 5 akselista teknologiaa, jonka ansiosta mittaus luotain kärjillä on helpompaa ja kappaleen vaikeammatkin pinnat ovat mitattavissa. Geopak sisältää PTB-todistuksen geometrisia mittaus algoritmejansa varten. (Mitutoyo MCOSMOS v5 n.d. 8)

Renishaw (n.d.) mukaan PTB tulee sanoista Physikalisch-Technische Bundesanstalt, joka on kansainvälinen metrologia instituutti. Se tuottaa erilaisille asiakkaille tieteellisiä ja teknillisiä palveluita. PTB-todistuksen saaminen on tarpeellista, jos haluaa kilpailla Euroopassa tai kansainvälisillä markkinoilla. Mittauksessa jälkeen ohjelmisto luo automaattiset dokumentaation mittausprosessista, jos näin asetuksista valitsee. (Modus PTB certification n.d.)

CAT1000P/S-ohjelmat on suunniteltu automatisoimaan ja nopeuttamaan mittausprosessia. CAT1000-ohjelmisto suosittelee oikean kärjen käyttöä mittauksessa kappaleen perusteella. Ohjelmisto etsii oikean reitin kappaleen mittaukseen valittujen mittauspintojen perusteella. Tämän lisäksi CAT1000 ottaa huomioon kappaleen eri pinnat ja tasot ja välttää näitä muotoja mittauksen aikana, jotta kärki välttyy törmäyksiltä ja mahdolliselta rikkoutumiselta. CAT1000 esittää eri mittauspisteet 3D-muodossa kappaleessa. Kuten Geopak, on CAT1000 ohjelmisto myös käytettävissä ilman verkkoyhteyttä. Ohjelmisto tukee kahdeksaa erilaista reikämuotoa kappaleen mittauksessa. CAT1000P on CAT1000 -ohjelman ohjelmointipuoli ja CAT1000s on kappaleen pinnan arviointi vapaamuotoisesti. CAT1000S käytetään esimerkiksi mittaamaan kappaleen pinnan taipuisuutta CAD-datassa määritettyyn verrattuna. (Mitutoyo MCOSMOS v5 n.d. 10,12)

4 TAVOITE

Opinnäytetyön tavoitteena on ymmärtää koordinaattimittakoneen ja MCOSMOS v5-ohjelman käyttö niin laajasti, että pystyy tekemään käyttöohjeen Tampereen ammattikorkeakoululle hyödynnettäväksi erityisesti CAT1000 puolen mittauksissa. Aiheita, joita tässä työssä käydään läpi, ovat esimerkiksi nollapisteen määrittäminen sekä perusmittapiirteiden kuten pisteen, alan, ympyrän ja kartion mittaaminen. Tämän lisäksi selvitetään kuinka soveltaa opittua taitoa esimerkiksi mittaamalla useampi ympyrä kerralla, tai miten mitataan kaksi alaa urasta luomalla keskitaso niiden välille.

Opinnäytetyön tavoitteena on auttaa opiskelijaa ymmärtämään laitteen ja ohjelmiston käyttöä, vaikka aiempaa kokemusta ei olisi koordinaattimittakoneen käytöstä tai MCOSMOS-ohjelmoinnista ei olisi. Tämän toivotaan tukevan opiskelijan itsenäistä tutustumista aihepiiriin.

MCOSMOS ja CAT1000 ovat monimutkaisia ohjelmia, joista löytyy paljon mahdollisia mittaustoimenpiteitä ja -vaihtoehtoja. Opinnäytetyön tekijältä tämä edellyttää riittävän määrän toistoja ja harjoittelua, jotta pystyy soveltamaan ohjelmaa sillä tasolla, että perusteita on mahdollisuus kuvata riittävän selkeällä tavalla myös vasta-aloittelijoille. Tämän opinnäytetyön tavoitteena ei ole kertoa kattavasti sitä, mihin CAT1000 -ohjelmalla pystyy, vaan tutustuttaa sen perusteisiin, jotta kappale voidaan mitata tarkasti eri kohdista.

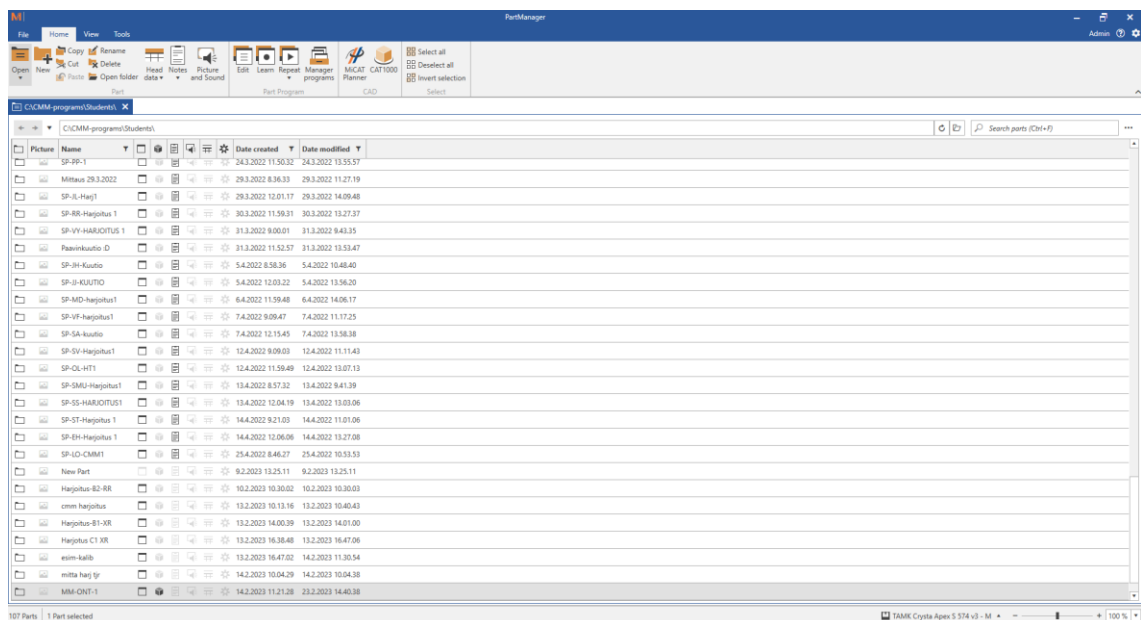
Erilaisten mittaustapojen kokeilu on sallittu ja kaikenlaista voi yrittää mittausratkaisujen löytämiseksi. Työ on pääasissa itsenäistä, jonka takia tutustuminen jo valmiiksi löytyviin yrityksen omiin käyttöohje materiaaleihin on tarpeellista. Opinnäytetyön yleistavoite on tulla tarpeeksi hyväksi mittalaitteen käyttäjäksi, jotta osaa kertoa selkeästi niin MCOSMOKSEN käytön kuin itse mittakoneeseen toiminnoista. Keskeisenä kysymyksenä ohjeen sovellettavuuden näkökulmasta on myös se, miten toimia mitatessa, mutta myös virheiden ilmetessä. Työssä pyritään esittämään erilaisia ratkaisuja mittausesimerkeistä.

5 CAT1000-ohjelman käyttöohje

Tässä kappaleessa käydään läpi käyttöohjeet CAT1000 -ohjelmalla mittaukseen. Jotta kappaleen mittaaminen CAT1000 -ohjelmalla on mahdollista, täytyy ensin määrittää MCOSMOS-ohjelman Geopak-puolella kappaleen nollapiste. Käyttöohjeen aikana käydään läpi eri osien mittausohjeet vuorotellen. Tavoitteena on, että henkilö joka ei entuudestaan tunne MCOSMOS:sen ja CAT1000:n käyttöä, pystyy tekemään perusteiset mittaukset ohjeiden avulla.

5.1 Mittauksen aloittaminen ja alkumäärittysten tekeminen: Geopak

Ennen töiden aloitusta avataan ilmanpaineventtiili, joka sijaitsee seinällä koneen vieressä. Ilmanpaine on päällä, kun vipu väännetään osoittamaan kohti suoraan ylös päin. Ilmanpainemittarista voidaan nähdä ilmanpaineen olevan päällä. Tämän jälkeen käynnistetään koordinaattimittakone virtanapista, joka löytyy koneen etupuolelta. Lopuksi painetaan vielä start-nappia koordinaattimittakoneen ohjaimesta. Laite on nyt valmis mittauksen tekoa varten ja MCOSMOS v5 -ohjelma voidaan avata.



Kuva 4. MCOSMOS v5 PartManager aloitussivu.

5.1.1 Ohjelman nimeäminen

Kun MCOSMOS v5 -ohjelma on avattu tietokoneella avautuu kuvan 4 mukainen etusivu eli ohjelman PartManager-osio. PartManagerin kautta voidaan avata eri MCOSMOS-ohjelmia, kuten CAT1000 tai Geopak. Samalla esillä on listattuna kaikki muut mittausohjelmat ja niiden nimet. Mittauksen tekoa varten halutaan tehdä oma ohjelma ja nimetä se, jonka takia aloitetaan mittaus painamalla Home välilehden NEW osiota ja nimetään kansio, jota käytetään. Kaikki mittausohjelmat saadaan lisättyä omaan kansioon. Kansio on hyvä nimetä tavalla, jolla sen tunnistaa jatkossakin eri mittauskertojen aikana.

Kansion nimeämisen jälkeen tarkistetaan, että oma kansio on valittanu klikkaamalla sen kohdalta ja varmistamalla, että kansion alue on maalattuna. Tämän jälkeen valitaan Home välilehdeltä Learn osio. Learn tila on oppimistila, jossa on hyvä suunnitella mittausohjelma testausta varten.

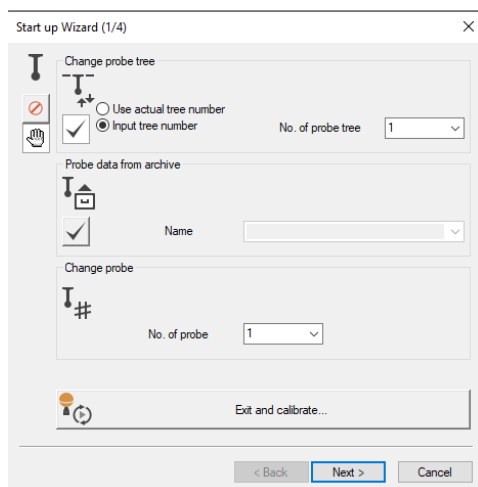
5.1.2 Kärjen valinta



Kuva 5. Eri mittauskärjet kärkitelineessä.

Aivan ensimmäiseksi ohjelma kysyy, mikä mittauskärki on käytössä tällä hetkellä. Kärkitelineestä tarkistamalla voidaan nähdä, mikä kärki on käytössä. Kärjen numerot ovat vasemmalta oikealla 1-4 järjestyksessä. Se kärkitelineen osa, joka on tyhjänä, on käytössä. Ohjelma yleensä tarjoaa automaattisesti oikean kärjen numeron valittavaksi, mutta on hyvä tarkistaa itse, että tämä tieto on oikea, jotta

ei tapahdu sekaannuksia kärkiä vaihtaessa. Valittuaan oikean kärjen ja painettuaan ok valitaan Expansion coefficient kohtaan 11.7 Armco iron – 0.



Kuva 6. Kärjen vaihto.

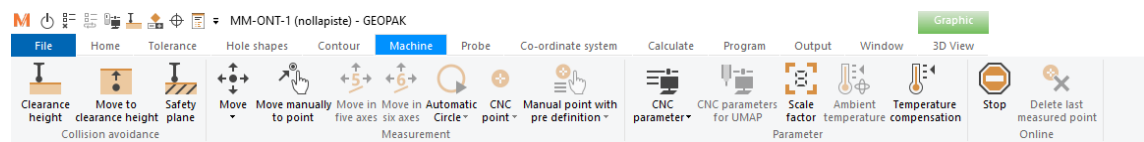
Hyvä kärki nollapisteen määrittämiseen on kärki numero 1. Siinä tilanteessa, kun kärki on mittausta aloittaessa jokin muu, on kärki hyvä vaihtaa jo tässä vaiheessa. Valitaan kuvan 6 mukaisesti Input tree number ja numeroksi probe tree:lle 1 ja painetaan "Next". Seuraavassa vaiheessa määritetään, että kyseessä on nollapisteohjelma, mutta tähän osioon ei tarvitse tehdä muutoksia. Alkumääritysten viimeisessä osiossa valitaan valikon vasemmalta puolelta ympyrä punaisella viivalla. Tämän valinnan myötä ei turhaan kerätä raporttia opetustilan mittauksista. Raportti kerätään esimerkiksi CAT1000 -puolella tai valmiista mittausohjelmasta. Tämän jälkeen ollaan Geopak-osiossa.



Kuva 7. Ohjain, joka ei ole käyttötilassa.

Jos kärjen vaihto on ajankohtaista jo tässä vaiheessa, saadaan vaihto aikaseksi vääntämällä nopeutta koordinaattimittakoneen ohjaimesta. Nopeutta säädetään vääntämällä nuppia, jonka alla lukee ”speed” ohjaimesta. Ohjaimen tulee esille nopeuden määrä, jota voidaan säätää välillä 0 – 100. Nopeuden voi määrittää jokainen käyttäjä itse. Tiukempien tilojen mittaamisessa tai pienillä kärjillä voi olla parempi käyttää pienempiä nopeuksia, kun taas esimerkiksi yläpinnan mittaamisessa voi hyvin käyttää isoja nopeuksia. Tämän seurauksena kone automaattisesti vie kiinni olevan mittauskärjen telineeseen ja vaihtaa sen uuteen valittuun kärkeen.

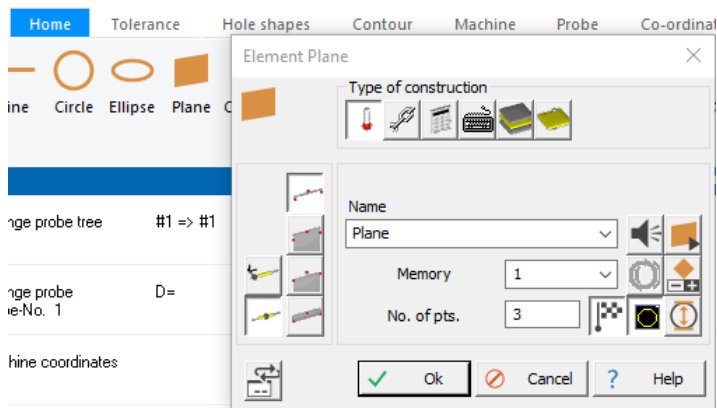
Valitaan Machine-välilehti yläpalkista, josta valitaan ”CNC parameter” osiosta ”CNC on/off”.



Kuva 8. CNC parameter

Tämän jälkeen tarkistetaan vasemmanpuolisesta mittausietotaulusta, että CNC on ”off” tilassa eli ei ole aktiivisena. Seuraavaksi valitaan program-välilehti, josta valitaan osio ”Programmable stop”. Valitaan text kohtaan ”Mittaa yläpintan 3:lla pisteellä” ja painetaan ok. Ruudulle ilmestyy ponnahdusikkuna, jossa komento toistetaan. Kuitataan ponnahdusikkuna painamalla ok nappia ja varmistetaan, että se katoaa, jotta voidaan jatkaa määrittämään pinnanmittaus pisteet.

Siirrytään Home-välilehdelle, josta valitaan mittaukseen Plane-osio. Valitaan vaihtoehto tehdä mittaus käsin kolmella pisteellä. Mittausasetuksena on ”mean” ja mittaus päättyy automaattisesti, kun kolme pistettä on mitattu. Kuva 9 on malli plane mittaus asetuksista. Kun valinnat on tehty ja ok painettu, kysyy ohjelma laitetaanko cnc päälle. Tähän vastataan manuaalimittaus tilanteissa aina ei.



Kuva 9. Plane mittaus asetukset.

5.1.3 Mittauspisteiden määrittäminen manuaalisesti

Mittausvalintojen jälkeen siirrytään koordinaattimittakoneen luokse. Mittakoneen ohjain toimii normaalitilassa siten, että suunnat ovat suoraan verrattavissa koordinaattimittakoneen asentoon.



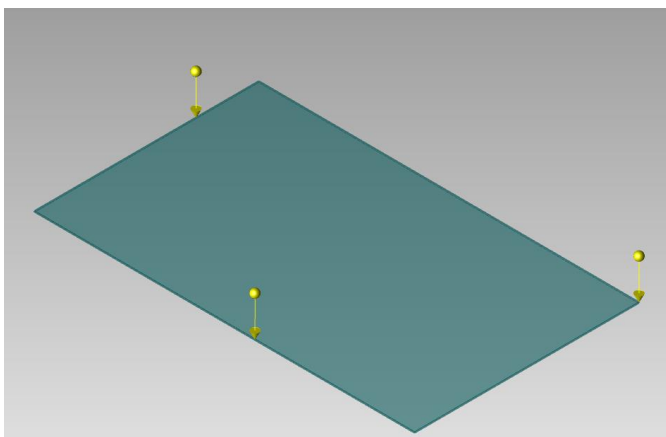
Kuva 10. Ohjain manuaalimittaus tilassa.

Vasemmanpuolisella "ZR" ohjaintikulla liikutetaan mittakoneen liikkuva osaa Z ja R suunnassa eli pääasiassa ylös ja alas. Oikeanpuolisella "XY" ohjaintikulla liikutetaan konetta X ja Y -akselilla. Speed-nupilla määritetään koneen liikkuvan osan nopeus. Nopeus on hyvä pitää 0:ssa aina mittauksen lopetettua, jotta ei tapahdu yllätyksiä. Mitataan ala kappaleen tasaiselta yläpinnalta. Tuodaan kärki ohjaimen avulla mitattavan pinnan lähelle.

Kun kärki on tuotu pinnan lähelle painetaan ohjaintikun päästä löytyvää nappia. Tämän jälkeen ohjaimen nopeustiedon sijalle tulee kirjain "L". Ohjain on manuaalisessa mittaustilassa. Seuraavaksi painetaan vasemmanpuolisella ohjaintikulla kärki alas pintaan, kunnes kuuluu mittauksen kontaktiääni. "L"-mittaustila voidaan ottaa tämän jälkeen pois päältä painamalla uudelleen ohjaintikun päältä löytyvää nappia ja kärki siirretään uuteen mittauspisteeseen.

Mittauspisteet eivät saa olla tasaisena suorana, minkä takia on hyvä siirtää kärkeä hieman ylöspäin Y-akselilla ja oikealle X-akselilla. Samaan aikaan Geopakin ohjelmassivulla mittauspisteiden pitäisi olla päivitettyinä. Ensimmäisen mittauksen jälkeen mittaustila on 2/3. Tämä tarkoittaa, että vuorossa on toisen pisteen mittaus. Kun toinen mittauspiste paikka on löydetty, toistetaan sama mittausprosessi kuin ensimmäisellä pisteellä. Manuaalisen mittauksen ajaksi on muistettava asettaa "L"-mittaustila päälle ohjaintikun päästä. Mittaustila voidaan ottaa taas pois päältä, kun on toinen mittauspiste on merkattu ja kärki on käynyt kappaleen pinnassa sekä mittausääni on kuulunut.

Näiden toimenpiteiden jälkeen tulisi mittaustilan olla 3/3-tilassa. Kärki siirretään eri tilaan X-akselilla ja Y-akselilla. Kolme pistettä voivat muodoltaan olla esimerkiksi kolmion muotoisesti. Jokainen kärki on hieman eri paikassa X ja Y -akselilla. Jälleen mittaamisen ajaksi laitetaan "L"-mittaustila päälle ohjaimesta ja suoritetaan viimeinen yläpinnan mittauspisteiden mittaaminen. Kolmannen mittauspisteiden jälkeen prosessi päättyy automaattisesti, koska näin tehtiin valinnoissa ennen pinnan mittauksen aloittamista. Toimenpiteiden jälkeen Geopak-tilaan pitäisi tulla tämän tyylinen mittaustieto esille.

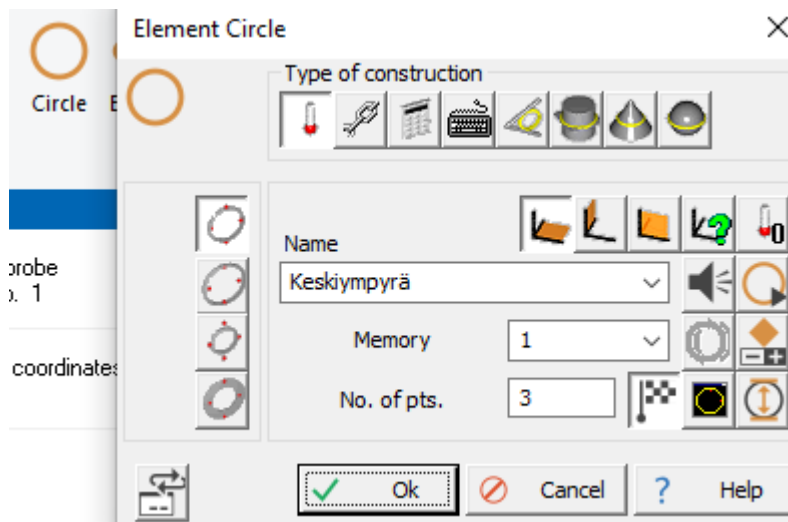


Kuva 11. Pinnan mittaus kolmella pisteellä.

Kuvasta 11 nähdään kolme eri mittauspistettä, jotka ovat luoneet niiden sisään mitatun pinnan kokonaisuuden. Mittauksen jälkeen valitaan Co-ordinate system välilehti, josta löydetään align base plane -osio. Valitaan tämä osio, jonka jälkeen tarkitsetaan, että align element on plane ja Coor. plane:n on valittuna XY-taso. Tällä toimenpiteellä määritetään, että kaikki plane pisteet ovat samalla tasolla korkeussuunnassa.

5.1.4 Ympyrän keskireiän mittaaminen manuaalisesti

Seuraavana toimenpiteenä on valita program-välilehdeltä jälleen programmable stop. Tässä tilanteessa valitaan kuitenkin mitattavaksi ilmoitukseksi ”Mittaa keskireikä 3p”. Programmable stop:ien tarkoituksena on selkentää ohjelman eri vaiheita, kun ohjelmaa esimerkiksi jatkossa editoi tai seuraa prosessia tuotannossa. Jälleen täytyy muistaa kuitata ponnahdusikkuna ilmoitus, kun programmable stop on asetettu. Ilmoituksen jälkeen valitaan Home välilehdeltä circle-mittaus manuaalisesti kolmella pisteellä. Näkymä alla kuvassa 12.



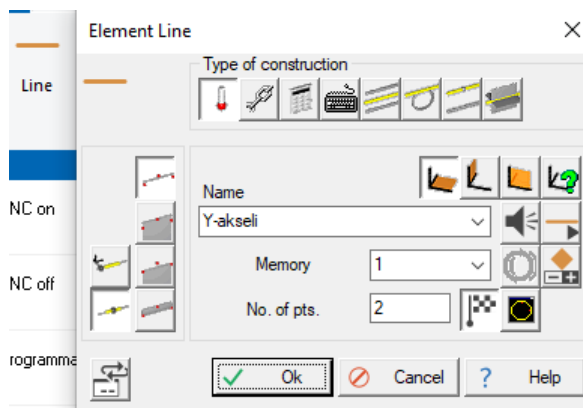
Kuva 12. Circle mittaus kolmella pisteellä.

Mitatuksi tavaksi valitaan keskiarvo ja manuaali mittaustyyli samoin kuin plane mittauksessa. Koordinaattimittakonetta liikutetaan samalla tavoin kuin aikaisemmin. Kärki siirretään kappaleen keskireiän sisälle. Kun kärki siirretään koskettamaan keskireiän sisäreunaa, painetaan jälleen ohjaintikun päästä napilla kone manuaaliseen mittaustilaan ”L”. Mitataan tasaisesti kolme mittauspistettä

keskiympyrän sisältä. Kun kolme pistettä on mitattu, päättyy manuaalinen mittaaminen automaattisesti. Co-ordinate system -välilehdeltä valitaan create origin osio. Tarkistetaan, että aligment-elementtinä on keskiympyrä ja Coordinate:ssa valittuna XY-origo.

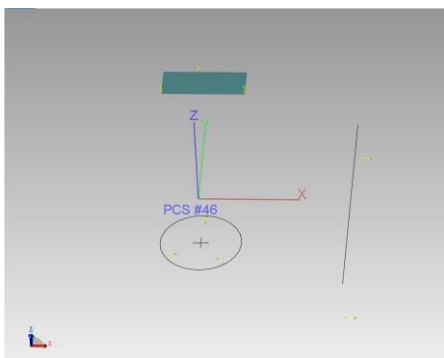
5.1.5 Viivan määrittäminen manuaalisesti

Viimeiseksi nollapisteen määrittämiseen mitataan viiva kappaleen oikeanpuoliselta kyljeltä. Valitaan Home-välilehdeltä Line-osio. Mitataan viiva kahdella pisteellä kolmen sijaan ja valitaan mittaussuunnaksi Y-akseli, koska tässä suunnassa mitataan pisteet kylkeä pitkin.



Kuva 13. Line mittaus kahdelle pisteellä.

Mitataan pisteet kappaleen oikealta kyljeltä Y-akselilta aloittamalla ensimmäisen pisteen otto kappaleen oikean kyljen etuosasta ja seuraava piste kappaleen oikean kyljen takaosasta. Kun kaksi pistettä on mitattu, näkyy Geopak:ssa kaikki mitattavat pisteet kuvan x mukaisesti. Jos akselit osoittavat väärin voi niitä kääntää move and rotate coord. system osiosta.



Kuva 14. Mitatut pisteet.

Tämän jälkeen voi omia mittaustuloksia tarkistella result-osiosta, joka on Geopakin vasemmalla puolella. Results-osiosta nähdään tarkat mitat, mitkä on kyseisillä alueilla mitattuna. Results-osiota kannattaa seurata mittausten aikana.

00007	Plane Plane (1)	Ce	X= Y= Z=	250.769 356.933 336.521	A= B= C=	89:53:46 89:57:34 0:06:41	L=	337.227
00010	Align base plane Plane (1)		XY plane, Origin in element					
00011	Programmable stop (1)		Mittaa keskireikä 3:lla pisteellä					
00012	Circle Keskiympyrä (1)		X= Y= Z=	251.872 315.104 -14.349	A= B= C=	90:00:00 90:00:00 180:00:00	D=	20.008
00015	Create origin Keskiympyrä (1)		XY					
00016	Line Y-akseli (1)	Ce	X= Y= Z=	37.491 -1.594 0.000	A= B= C=	90:09:46 179:50:14 90:00:00	L=	37.495
00019	Align axis Y-akseli (1)		XY plane 2nd Axis Y-akseli					
00020	Move and rotate coord.system (1)		Z axis A=	X= Y= Z=	0.000 0.000 0.000			

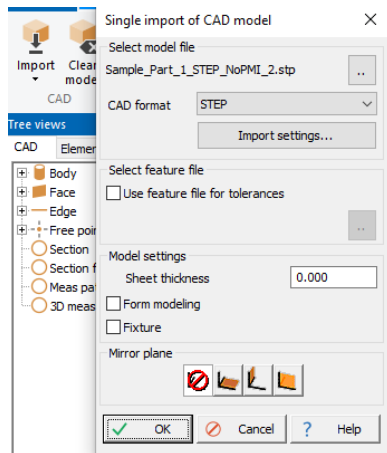
Kuva 15. Results.

Manuaalisten mittausten jälkeen määritetään viivan align axis parallel to axis XY akselin mukaan. Tämän osuuden lopuksi tallentetaan ohjelma Co-ordinate system -välilehdeltä store co-ordinate system avulla. Tallennettavaksi numeroksi valitaan, jokin 0 – 100 välillä. Kuvien numero esimerkissä PCS #46 kuvaa tallettuna numerona 46:sta. Oikeassa tilanteessa ovat XYZ -akselit kuvan 14 mukaisessa asenossa. Tämän jälkeen voimme poistua Geopakista valitsemalla File-osion, josta painetaan exit. Viimeiseksi valitaan save part program, jossa testiohjelma tallennetaan.

5.2 Mittaaminen CAT1000 -ohjelmalla

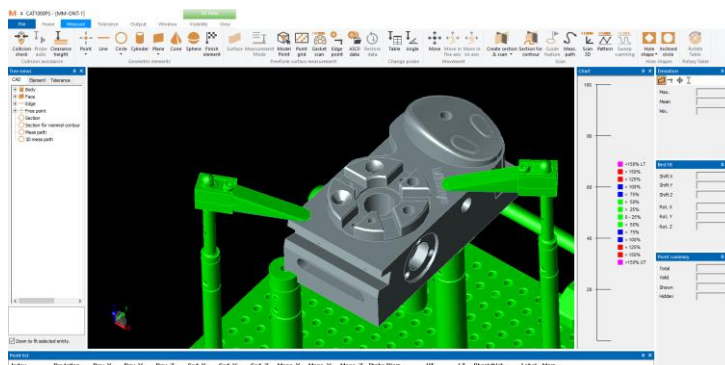
Tässä kappaleessa käymme läpi ohjeet CAT1000 puolen mittaamiiseen nollapisteen määrittämisen jälkeen. CAT1000 mittausprosessi on automatisoitu Geopakia enemmän, minkä takia on tärkeä kiinnittää huomiota asetuksiin mittausta määriteltäessä. Tässä ohjeessa käydään läpi perinteiset mittaustavat, kuten pisteen mittausta, pinnan mittausta, ympyrä, kartio, pinnan laatu ja kuinka mitata monta kohdetta kerralla. CAT1000-ohjelman saa avattua PartManager etusivulta Home välilehdeltä. Löytyy kuvasta 4.

5.2.1 Import file



Kuva 16. Import file.

Ennen mittaamista on hyvä käydä läpi muutamat perinteiset asetukset. Ensiksi on tarve tuoda CAD-tiedosto CAT1000-ohjelmaan mitattavaksi. Koordinaattimittakoneen pyödältä löytyy kappale ja kiinnittimet, joilla malli on pöydässä kiinni. Mittauksen kannalta on hyödyllistä, jos kiinnittimet ovat nähtävissä CAT1000-ohjelman sisällä, jotta ohjelma voi ottaa ne huomioon mitatessa. Tähän ratkaisuksi löytyy liittämällä kiinnittimien 3D-malli kappaleen 3D-mallin Solidworks-ohjelmalla. Ratkaisu on heikko tuotannon kannalta, koska tämä vaatii jokaiselle eri kappaleelle saman mallinnusprosessin Solidworksin sisällä. Testaustyön kannalta, kun käytetään vain yhtä ja samaa kappaletta on järkevää yhdistää kiinnittimet Solidworks:ssä osaksi samaa 3D-mallia. Import osion kautta valitaan STEP CAD format, joka on Solidworksin tiedostomalli ja valitaan ”...” osiosta itse kappale, jota mitataan.

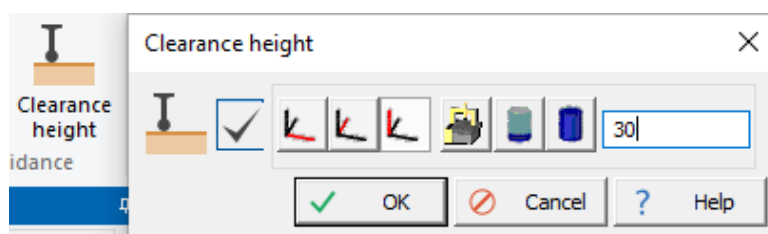


Kuva 17. CAT1000 etusivu

CAD-mallin lisäämisen jälkeen kuuluu CAT1000 etusivun näyttää kuvan 17 mukaiselta. Kiinnittimet ja kappale ovat molemmat nähtävissä. Tärkeä collision check toiminto ei tule toimimaan ellei kiinnittimet ja kappale ole yhdessä ja samassa tiedostossa kiinnitettynä. Tarkistetaan, että XYZ-akselit ovat oikeassa asennon kuvan 17 mukaisesti. Jos akselit ovat eri asennossa, niitä voidaan muokata Home-välilehden Change CSS -osiosta. Change CSS osiosta voidaan kiinnittää nollapiste mittakoneen kanssa yhteen. XY -akselit valitaan keskiympyrän sisältä ja Z -akseli eli korkeus kappaleen pinnalta, jossa kiinnittimet ovat kiinni.

5.2.2 Clearance height ja Collision check

Mitatessa ohjelma määrittää reitin, jota pitkin mittauskärki kulkee mitatessa eri pisteet tai pinnat. Ohjelma ei automaattisesti ota huomioon kappaletta ja kiinnittimiä, minkä takia näiden väistämiseen on muutama keino. Jos mitataan yläpintaa voi käyttää esimerkiksi Measure välilehdeltä löytyvää Clearance height -osiota, josta voi määrittää clearance height Z – akselille 25-30 mm.



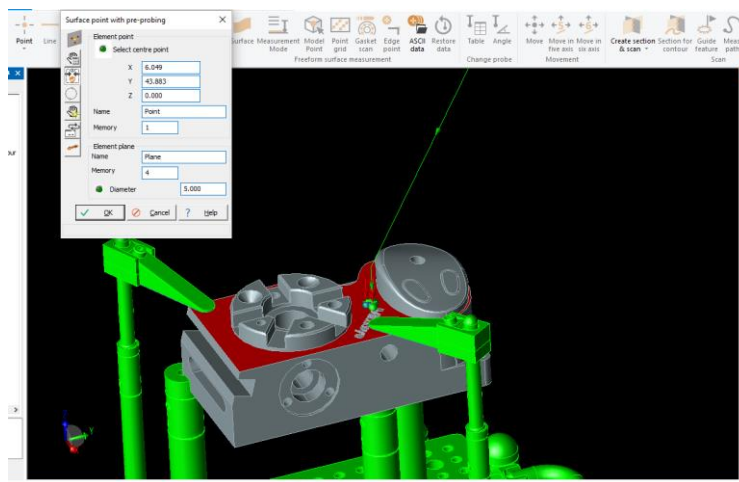
Kuva 18. Clearance height Z – akselilla.

Tässä tilanteessa, kun CAT1000 määrittää mittausreittiä, kulkee se aina 30 mm kappaleen yllä ennen, kun se laskeutuu mitaamaan pisteet. Toinen tapa on valita mitatessa collision check, jonka avulla ohjelma ottaa automaattisesti huomioon kappaleen pinnat mittausreittiä tehdessä ja väistää niitä. Kannattaa huomioida, että collision check:ia ja clearance height:ia ei voida käyttää saman aikaisesti. Suurimmassa osassa tilanteita on suositeltavaa käyttää collision check:ia. Collision check ottaa kaikki kappaleen pinnat huomioon samanaikaisesti ja tekee tehokkaimman reitin mittaamiselle. On kuitenkin tilanteita, joissa collision check:n

kanssa on vaikea saada oikeaa mittaustulosta aikaiseksi, mutta palataan niihin tässä työssä myöhemmin.

5.2.3 Piste ja Plane by grid mittaus

Ensimmäisenä käydään läpi pisteen mittaus kappaleen yläpinnalta. Piste eli ”Point”-osio valitaan ensimmäisenä, jonka jälkeen valitaan avautuneesta valikosta Collision check -kohta ennen kuin mitattavan pisteen sijainnin valintaa. Collision check löytyy avautuneen ikkunan vasemmanpuoliselta riviltä. Collision check on kolmas ylhäältä alas, mutta tämän voi vielä tarkistaa viemällä hiiren kohdan päälle.

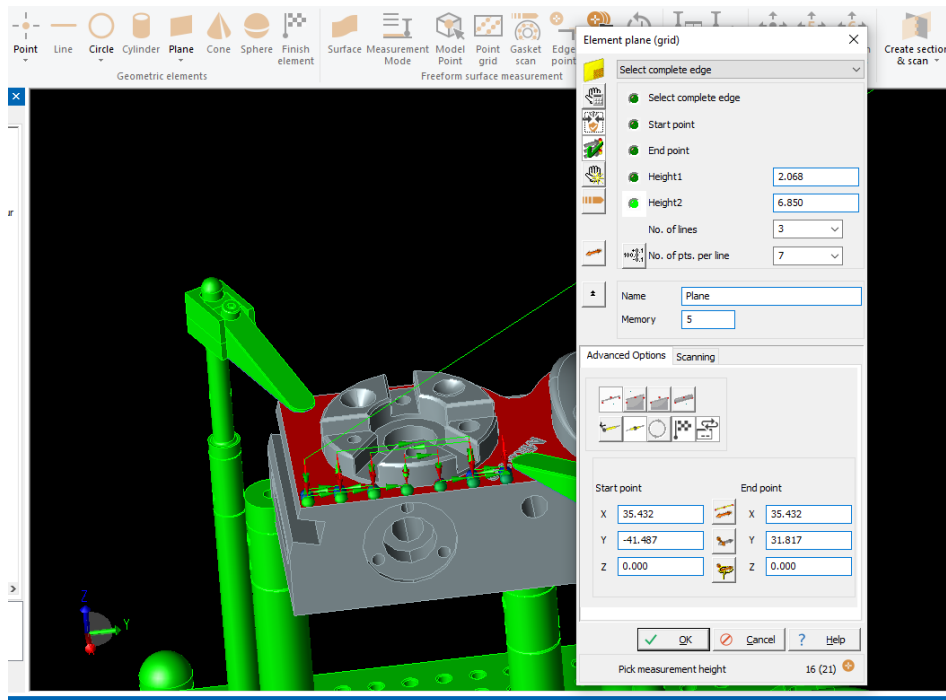


Kuva 19. Pisteen mittaaminen.

Jos mitattavan pinnan pisteen on jo valinnut ennen collision check valintaa, voi reitin määrittää uudestaan collision check:n yläpuolelta löytyvästä ”Calculate”-napista. Kuvasta 19 nähdään, että pintapiste on valittu yläpinnalta. Piste on itseasiassa neljän lähekkäin mitatun pisteen sisäinen alue. Kuvasta 19 nähdään myös kuinka CAT1000 ottaa collision check:n kanssa huomioon kappaleen yläpinnan muodot ja mittausreitti kulkee osumatta eri pintoihin. Ennen kuin painetaan ok-nappia, on hyvä tarkistaa, että koordinaattimittakoneen nopeudet ovat nollassa. Mitatessa saattaa unohtaa koneen nopeuden epähuomiossa 100:an kärkeä siirrettäessä. Automaattisen mittauksen aikana kone liikkuu manuaalista ohjausta nopeammin. Näissä tilanteissa erityisesti, jos on

mittausreitit kanssa virheitä, voi kärki nopealla vauhdilla törmätä kappaleeseen. Kun ok-nappia on painettu ja on nopeudet säädetty sopiviksi aloittaa kone automaattisen pisteen mittauksen kappaleen valitulta pinnalta.

Pisteen mittauksen jälkeen voidaan siirtyä tilaan plane eli pinnan mittaamiseen. Plane mittaus osioista voi painamalla valita eri mittaustavat plane by grid ja plane by gasket. Valitaan plane mittaamiseen plane by grid.



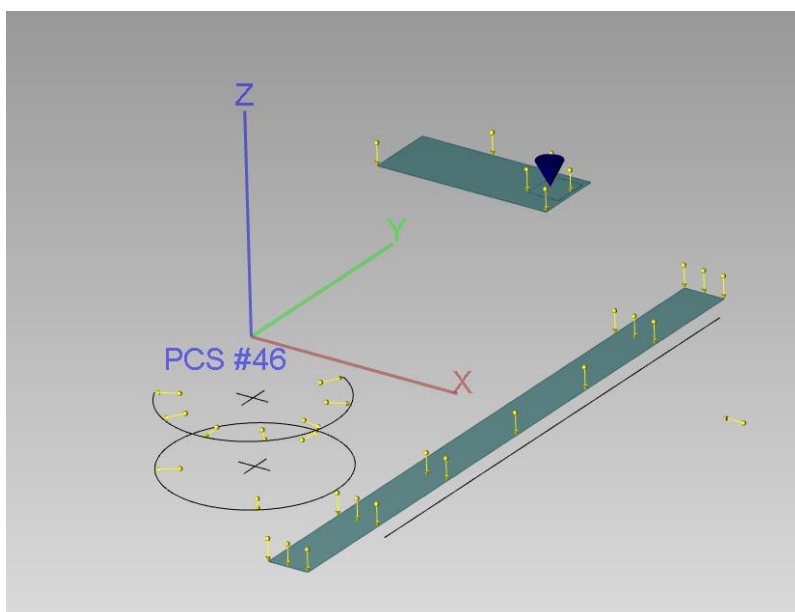
Kuva 20. Plane by grid mittaus.

Pinnan mittauksessa voi olla hiukan vaikeuksia saada määriteltyä mitattava alue erityisesti, jos pinta sisältää eri tasoja niin kuin työssä käytetyssä kappaleessa on. Yllä olevasta Plane-mittaus ponnahdusikkunasta (kuva 20) nähdään 5 eri vaihdetta. Nämä ovat: select complete edge, start point, end point, height 1 ja height 2.

Lähdetään liikkeelle laittamalla päälle collision check:n, jotta ohjelma ottaa huomioon kappaleen kokonaisuudessaan määrittäessä reittiä. Tämän jälkeen valitaan complete edge eli valitsemme pinnan, jota haluamme mitata. Kuvasta 20 nähdään, että valittu pinta näkyy punaisena. Tässä vaiheessa ohjelma todennäköisesti tarjoaa jo mahdollista aluetta mitattavaksi. No. of lines ja No. of pts. per line -toiminnot määrittävät kuinka monta mittauspistettä ohjelma yrittää

mitata vaiheen aikana. Mittausviivojen ollessa 3 ja pisteitä viivaa kohden 7 on tavoiteltu mittauspisteiden määrä yhteensä 21. Kuvan 20 alakulmasta nähdään kuitenkin esimerkiksi, että pisteitä mitattaessa on tältä alueelta saatavana vain 16 pistettä 21 sijaan.

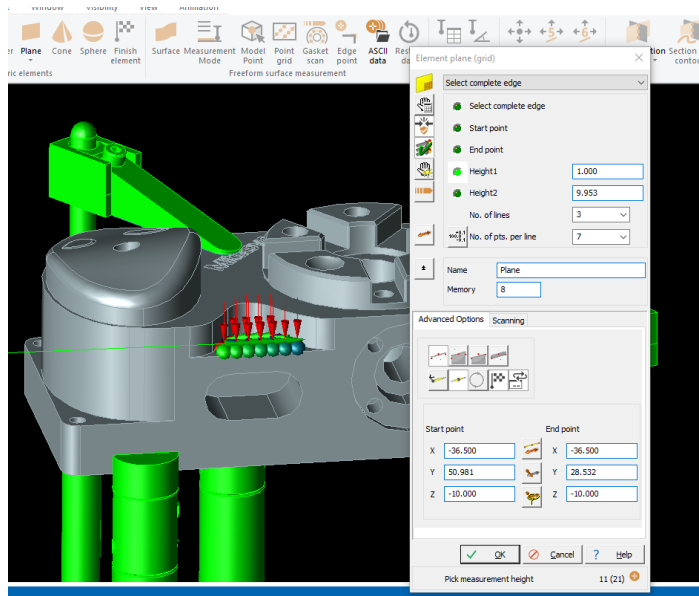
Kun mitattava pinta on valittu, on aika määrittää start point eli aloituspiste, joka mitattavalle alalle halutaan. Aloituspiste valitaan hiirellä painamalla siihen kohtaan mistä halutaan mittauksen alkavan. Aloituspisteen jälkeen tulee määrittellä myös end point, joka on mittausradan toisella puolella lopetuspisteessä. Start point ja end point määrittävät mittausalun Y-akselin suunnassa. Tämä on hyvä pitää mielessä, kun määrittää näitä pisteitä. Height 1 ja height 2 määrittävät kappaleen alan X-akselin suunnassa. Jokaista vaihetta voi säätää ja muuttaa. On kuitenkin tilanteita, että mittausradan ollessa sekaisin ohjelman itse sitä määrittäessä, on helpompi keskeyttää mittausradan teko täysin ja aloittaa alusta.



Kuva 21. Piste ja plane by grid mitattuna.

Mittauspisteitä seuraamalla nähdään, kuinka kappaleen yläpinnan ympyrä kehän läheltä ei ole saatu mitattua kaikkien pisteiden osalta. Ala, joka on mitattu, on kuitenkin hyvin selkeä. Onkin hyvä huomata, että plane-mittaamisessa ei ole välttämättä tarpeellista olla kaikkia 21 pistettä mitattuna ja tämän takia pieni jousto ei haittaa. Jos pinta on tasainen, voi pisteiden määrää lisätä, jolloin mittaus

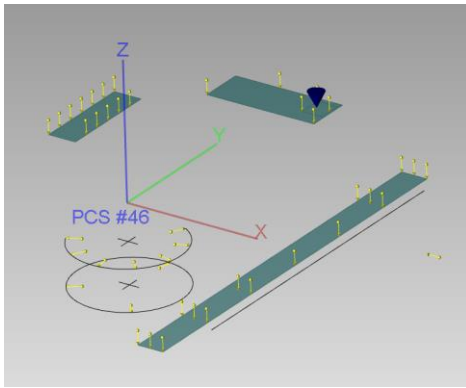
on tarkempi. Plane-mittaus on tärkeä mittausharjoitus, jonka takia käydään vielä yksi haastavampi esimerkki läpi mittauksesta.



Kuva 22. Plane mittaus haastavampi esimerkki.

Hiiren oikealla näppäimellä pystyy kappaletta kääntämään, jolloin löydetään kappaleen toiselta kyljeltä pinta, joka on kaarteen sisällä. Tässä työssä käytetyssä esimerkkitapauksessa olisi ollut mahdollista vähentää automaattisesti mitattujen pisteiden tavoitemäärää. Kuvasta 22 näkyy, että tilasta on mahdollista mitata vain 11 pistettä.

Aloitetaan kuittaamalla collision check päälle, minkä jälkeen valitaan pinta, jota halutaan mitata. Esimerkkitaapauksessa ohjelma tarjosi jo automaattisesti tarkkaa mittausalaa, mutta säätämällä X ja Y –akselin mittoja start point ja end point sekä korkeuksilla height ja height 2 oli mahdollisuus saada hieman tarkempi mittaustulos koko alueesta. Start point ja end point koordinaatit löytyvät ponnahdusikkunan alapuolelta ja height 1 ja height 2 koordinaatit löytyvät niiden oikealta puolelta (kuva 22).

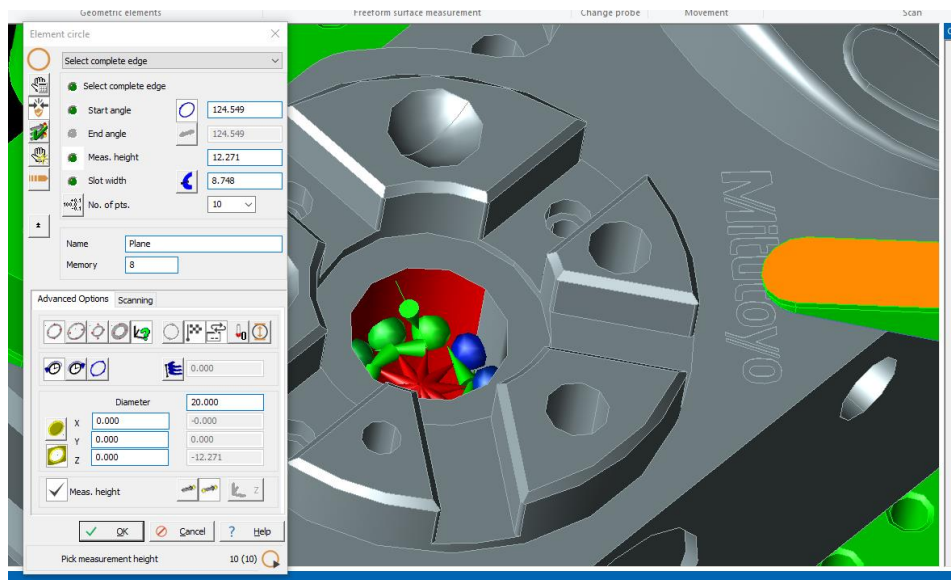


Kuva 23. Pinnan mittaus haastavammasta kohtaa

Mittaustuloksesta (kuva 23) nähdään, että vain kaksi mittausriviä on mitattuna. Rivien määrää olisi voinut muuttaa jo ennen mittausta, jolloin olisi mahdollisesti saatu tarkempi mittausulos. Näin olisi vältytty siltä, että ohjelma ei olisi turhaan koittanut rakentaa mittausreittiä, jossa on kolme riviä.

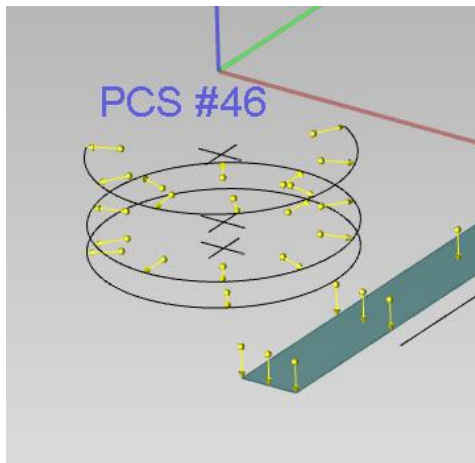
5.2.4 Ympyrän kehän mittaus, kärjen käänö ja vaihto

Seuraavaksi siirrytään mittamaan ympyrän kehän mitat. Valitaan mitattavaksi kohteeksi sama keskiympyrä, joka mitattiin Geopakin puolella manuaalisesti. Tässä harjoituksessa tehdään mittaukset collision check ja clearance height -toimintoja käyttäen. Kummassakin tapauksessa testejä tehdessä on ilmennyt jonkin verran ongelmia tuloksen saamiseksi. Collision checkin tapauksessa ilmeni, että kärjen asetettua kauemmas kappaleesta, ohjelma ei jostain syystä osaa tehdä koko ympyrän kehän läpi mittausta. Määritetyt pistemäärät kehän ympäri olivat 10, mutta CAT1000 osasi tehdä collision check:n kanssa vain 7-8 pisteen mittauksia. Näin ollen koko ympyrä ei tullut mitatuksi. Clearance height:n osalta ongelmaksi muodostui se, että vaikka asetti mitta-arvoksi Z-akselille 30 mm korkeutta, kärki osui kappaleeseen joka kerta. Ratkaisu mittausongelmaan oli tuoda kärki valmiiksi reiän yläpuolelle. Tällöin CAT1000 osasi mitata koko kehän ympyrästä 10 pisteellä.



Kuva 24. Ympyrän sisältä kehän mittaus.

Comple edge:n avulla valitaan pinta, jota halutaan mitata keskiympyrän sisältä. Start angle ja Meas. height auttavat määrittämään korkeuden, josta mittaus otetaan. Slot. width. määrittää pisteiden etäisyyttä toisistaan kehällä. Kannattaa huomioida, että Slot. width. ei tarvitse säätää mitatessa paitsi tilanteissa, jolloin itse haluaa tietyn tarkan etäisyyden pisteiden välillä. Mittauksen jälkeen mittaustulos on kuvassa 25.

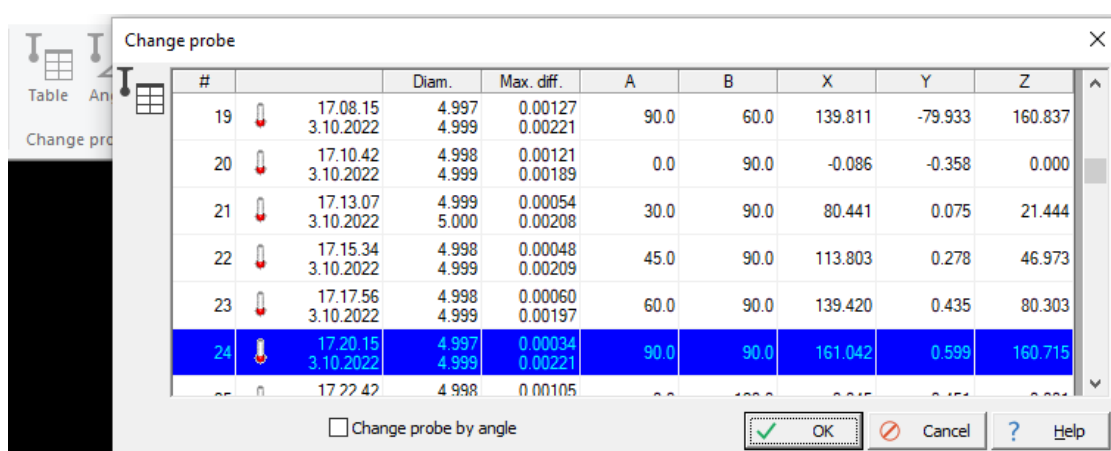


Kuva 25. Ympyrän mittaus tulokset

Kuva 25 havainnollistaa eri mittaustapojen erot. Geopakilla mitattu kolmen pisteen ympyrä pohjimmaisena, keskimäinen 10 pisteellä mitattu ympyrä ja ylimmäinen keskeneräinen 7 pisteellä mitattu ympyrä. Jälkimmäinen tulos saatiin, kun ympyrää yritettiin mitata ilman, että kärkeä olisi vielä asetettu ympyrän yläpuolelle. Koska kappaleesta on mahdollista mitata useampi ympyrän kehä,

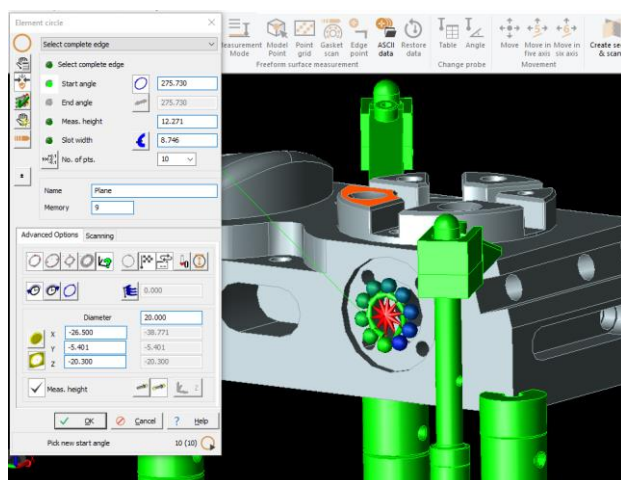
käydään vielä läpi yksi esimerkki ympyrän muotoisen alan mittauksesta. Esimerkkinä käytettävästä ympyrästä on kappaleen vasemmanpuoliselta kyljeltä (kuva 27), jonka takia täytyy kärjen suuntaa vaihtaa.

Probe-välilehdeltä löytyy change probe by table, josta näkyvät kaikki valmiiksi tehdyt asetukset kärjen kääntämistä varten. Kun mittakärkeä kääntää, täytyy olla tarkkana, että kärki on asetettu tarpeeksi kauas kappaleesta ja koordinaattimittakoneen eri osista. Kun kärjen käännön käynnistää, on toimenpide keskeyttämätön. Kärjen rikkoutuminen on mahdollista, mikäli kärki törmää johonkin osaan. Tässä täytyy siis olla tarkkana.



Kuva 26. Kärjen kääntäminen 90 asteen kulmaan oikealla.

Esimerkkitapauksessa kärki halutaan kääntää 90 astetta A ja B -akselin suhteen, jotta kärki osoittaa oikealla 90 asteessa. Tämän jälkeen pystytään mittamaan kappaleen vasemman kyljen ympyrän sisältä mitat.

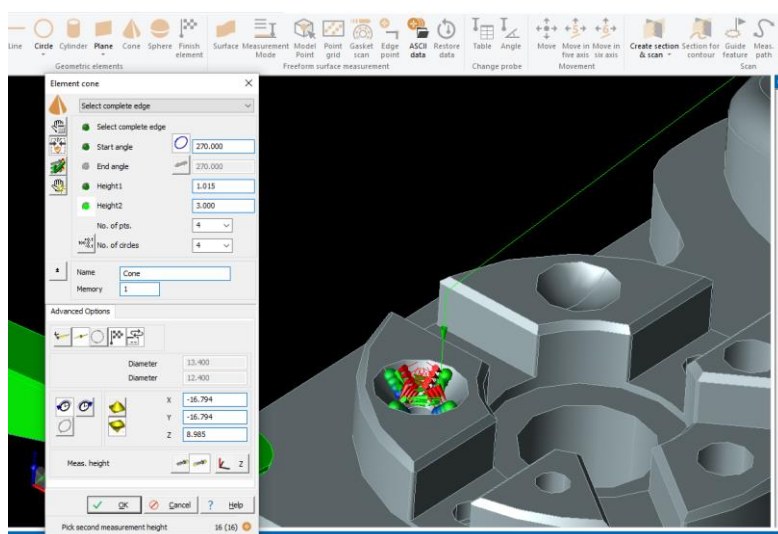


kuva 27. Vasemman kyljen ympyrän mittaaminen

Muuten mittaamistapa on samanlainen, kun mitatessa kappaleen yläpinnalta. Valitaan pinta ja mistä kohtaa ympyrän sisältä mittausta tehdään. Kun on kyseessä isompi ympyrä, voi halutessa käyttää useampaa kuin 10 pistettä kappaleen mittaukseen. Kappaleen sivulta mitatun ympyrän jälkeen käännetään kärki takaisin perusasentoon 1 eli 0 kulmaan change probe by table -osiosta. Tässäkin tilanteessa täytyy olla tarkkana, jotta kärjellä on tarpeeksi tilaa kääntyä takaisin perusasentoon.

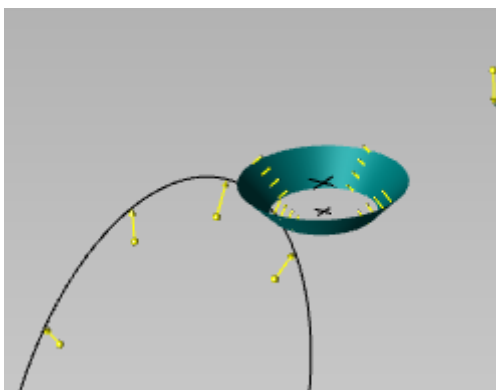
Seuraavaksi halutaan vaihtaa kärkeä yläpinnan kartiopinnan mittaamiseen, koska kärjen 1 avulla ei ole mahdollista mitata tätä pintaa. Tämä käy ilmi, koska ohjelma ilmoittaa, että ei ole tarpeeksi tilaa mitata tätä kohdetta. Ongelma katoaa, kun vaihdetaan esimerkiksi pienempään kärkeen 4. Kärjen vaihto onnistuu Geopakin puolelta. Geopakin home-välilehdeltä löytyy change probe tree -osio, josta voidaan määrittää vaihdettavaksi kärki numero 4. Kärjen vaihdon jälkeen ohjelma pyytää vahvistamaan, mihin suuntaan kärki osoittaa. Koska mittaamme kartion kappaleen yläpinnalta valitaan 1. kärki vaihtoehdoista, joissa A ja B -akseli osoittavat 0 astetta. Kärjen vaihdon jälkeen valitaan mitattavaksi yläpinnalta löytyvän kehän kartion muotoinen reikä kappaleesta.

5.2.5 Kartion mittaaminen



Kuva 28. Kartio pinnan mittaaminen.

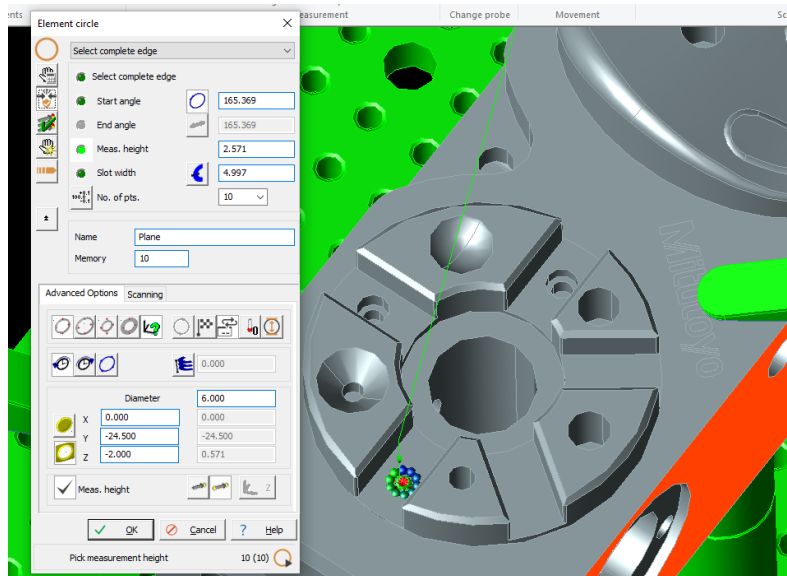
Kartion mittaaminen on toimenpiteenä hyvin samanlainen ympyrän mittaamisen kanssa. Ensin valitaan pinta, jota mitataan, jonka jälkeen määritetään mittauskulma ja lopuksi valitaan korkeus, josta kartion pinta otetaan. Tässä esimerkissä ei saatu mitattua kokonaan kartion pintaa. Kartion pinta-ala saatiin kuitenkin mitattua mitattua ylätasolta pohjan lähelle. Kartiossa käytetään useita ympyröitä, joilla kartion eri pinta mitataan. Tässä tapauksessa mitataan 4 ympyrällä, jossa jokainen ympyrä on mitattu 4 pisteellä.



Kuva 29 . Kartio mitattuna.

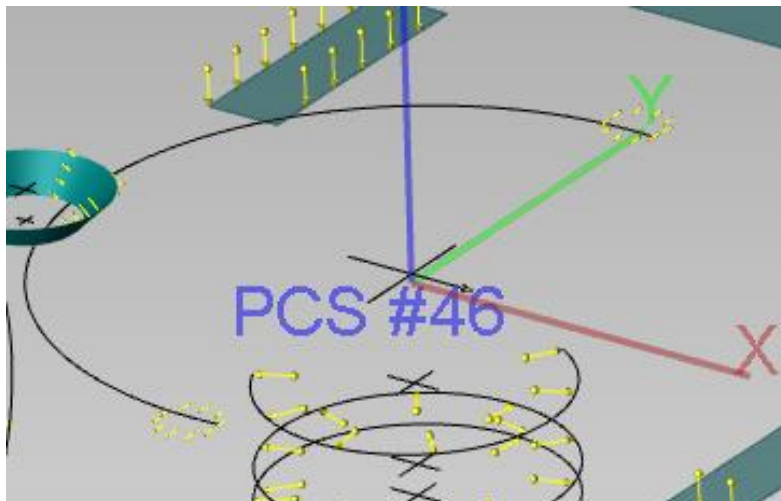
5.2.6 Useamman ympyrän mittaaminen kerralla

Kappaleen yläpinnalta löytyy useampi pienempi ympyrä, joten käytetään niitä esimerkkinä useamman kohteen mittaamiseen yhdellä kerralla. Muuten mittaaminen on samanlainen kuin muilla ympyröillä, mutta valitaan ponnahdusikkunan advanced options -osion "finish element" -lippuikoni pois aktiivisesta tilasta, kun valitaan ympyrät ja niiden mittauspisteet.



Kuva 30. Kolmen pienen ympyrän mittaaminen yhdellä kerralla.

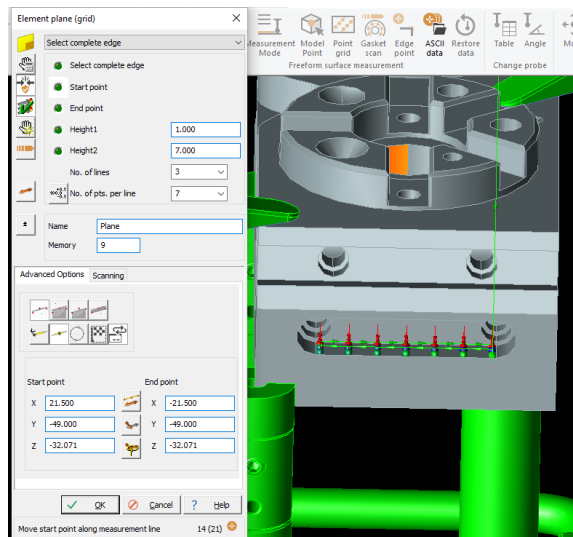
Kun yksi ympyrä on valittu voidaan painaa ok ja valita uusi ympyrä. Kolmannen ympyrän pinnan valinnan jälkeen voidaan lippuikoni ”finish element” laittaa jälleen päälle. Tämän jälkeen koneen automaattinen mittaaminen on jälleen toiminnassa. Finish element löytyy myös ylävälilehden valikoista. Ympyrät ovat tuloksessa yhteydessä toisiinsa viivalla (kuva 31). Tilanteissa, joissa mitataan useampaa samanlaista pintaa, on hyödyllistä käyttää tätä toimintoa, jotta prosessi on selkeämpi ja tehokkaampi. Jos ympyrät olisivat kokonaan ympyrän mitalta loisi ohjelma uuden ympyrän näiden yhteydeksi.



Kuva 31. Ympyrät mitattuna yhdellä kerralla.

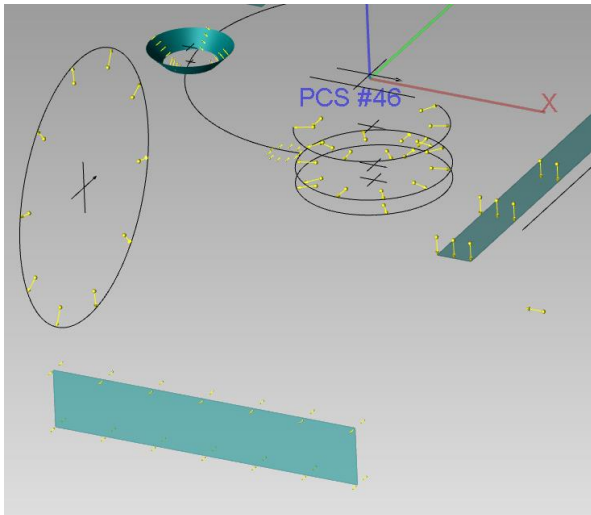
5.2.7 Kahden tason keskitaso

Seuraavaksi lasketaan kahden tason avulla uusi piirre. Tämä tehdään mittaamalla kappaleen etusivulta löytyvän uran ylä- ja alareunan tasot. Näiden avulla määritetään kyseisten tasojen keskitaso. Ensiksi valitaan change probe -osiosta kohta 44, jossa A-akseli on 90 asteen kulmassa ja B-akseli 180 asteen kulmassa. Tässä tilanteessa on tarpeen varmistaa, että kärki on sijoitettuna tarpeeksi kauas kappaleesta ja koordinaattimittakoneen muista osista. Kun kärki on käännetty osoittamaan suoraan Y-akselin suuntaa kohti, mittaus voidaan aloittaa. Itse mittaus tehdään samalla tavalla kuin mitattiin monta ympyrään kerrallaan. Tämä tapahtuu siis valinnassa, jossa ei kuitata "finish element" lippu osiota päälle. Katso kuva 32.



Kuva 32. Uran alareunan valinta.

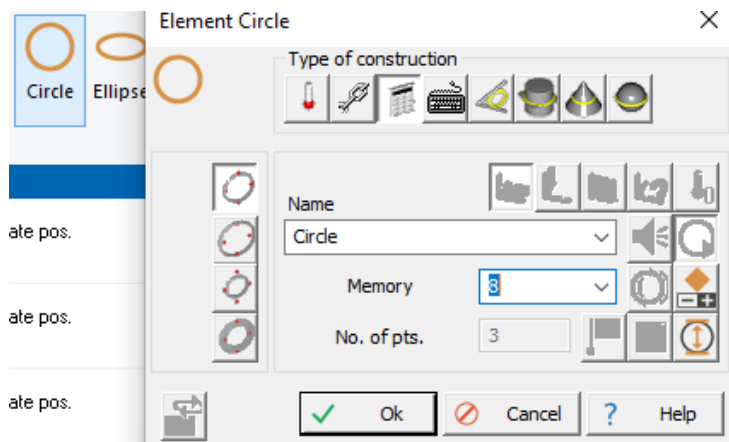
Alatason reitin valittua painetaan ok ja tehdään sama valinta uran ylätasolle. Tällöin kuitenkin kuitataan finish element -osio. Kun kärki on käynyt läpi molemmat tasot, pitäisi mittauksen näyttää kuvan 33 osoittamalla tavalla koordinaatistossa.



Kuva 33. Kahden plane tason välinen keskitaso.

5.2.8 Memory recall ja teoreettinen suora

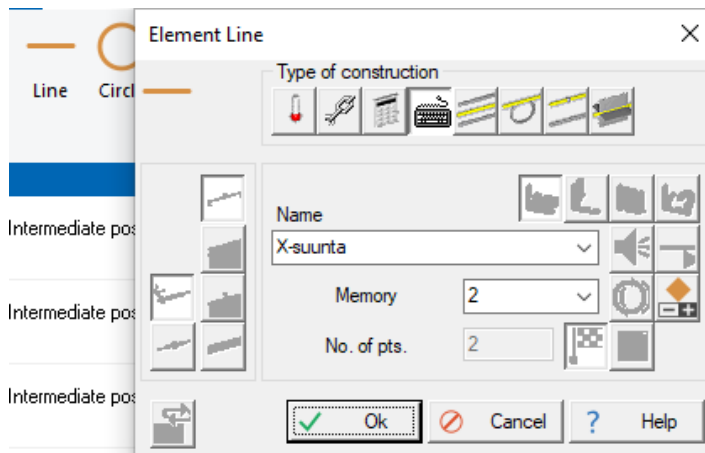
Memory recall on keino, jolla hyödynnetään vanhaa mittausdataa mittaamaan sama tieto eri tavalla. Geopakin puolella tieto on helposti käytettävissä ja löytyy, kun mittaustapa on valittu.



Kuva 34. Memory recall.

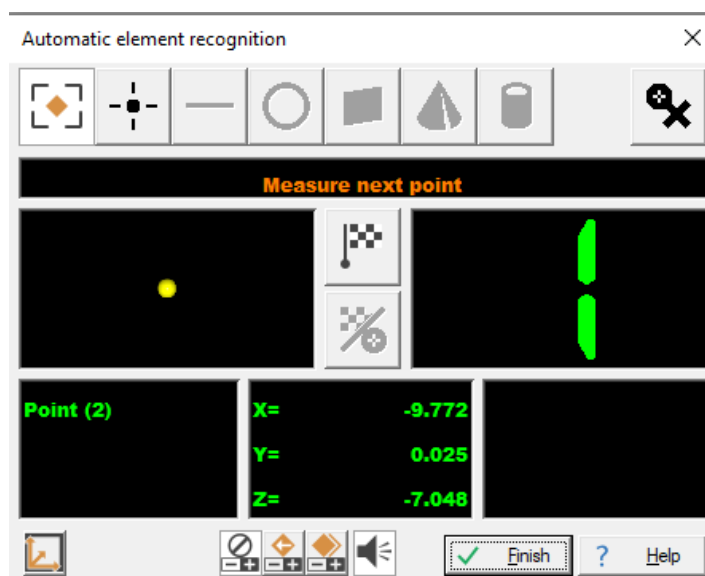
Kuvassa 34 on havainnollistettuna tilannetta, jossa Memory recall on valittuna. Se on laskimen näköinen symboli Type of construction -osiossa. Geopakin oikealla puolella voidaan nähdä tähän mennessä mitatut pinnat ja niiden ”#” eli memory-numero. Tässä tapauksessa valitaan memory 8 ympyrädata uudelleen käytettäväksi. Seuraavassa osion muokataan ympyrä dataa XY –tason mukaan ja näin on mahdollista saada erilainen tulos ilman uuden mittauksen tekoa. Ajatuksen siis on hyödyntää vanhaa tietoa ilman uutta mittausta.

Teorettinen line on myös mahdollista toteuttaa Geopakin puolella. Teorettinen line on apupiirre, jossa suoraa ei mitata, mutta se on teorettinen suora, joka auttaa määrittämään ympyrälle suunnan.



Kuva 35. Teorettinen suora

Tässä tapauksessa suora mitataan X –akselin suuntaan kahdella pisteellä keskiympyrän sisältä. Ok-napin painalluksen jälkeen mitataan manuaalisesti ohjaimella ympyrän vasemmanpuoleinen piste. Tämän jälkeen ohjelmaan ponnahtaa esille uusi ponnahtusikkuna.



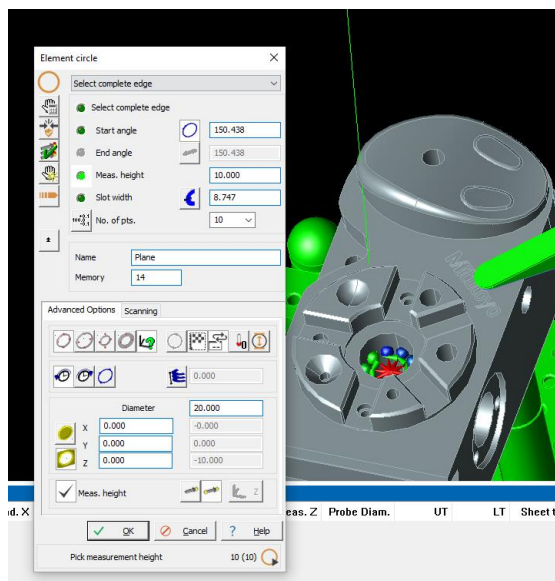
Kuva 36. Manuaalisesti mitattu teorettinen suora yksi piste.

Seuraavaksi mitataan X –akselin suunnassa uusi piste ympyrän toiselta puolelta, jonka jälkeen ponnahtusikkunassa nähdään suora. Painetaan "Finish" ja "Yes"

seuraavaan ponnahdusikkunaan, jossa pyydetään tallentamaan viimeinen kohta. Mittauksen jälkeen tulee koordinaatistoon esille teoreettinen suora ympyrän kohdalle. Edellä kuvatut vaiheet esiteltiin tässä vaiheessa, vaikka ne ovat Geopakin puolelta, koska CAT1000 puolelta oli vaikea löytää näitä ominaisuuksia. Ohjelman tekijän omasta käyttöohjeesta löytyi yksi esimerkki kumpaakin mittaukseen, jossa käytettiin memory recall:ia ja Theo. line:a, mutta ne olivat inclined circle eli kallistetun ympyrän kanssa.

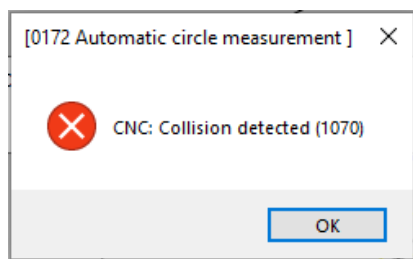
5.3 Mittalaitteen törmäminen kappaleeseen

Mitatessa voi tietenkin tapahtua myös virheitä ja ongelmia. Seuraavaksi kuvataan, miten selviytyä tilanteesta, jossa mittauksen aikana törmätään tai on riski törmätä mitattavaan kappaleeseen. Virhetilanteen korjaaminen ei ole kuitenkaan vaikeata. Otetaan esimerkki mahdollisesta tilanteesta, jossa kärki törmää kappaleeseen.



Kuva 37. Ympyrän mittaus ilman collision check:ia.

Kuvasta 37 on esimerkki siitä, että määritetty reitti ilman collision check:ia on menossa suoraan kappaleen läpi, minkä takia törmäys tapahtuu. Näin saattaa käydä useasti huolimattomuuden takia. Mittaus käynnistyy, kärki liikkuu ja törmäys tapahtuu. Kone piippaa ohjaimessa, lukee virheilmoitus ja Geopakin puolelle ilmestyy ilmoitus törmäyksestä.



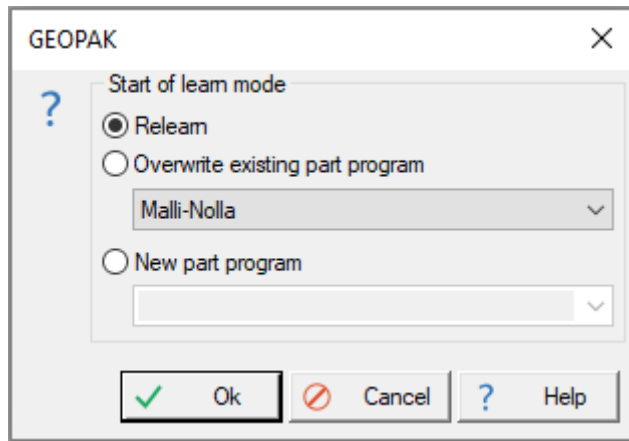
Kuva 38. Collision detected

Törmäyksessä mittaus keskeytyy täysin ja tehtävä on aloitettava alusta. Virheen kuittaus onnistuu helposti painamalla ok-nappia ilmoitukseen (kuva 38), minkä jälkeen kärjen voi manuaalisesti siirtää kauemmas kappaleesta. Jos törmäys tapahtui kovalla vauhdilla, on hyvä tarkistaa silmällä kärjen kunto varmuuden vuoksi.

Jos huomaat, että kärki on osumassa kappaleeseen, kun mittaus on käynnistetty, voi kärjen pysäyttää ennen törmäämistä. Ohjaimesta löytyy keltainen R.STOP-nappi. Painamalla nappia mittaus keskeytyy ja ohjelma menee samaan virhe tilaan, kun törmätessä. Tästä tilasta pääsee samalla tavalla pois, kun törmäyksen jälkeen eli kuitataan virheilmoitus "Collision detected" ok-napilla ja mittaus voidaan tehdä uudestaan.

5.4 Relearn, edit, testiajo ja toistot

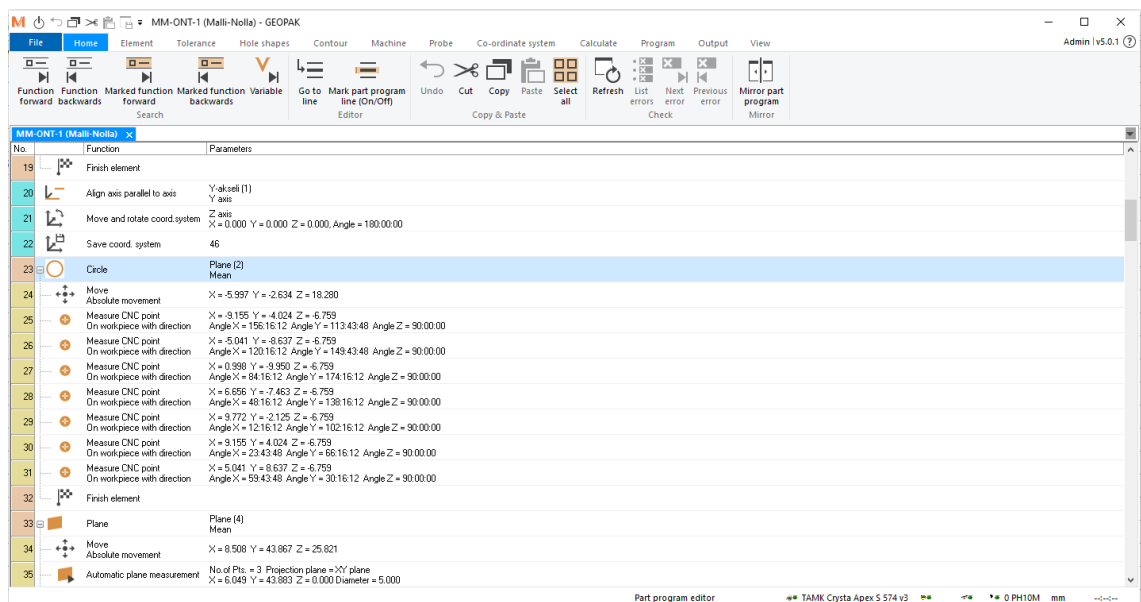
Lopuksi käydään vielä muutamia itse mittauksen ulkopuolisia asioita läpi. Jos mittausohjelman teko jää kesken ja ohjelman tekoon pitää palata uudelleen, voi saman ohjelman valita uudelleen opeteltavaksi. Kun MCOSMOS on avattu, valitaan "Learn"-osio, jonka jälkeen valitaan Relearn ja ohjelma, mitä halutaan jatkaa.



Kuva 39. Ohjelman jatkaminen.

New part program -kohdasta tehdään uusi mittausohjelma ja Overwrite existing part program tekee uuden ohjelman vanhan ohjelman tilalle. Tässä kannattaa kuitenkin olla tarkkana, että valitsee oikean vaihtoehdon, jos haluaa jatkaa vanhan ohjelman tekoa.

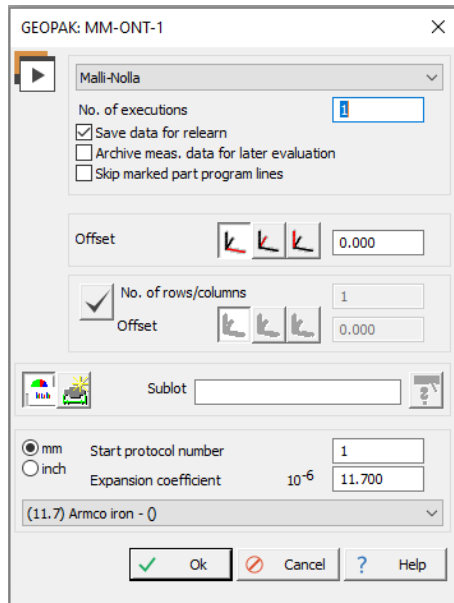
Jos mittausohjelma on valmis, mutta halutaan helposti muokata ja tutkia koko mittausohjelman kokonaisuutta, valitaan MCOSMOKSEN etusivulta edit-osio. Edit-osio löytyy learn osion vierestä. Edit-kohdan jälkeen valitaan ohjelma, jota halutaan muokata. Ohjelman valinnan jälkeen koko ohjelma avautuu esille.



Kuva 40. Edit program.

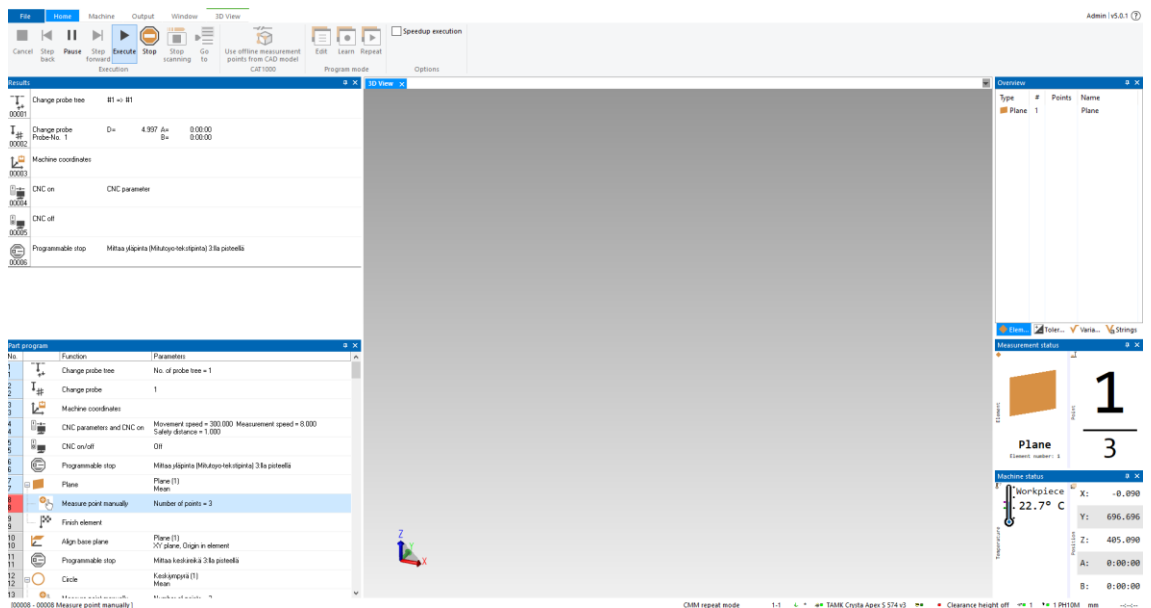
Edit-osio on hyvä, jos halutaan helposti poistaa jotain tai lisätä esimerkiksi programmable stop jonnekin väliin. Kun halutut muokkaukset on tehty, on hyvä

testata koko ohjelma yhdellä kerralla. Ohjelman pyörittäminen löytyy Repeat-kohdasta. Painetaan Repeat, josta valitaan "CMM".



Kuva 41. Repeat valinnat.

Ponnahdusikkunan valinnoista voidaan määrittää toistojen määrä. Koska kyseessä on testiajo, valitaan vain yksi suoritus. Tilanteessa, jossa testiajossa halutaan tehdä useita toistoja, voidaan määrittää suoritusten määrää haluttu isompi lukumäärä.



Kuva 42. Repeat program.

Repeat program käy läpi ohjelman jokaisen vaiheen kerrallaan. Opinnäytetyön esimerkissä ensimmäinen osio oli tehty manuaalisesti Geopakilla, jonka takia ensimmäiset mittaukset täytyi tehdä käsin, kunnes saavutaan CAT1000 -ohjelmaan, jossa mittaus on automatisoitu valintojen mukaan.

6 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSE

Erilaisten mittausten jälkeen oma kokemukseni on, että koordinaattimittakone, MCOSMOS ja CAT1000 ovat ohjelmina yllättävän helposti ymmärrettäviä, kunhan perusteet tulevat tutuiksi. Ohjelmassa on aika paljon opeteltavaa aloittelijalle, kun valintoja on paljon, mutta perusmittausprosessin teon jälkeen kaikki muutkin mittaukset sujuvat hyvin samaa logiikkaa käyttäen. Oma kokemukseni tukee toimintamallia, että kun ymmärtää, miten mitataan peruspiirteet, kuten plane by grid, ympyrä ja muut vastaavat, oli tätä tietoa helppo alkaa soveltamaan ja yhdistelemään.

Opinnäytetyötä tehdessä koin tiedon hakemisen hieman haastavaksi, koska suuri osa löydettävästä materiaalista oli valmistavan yrityksen omaa markkinointimateriaalia. Tämä vaikeutti objektiivisen tiedon löytämistä ja lähtötilanteen kuvausta neutraalilla tavalla. Itse käyttöohjeen kirjoittamisen koin sujuvan helpommin, koska se pohjautui omaan tietoon ja taitoon, testaamiseen ja kokeiluun. Työtä suunniteltaessa kyseenalaistin aluksi sen, missä kuva-aineistoa tulisi käyttää. Koen, että kuvat ja teksti auttavat esittämään mittauksen vaiheet paljon selkeämmin kuin vain tekstitasolla kuvailu.

Mitä pidemmälle työ eteni, sitä mielenkiintoisempaa siitä tuli. Mittakoneen käytöstä tuli lopulta hyvin palkitsevaa, kun sitä osasi itse soveltaa ja kokeilla erilaisia vaihtoehtoja. Koen, että oma osaamiseni on tämän prosessin aikana lisääntynyt ja opinnäytetyön aiheena tämä oli mielenkiintoinen ja palkitseva tehtävä. Toivon, että olen onnistunut kuvaamaan ohjelmien perusominaisuuksia tavalla, että siitä olisi hyötyä myös muille opiskelijoille. Kuten aiemmin kerroin käyttöohje kirjoitettiin ajatuksella, että samanlaisen mittausohjelman pystyisi tekemään jokainen, joka ei ole vielä kertaakaan käyttänyt kyseistä koordinaattimittakonetta tai MCOSMOS ohjelmaa.

LÄHTEET

Creaform. 2021. What is CMM and their types? Creaform -blogi. Viitattu 31.1.2023 <https://www.creaform3d.com/blog/what-is-cmm-and-their-types/>

Rapiddirect. 2021. What is CMM machine? Rapiddirect -blogi. Viitattu 31.1.2023 <https://www.rapiddirect.com/blog/what-is-cmm-machine/>

Hexagon. n.d. Siltatyypiset koordimittauskoneet. Verkkosivu. Viitattu 23.3.2023 <https://hexagon.com/fi/products/product-groups/measurement-inspection-hardware/coordinate-measuring-machines/bridge-cmms>

Hexagon. n.d. Vaakapuomiset KMK:t. Verkkosivu. Viitattu 23.3.2023 <https://hexagon.com/fi/products/product-groups/measurement-inspection-hardware/coordinate-measuring-machines/horizontal-arms-cmms>

Hegaxon. n.d. Leitz PMM-G. Verkkosivu. Viitattu 23.3.2023 <https://hexagon.com/products/leitz-pmm-g>

Mitutoyo. 2018. Crysta-Apex S Series. Pdf-dokumentti. Viitattu 6.2.2023 https://www.mitutoyo.com/webfoo/wp-content/uploads/CRYSTA_ApexS-2202.pdf

OAMK. 2015. Crysta-Apex S. Pdf-dokumentti. Viitattu 6.2.2023 https://www.oamk.fi/c5/files/5114/9493/5129/CrystaApexS_2015.pdf

Mitutoyo. n.d. Products and solutions. Verkkosivu. Viitattu 17.2.2023 <https://www.mitutoyo.com/products-and-solutions/software/mcosmos/>

Mitutoyo n.d. MCOSMOS v5. Pdf-dokumentti. Viitattu 17.2.2023 https://mitutoyo.eu/application/files/3416/3117/5533/PRE_11567_-_MCOSMOS_5_WEB.pdf

Renishaw n.d. Modus PTB certification. Verkkosivu. Viitattu 17.2.2023 <https://www.renishaw.com/cmmsupport/knowledgebase/en/modus-ptb-certification--16398>

