

2. FLEKSIBILNA AUTOMATIZACIJA U PROIZVODNOJ METROLOGIJI

2.1. Fleksibilna automatizacija u tehnološkim sistemima

Istraživanje i razvoj automatizovanih fabrika predstavlja petu etapu tehnološke revolucije, koja je započela pronalaskom parne mašine. Automatizovane fabrike su pogoni, gde su računarima podržane mašine, komunikacijski integrisane na bazi distribuiranog upravljanja svim fazama poslovno-proizvodnog procesa (istraživanje i razvoj, planiranje proizvodnje, projektovanje, priprema proizvodnje, proizvodnja, montaža, testiranje i kontrola, održavanje, nabavka i prodaja) [29, 30].

Automatizovane fabrike nisu fikcija inženjera i istraživača, već neposredna realna budućnost. Prema američkim istraživanjima¹⁾ [108, 127, 184] "pilot" automatizovana fabrika sadrži sledeće hardverske i softverske komponente: (i) projektovanje proizvoda (CAD)²⁾ - inženjerske analize i sinteze (CAE), crtanje sa dimenzionisanjem (CADD), planiranje procesa (CAPP), i numeričko programiranje i upravljanje (NC), (ii) grupnu tehnologiju (GT), (iii) proizvodnju podržanu računarom (CAM) - CNC i DNC mašine alatke, automatska montaža (AA), automatska kontrola (NCMM) i testiranje, (iv) automatizovana manipulacija i transport materijala pomoćnog materijala alata i mernih senzora - automatizovani sistem za skladištenje i pretraživanje (AS/RS), automatski vođena kolica (AGV), i automatska identifikacija (BC), (v) robotika i robotizacija, (vi) planiranje i upravljanje proizvodnjom (PC) - planiranje proizvodnih resursa (MRP II), distribuirano planiranje (DRP), sistemi za donošenje odluka (DSS), upravljanje pogonom (SFC), i simulacije, i (vii) kompjuterska tehnologija - hardver, softver, sistemi za upravljanje bazama podataka (DBMS), računarske mreže (LAN, WAN i ILAN), komunikacioni softver, automatizacija kancelarija i komunikacioni protokoli (MAP/TOP).

¹⁾ "Pilot" automatizovana fabrika danas se podvodi pod realizaciju koncepta CIM. Postoje evidentne razlike u pristupu i realizaciji ovog koncepta u SAD-u, Japanu i Zapadnoj Evropi. Razlika je u tome, da li se informaciona integracija odnosi na pogon ili šire. Zbog toga se ovde navodi izvorni koncept ovog pristupa. Prvoimenovani autor je imao priliku da tokom boravka u National Bureau of Standard (Washington) poseti AMFR - "pilot" fabriku gde je ovo i realizovano [179].

²⁾ Ovde se daju skraćenice u originalnom (engleskom) obliku da bi čitaocu bilo omogućeno lakše praćenje literaturnih izvora datih uz ovu knjigu.

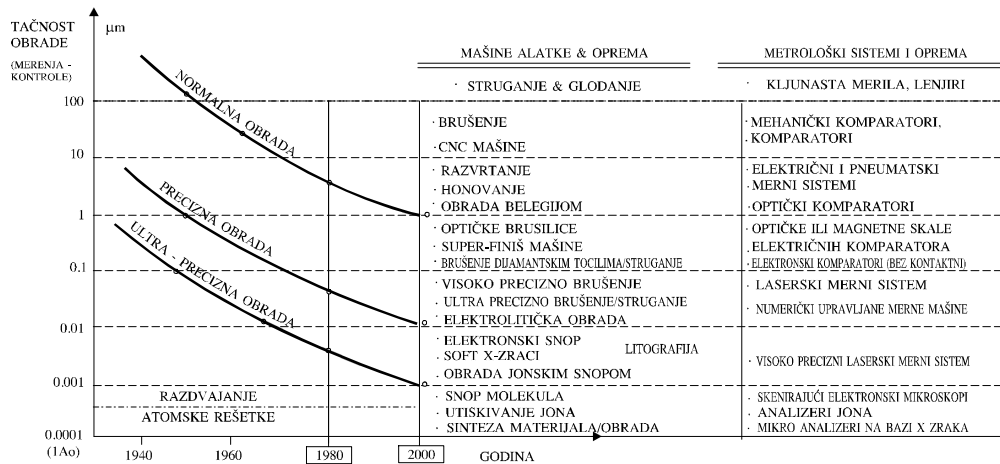
Danas su neke ili sve navedene funkcije automatizovane u mnogim fabrikama. Međutim, one fabrike koje imaju dve ili više automatizovane funkcije suočavaju se danas sa problemom njihovog povezivanja. Zbog toga, ultimativni cilj razvoja automatizovanih fabrika je integracija poslovnih funkcija, projektovanja, inženjerstva proizvodnje, planiranja i upravljanja na bazi jedinstvene baze podataka.

Planiranje i upravljanje kvalitetom konformnosti, kao esencijalnim delom CIQ (Computer Integrated Quality) modela, zasniva se na različitim klasama metroloških procesa. Fleksibilna automatizacija je duboko zakoračila i u oblast metroloških sistema i metroloških procesa koji se izvode na različitim mašinskim sistemima novih generacija tehnoloških sistema.

Metrološki procesi u klasičnim tehnološkim sistemima izvode se prema zahtevima diskretnog procesa proizvodnje, dok se kod novih generacija ovih sistema taj proces izvodi kao kontinualni model merenja. Naime, osnovni istraživački napor u oblasti proizvodne metrologije, za oblast kvaliteta konformnosti, čine se danas na integraciji procesa obrade i merenja, na bazi različitih oblika hardverske i softverske podrške. Proizvodno metrološki sistemi za automatizovano ili automatsko merenje mogu se klasifikovati po različitim kriterijumima: (i) metodu merenja, (ii) mestu upotrebe u tehnološkom procesu, (iii) principu rada i drugima. Prema zadnjem kriterijumu oni se mogu podeliti na: (i) analogne merne sisteme, (ii) digitalne merne sisteme, (iii) pneumatske merne sisteme, i (iv) laserske merne sisteme. Kod svih klasa novih generacija metroloških sistema mogu se identifikovati sledeći elementi njihove strukture: (i) pretvaračka jedinice (senzori svih tipova i vrsta), (ii) prenosno-pretvaračke jedinice, (iii) pokazivačko- indikatorske jedinice, (iv) softverska podrška i (v) interfejsi.

Istraživanja za tri osnovne klase obrade (normalna, precizna i ultra-precizna) za devedesete godine ovog veka pokazuju da se tačnost obrade kreće u relacijama: 3 μm - 0,03 μm - 0,003 μm , respektivno.

Ovo treba da se ostvari: za normalnu obradu - honovanjem, preciznu obradu - ultra preciznim brušenjem i ultra preciznu obradu - jonskim snopom. Proizvodno metrološki sistemi koji će ovo podržavati su: optički komparatori, NUMM (numerički upravljana merna mašina) na bazi optičkih vlakana i visoko precizni laserski sistemi, slika 2.1 [120]. Dakle, u obradi se ide na razdvajanje atomske rešetke, a u proizvodnoj metrologiji na analize jona, kao granične oblasti na kraju ovog milenijuma. Ovaj primer jasno ukazuje na visok stepen korelacije između tehnologije obrade i merenja, kao i na visoke inženjerske zahteve u ove dve oblasti.



Sl. 2.1. Razvoj obrade rezanjem i metroloških sistema

2.2 Osnovne karakteristike razvoja i primena fleksibilnih metroloških sistema

Istorijski posmatrano, merenje i kontrola su predstavljali usko grlo proizvodnje. To je posebno dolazilo do izražaja kada se u tehnološke sisteme uvodila nova proizvodna oprema, ili se povećavala kompleksnost proizvoda. Razvoj obradnih sistema kao i računarske tehnologije bili su od presudnog uticaja za razvoj novih generacija metroloških sistema³⁾ zasnovanih na elementima fleksibilne automatizacije.

³⁾ Navodi se kratak istorijski pregled razvoja proizvodno-metroloških sistema [114, 115, 116]. Do sada se mogu izdvojiti pet razvojnih etapa. Prva je uzeta zaključno sa 1920. godinom. Osnovna karakteristika ovog perioda je da se u industrijsku primenu uvode jednostruka merila a otvorene su prve fabrike, proizvođači metrološke opreme. To su: 1894 - Mauser, a 1901 - C.H. Johanson. Druga etapa obuhvata period od 1920- 1940 godine. Pored novih fabrika (Feinmechanik Optik, kasnije Carl Zeiss, Taylor Hobson, i druge) formiraju se i instituti za metrologiju. U ovom periodu razvijeno je i nekoliko tipova metroloških sistema kao što su: optimetar, ultra-optimetar, Abbe-ova merna mašina, interferometar, Schmalz-ov mikroskop za merenje hrapavosti i drugi. Ovaj period posebno se karakteriše po tome što je u metrološke sisteme uvedena optika. Svi najznačajniji razvijeni metrološki sistemi bazirani su na zakonima optike. Treći period je od 1940-1960. godine. U njemu je razvijen i industrijski primenjen interferencioni mikroskop. Njegovu proizvodnju osvajaju: Zeiss, Kohant/Hahn + Kolb, C.H. Johanson i Askania-Werke. Induktivne merne sisteme osvajaju i počinju da proizvode Mahr-Siemens i Bauer-Schaurte. Otpočela je i proizvodnja metroloških sistema za hrapavost, čiji princip rada nije bio zasnovan na optici. Tako imamo metrološke sisteme za hrapavost: J. Perthen (Pertograph/Perthometer), Taylor (Talysurf) i Leitz (Rauhtester). Ovaj period se posebno karakteriše otpočinjanjem idnustrijske proizvodnje metroloških sistema na bazi pneumatike. Veći broj proizvođača: FAG, C.H. Johanson, Etamic, Fainpruf, Hommelwerke, Mauser, Nieberding, Sheffield, Sigma, Solex i drugi, otpočinju industrijsku proizvodnju ovih sistema. četvrta etapa obuhvata period od 1960-1980. godine. Ovaj period se karakteriše time što se sve više u metrološkim sistemima primenjuje elektronika: tranzistori, integralna kola, mikroprocesori i

Metrološki procesi u proizvodnoj metrologiji, prema mestu realizacije, mogu se podeliti na: (i) metrološke procese koji se odnose na pre-procesno, procesno i posle-procesno merenje, (ii) metrološke procese koji se odnose na određivanje položaja i stanja alata, i (iii) metrološke procese kojima se određuje stanje mašina, njenih funkcija ili položaja pokretnih elemenata. Za nas su ovde posebno značajni metrološki procesi i sistemi koji ih podržavaju a odnose se na prvu grupu.

Merenje, odnosno planiranje i upravljanje parametrima kvaliteta konformnosti pomoću računara⁴⁾ je esencijalni element fleksibilne automatizacije u proizvodnoj metrologiji u CIM sistemima. Karakteristike primene ovog koncepta (CAI sistemi) su sledeće: (i) za razliku od konvencionalnih metoda kontrole, metodama CAI može se vršiti 100% kontrola, (ii) integracija proizvodnog i metrološkog procesa, (slika 2.2.) omogućuje upravljanje parametrima kvaliteta konformnosti u realnom vremenu, čime se omogućuje proizvodnja bez škarta, (iii) korišćenjem bezkontaktnih senzora se višestruko povećava produktivnost procesa kontrole. Kontrola kontaktnim sensorima zahteva zaustavljanje procesa obrade i uspostavljanje fizičkog kontakta između mernog predmeta i senzora. Kod bezkontaktnih senzora, po pravilu, kada je to moguće, sve se odvija u "toku", a računarskom podrškom vrlo brzo se obrađuju merni rezultati, što doprinosi višestrukom povećanju produktivnosti merenja. Prema tome, primena ovog koncepta je pogodna tamo gde je fizički ovo moguće realizovati, (iv) on-line bezkontaktni senzori, po pravilu, imaju povratnu spregu za adaptivno upravljanje parametrima kvaliteta konformnosti. Jedna klasifikacija senzorske tehnologije za ove namene prikazana je na slici 2.3. Upravljanje parametrima kvaliteta konformnosti zasniva se na praćenju promene tolerancijskih polja nominalnih dimenzija. Povratnom spregom omogućuje se održavanje i poboljšanje parametara

mikroračunari. Javljaju se novi proizvođači metroloških sistema, a i stari u svoje sisteme uvode elektroniku: Bosh, Budd, Cary, EAM, Feinpruf, Ferranti, Hommelwerke, Mercedes, Nowibra, Perthen, Marpos, Schwang, Semel, Tesa i drugi. Osnovni princip je pretvaranje neelektričnih veličine u električne, a zatim pretvaranje analognih u digitalne signale. Na NUMA se kao merni sistemi najviše koriste induktosini svih tipova, a prvi počinje da ih proizvodi Heidenhein. 1965. godine pojavljuju se koordinatne merne mašine. Ozbiljna istraživanja u ovoj oblasti vrše se kod: Zeiss-a, Leitz-a, FAG-a i drugih. Razvijena su tri tehnološka nivoa NUMM-a, koji se mogu programirati: na mašini (on-line), ili stand-alone stanici (off-line). Prvi pristup se izvodi obučavanjem, tj. generisanjem putanje mernog senzora. 1975. godine je razvijena prva CNC MM koja je programirana na bazi prvog pristupa, a 1973. godine je Siemens napravio NUMM za merenje evolvente, kao i drugih parametara zupčanika. Te godine otpočela je i industrijska upotreba He-Ne lasera. 1965. godine Heidenhein je napravio laserski interferometar, 1967. godine to je uradio BBC, a 1970. godine njegovu proizvodnju osvojili su Siemens, Pilkington, Perkin-Elmer i Hewlett-Packard. On se pre svega koristio za laboratorijska merenja, kao i proveru tačnosti NUMA i NUMM-a. Početna tačnost mu je bila od 0,001 do 0,01 μm . Poslednja etapa je od 1980. godine do danas. Njena osnovna karakteristika je: integracija metroloških procesa sa drugim procesima (obrada, manipulacija, transport, kontrola) u tehnološkim sistemima na bazi računarske (softverske i hardverske) podrške. Razvijaju se NUMM četvrtog tehnološkog nivoa (DNC) za integraciju radi realizacije CIM koncepta. Razvija se jezik opšte namene za programiranje NUMM-a. Istražuju se metrološki sistemi na bazi digitalne obrade slike, kao i inteligentni metrološki sistemi.

⁴⁾ Radi se o modelu koji se u zapadnoj literaturi vodi pod skraćenicom CAI-Computer Aided Inspection, a odnosi se na računarom podržano projektovanje, planiranje i upravljanje kvalitetom proizvodnje.

kvaliteta, (v) ponekad 100% i on-line praćenje parametara kvaliteta nisu neophodni. Tada se može i NUMA (numerički upravljana mašina alatka) primeniti

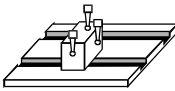
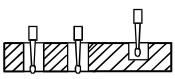
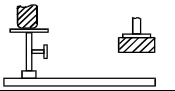
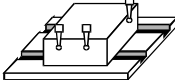
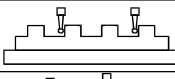
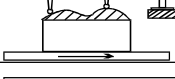
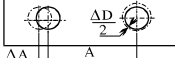
DANAŠNJI TROŠKOVI	MOGUĆA POVEĆAVANJA	PREDNOSTI	TROŠKOVI PRIMENE
<ul style="list-style-type: none"> ◆ INTERNI * ŠKARTA * DORADA * IZVRŠIOCI * OPREME * ZALIHE * MONTAŽA 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ PROCES * POVEĆANJE PREDPOCES. PARAM. * UPRAVLJANJE ALATOM, PRIBORIMA, OPREMOM * DIJAGNOSTIKA PROCESA * AUTOMATSKA KONTROLA: PREDPROCESNA PROCESNA POSLEPROCESNA 	<ul style="list-style-type: none"> * SMANJENJE ŠKARTA * SMANJENJE DORADE * SMANJENJE IZVRŠIOCA * SMANJENJE KAPITALNE OPREME * SMANJENJE ZALIHA * SMANJENJE POGREŠNE MONTAŽE * POVEĆANJE RASPOLOŽIVOSTI OPREME * SMANJENJE MANIPULACIJE MATERIJALOM * SMANJENJE SPOLNIH GREŠAKA * POVEĆANJE RASPOLOŽIVOSTI ALATA * MOGUĆNOST SMANJENA ZAHTEVA ZA PRECIZNIM METROLOŠKIM SREDSTVIMA 	<ul style="list-style-type: none"> * INTEGRACIJA TEHNOLOGIJE KONTROLE POVRATNOM SPREGOM: PROCESA POLE PROCESA * RAZVOJ SENZORA ZA PROCESNU KONTROLU * RAZVOJ KOMUNIKACIONIH SISTEMA * RAZVOJ SOFTWARE - a * POVEĆANJE KVALITETA ALATE, PRIBORA I MAŠINA
<ul style="list-style-type: none"> ◆ EKSTERNI * ODGOVORNOST * GARANCIJA 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ SISTEM INTEGRACIJE * PODATAKA * POVRATNA SPREGA 		

Sl. 2.2 Sumarni parametri prednosti primene integriranih metroloških sistema

kao NUMM-a, slika 2.4., (vi) novi pravci primene robota u merenju i kontroli zasnivaju se na izgradnji zatvorenih robotizovanih metroloških sistema klase FMĆ (fleksibilna metrološka ćelija) i FMS (fleksibilni metrološki sistem), koji se nešto kasnije detaljno izlažu, i (vii) primena koncepta CAI i kroz sledeće klase metroloških sistema: analogni, digitalni, pneumatski, laserski merni sistemi, procesni aktivni merni sistemi, informacioni merni sistemi i kompjuterska i robotska vizija.

I. METODE KONTAKTNOG MERENJA
A. NUMM B. NUMA
II. BEZKONTAKTNE METODE MERENJA
A. OPTIČKE METODE
* mašinska vizija * skeniranje laserskim zrakom * fotometrija * ostalo
B. NEOPTIČKE METODE
* oblast elektro - tehnika * otpornične * kapacitivne * induktivne * radijacione tehnike * ultrazvučne tehnike

Sl. 2.3 Klasifikacija senzorske tehnologije primenjene u proizvodnoj metrologiji

OPIS METROLOŠKOG ZADATKA	SKICA	KOREKCIJA	STRATEGIJA KOREKCIJE
① • ODREĐIVANJE REFERENTNIH TAČAKA * MAŠINE ALATKE * RADNOG PREDMETA		• KOMPENZACIJA TERMICKIH GREŠAKA	• RESETOVANJE X, Y, Z
② • KONTROLA POJEDINIH OPERACIJA OBRADE		• ON - LINE UPRAVLJANJE KVALITETOM	• IZMENA GEOMETRIJE REZANJA
③ • MERENJE I KOREKCIJA ALATA		• AUTOMATSKA REGULACIJA ALATA	• KOMPENZACIJA ALATA
④ • ODREĐIVANJE POLOŽAJA RADNOG PREDMETA		• KOORDINATNOG SISTEMA RADNOG PREDMETA	• IZMENA NC PODATAKA
⑤ • KONTROLA POZICIONE TAČNOSTI		• PROVERA MOGUĆNOSTI MAŠINE ALATKE	• DOTERIVANJE
⑥ • KONTROLA SIROVOG OBRATKA		• POLOŽAJ OBRATKA	• IZMENA NC PODATAKA
⑦ • KONTROLA OBRADENOG RADNOG PREDMETA		• KOMPENZACIJA HABANJA • ON - LINE UPRAVLJANJE KVALITETOM	• IZMENA GEOMETRIJE REZANJA

Sl. 2.4 Mogućnosti korišćenja CNC MA kao NUMM

2.3. Karakteristične oblasti fleksibilne automatizacije u proizvodnoj metrologiji

Fleksibilni metrološki sistemi u svim varijantama njihovog pojavljivanja⁵⁾ mogu se definisati na sledeći način: to su metrološki sistemi pomoću kojih se mere parametri kvaliteta konformnosti na mernim predmetima koji stižu slučajnim rasporedom i koji su, po pravilu kompleksne konfiguracije. Na osnovu ovoga formira se povratna sprega u realnom vremenu na tehnološki proces. Osnovni elementi koji FMS omogućuju ovakve karakteristike su: (i) senzori, (ii) hardverska podrška, i (iii) softverska podrška. Bitne osobine FMS su: (i) po pravilu merenje parametara kvaliteta konformnosti na kompleksnim mernim predmetima koji se pojavljuju slučajno i ne zahtevaju specijalne alate, (ii) pomoću njih može se kontrolisati jedan deo ili serija i u pogonskim uslovima, (iii) na osnovu kompenzaciono- korektivnih elemenata⁶⁾ oni se mogu koristiti i u pogonskim uslovima, gde se javljaju temperatura, vibracije, strujanje

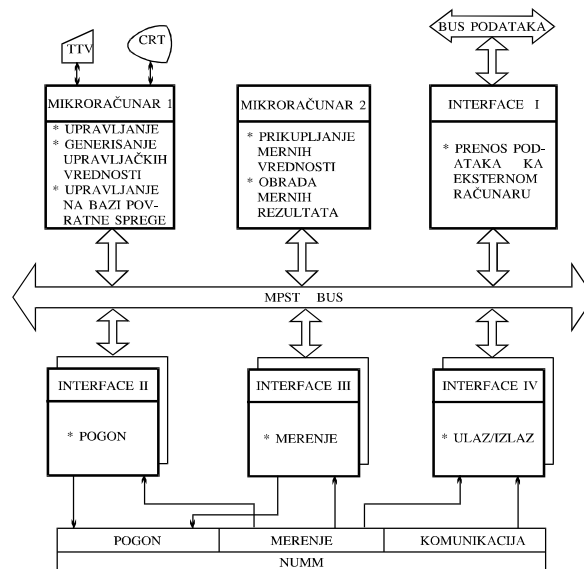
⁵⁾ Radi se o: FMM-fleksibilni metrološki modul, FMĆ- fleksibilna metrološka ćelija, i FMS-fleksibilni metrološki sistem. Definicije su date u tački 7.2.

⁶⁾ Ovdje se pre svega misli na NUMM i u njima ugrađenu software-sku korekciju, kao što su: CAA-Computer Aided Accuracy i ATK-Automatische Temperatur-Kompensation. Ovaj problem se rešava i novim tehnološkim rešenjima, kao što su: CARAT i INVAR tehnologija za noseću strukturu i merni sistem MM, o čemu će kasnije biti reči.

vazduha i slično, (iv) kada se ovi metrološki sistemi primenju u FTS, onda se oni mogu integrisati u automatizovani tok materijala, preko izmenjivača paleta, markera za prepoznavanje delova, magacina mernih senzora (vi) ovi sistemi se relativno lako uključuju u FTS i integrišu u CAD/CAM sisteme, i (vii) na bazi odgovarajuće hardverske i softverske podrške u FTS-u može se upravljati u realnom vremenu kvalitetom, primenom FMS-a.

Osnovni element fleksibilne automatizacije u proizvodnoj metrologiji je NUMM. Funkcija fleksibilne automatizacije NUMM se ostvaruje preko hardverske i softverske podrške.

Izgled jednog višeprocorskog upravljačkog sistema za jednu DNC MM prikazan je na slici 2.5. Pomoću njega se realizuju sledeće funkcije fleksibilne automatizacije: (i) on-off line programiranje, (ii) pozicioniranje u četiri ose, (iii) prikupljanje (akvizicija) obrade mernih vrednosti, (iv) ocena mernih vrednosti, i (v) povezivanje sa računarima na istom i višem nivou.



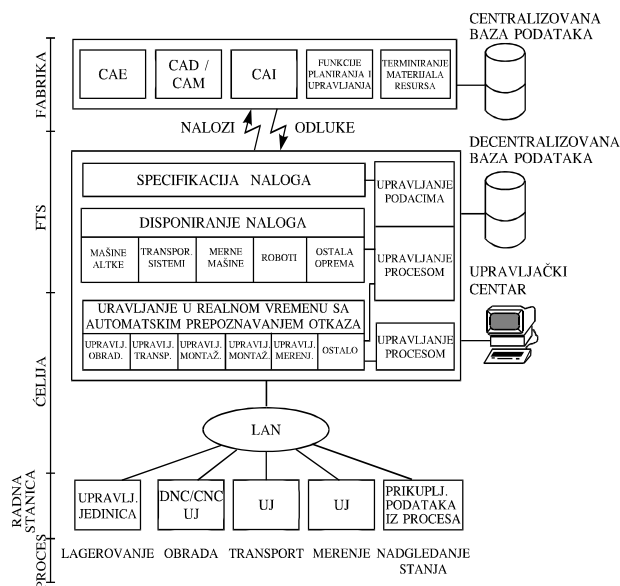
Sl. 2.5 Konfiguracija više procesorskog upravljačkog sistema DNC MM

Softverska podrška za NUMM se danas razvija kao softver opšte ili posebne namene. Njihove osnovne karakteristike prikazane su na slici 2.6. Po pravilu programiranje softverom posebne namene vrši se obučavanjem, mada se sada razvijaju i programerske stanice za ovaj softver kao i za njihovu integraciju sa CAD/CAM sistemima. Za softver ove kao i opšte namene, off-line programiranje NUMM se izvodi po procedurama mašinskog i/ili integrisanog programiranja. Karakteristike ovih pristupa su detaljno izložene na već navedenoj slici.

PROGRAMIRANJE OBUČAVANJEM	OFF - LINE PROGRAMIRANJE	
	AUTOMATIZOVANO	AUTOMATSKO
NUMM	PROGRAMSKO MESTO	CAD / CAP / CAM
* PREDNOSTI - OČIGLEDNO PROGRAMIRANJE - BRZA IZMENA PROGRAMA	* PREDNOSTI - NEPOTREBAN RP ZA PROGRAMIRANJE - MOGUĆE PROGRAMIRANJE VEĆ U PRIPREMI PROIZVODNJE ODNOSNO PRIPREMI MERENJA - KORIŠĆENJE RAČUNARA U PROGRAMIRANJU	* PREDNOSTI - POVEĆANJE EKONOMIČNOSTI PUTEV INTEGRISANOG TOKA PODATAKA - MANJA VEROVATNOĆA GREŠKE PRILIKOM PRENOSA I PRIJEMA PODATAKA - MOGUĆA BRZA REAKCIJA NA KONSTRUKTIVNE IZMENE - POBOLJŠANJE GRAFIČKE KONTROLE KOLIZIJE
* NEDOSTACI - ZAUZETOST MAŠINE ZA VREME PROGRAMIRANJA - PROGRAMIRANJE ZAHTEVA RADNI PREDMET - VISOKI ZAHTEVI ZA RUKOVAOCE - VELIKI PROGRAMSKI RASHODI ZBOG RADA SA POJEDINAČNIM TAČKAMA	* NEDOSTACI - PROGRAMIRANJE ZAHTEVA DOBRO PROSTORNO POSTAVLJANJE I RAZMERA VANJE PROSTORA - KOREKTURA PROGRAMA OTEŽANA - KOLIZIJE SE ME MOGU ISKLJUČITI SA SIGURNIŠĆU - POTREBAN RAČUNAR SREDNJE KLAŠE - PROBLEMATIČNO ZA POVRŠI PROIZVOLJNOG OBLIKA	* NEDOSTACI - OTEŽANO LOCIRANJE GREŠKE - VISOK NAPOR PRILIKOM IZMENE I PROŠIRENJA

Sl. 2.6 Bitna obeležja postupaka programiranja NUMM

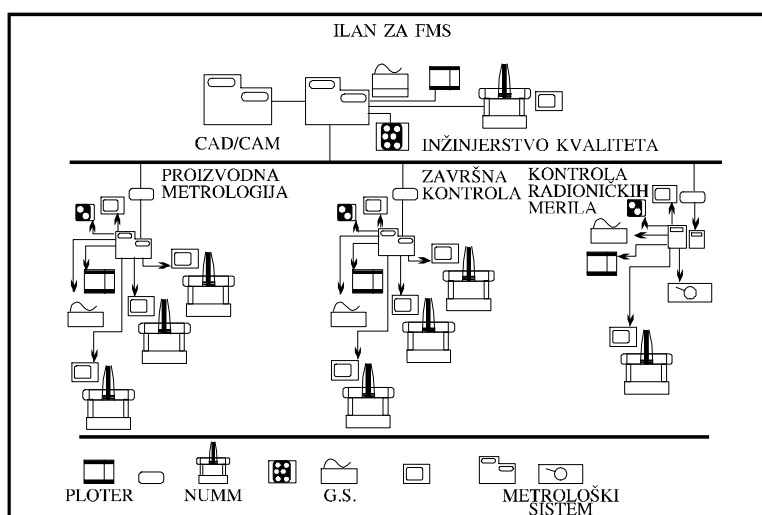
Zadnja funkcija višeprocessorskog upravljačkog sistema posebno je važna za realizaciju modela CAI u CIM-u, slika 2.7. Na nivou fabrike se kao deo integralnog



Sl. 2.7 Nivo i koncept upravljanja u CIM

softvera za CIM nalazi i softver za CAI, sa svojim delom metroloških informacija u centralnoj bazi podataka. Na nižim nivoima FTS i ćelija, nalaze se upravljačke procedure za podatke i procese, što se odnosi i na NUMM. LAN-om se vrši na nivou radnih stanica povezivanje upravljačkih jedinica, odnosno prikupljanje informacija o parametrima kvaliteta konformnosti na nivou prikupljanja podataka iz procesa.

Izgled jedne industrijske konfiguracije FMS na bazi ILAN mreže i MAP protokola je prikazan na slici 2.8 [112]. Osnovne karakteristike ovog sistema koji je instalisan u General Motors-u su: (i) integracija FMS u FTS, i (ii) primena različitih konfiguracija FMS-a za različite elemente funkcije kvaliteta u CIM konceptu koji je uspostavljen u GM. Ukupni koncept inženjerstva kvaliteta obuhvata: proizvodnu metrologiju, završnu kontrolu i kontrolu radioničkih merila. Na bazi ILAN mreže povezano je ukupno osam NUMM.



Sl. 2.8 FMS u General Motors-u

2.4 Automatska inspekcija u fleksibilnoj proizvodnji

Razvoj i primena FTS su izmenili i ulogu inspekcije u upravljanju kvalitetom u njima. U klasičnim tehnološkim sistemima, inspekcija dela se vrši nakon obrade, pri čemu on može biti metrološki prihvatljiv, odbijen ili pak vraćen na doradu. Tehnike uzorkovanja primenjuju se pri inspekciji serijske i masovne proizvodnje.

Kod FTS inspekcija se integriše sa obradnim procesom, realizacijom korak po korak, pri čemu se dobijaju sledeće karakteristike proizvodnje i kvaliteta u FTS-u: povećanje operativne fleksibilnosti, koegzistentan kvalitet dela, eliminacija dodatnih troškova bez obzira na veličinu serije, smanjenje pomoćnih troškova i automatske operacije kontrole smanjuju troškove radne snage i povećavaju raspoloživost, rada sistema u više smena.

Postoji nekoliko pristupa integraciji inspekcije u FTS. Oni zavise od: filozofije inspekcije, hardvera, softvera, potrebnih podataka, komunikacionih sistema, senzorskih uređaja i nivoa automatizacije.

Faktori koji opredeljuju prednosti i nedostatke izabranog metoda inspekcije u FTS-u su: marketing i proizvodna strategija, projektovanje proizvoda, karakteristike materijala, proces obrade, primenljive tehnologije inspekcije, kritične karakteristike kvaliteta i tolerancija, veličine serije, organizacija proizvodnje i proizvodna oprema i mašine.

U FMS danas se javljaju, u različitim odnosima, četiri metoda inspekcije: nezavisna inspekcija, posle-procesna inspekcija, procesno merenje i deterministička inspekcija, koji se u narednom tekstu detaljnije izlažu [117, 144].

2.4.1 Nezavisna inspekcija

Klasična kontrola bazira se na inspekciji posle jedne ili više operacija obrade, ili pak nakon kompletne obrade. Najbolji efekti primene koncepta fleksibilne automatizacije dobijaju se za kompletnu inspekciju nakon kompletne obrade. On se realizuje u FTS-u razdvajanjem obradnih stanica od metrološke stanice ili njihovom integracijom u tok materijala na bazi transportnih i upravljačkih jedinica.

Prednosti ovog modela inspekcije su: ne povećava vreme obrade, ne zavisi od grešaka obradnog sistema, dobijeni podaci se koriste za podešavanje procesa za sledeći deo i on prihvata i kontroliše tehnologiju. Nedostaci ovog koncepta su: inspekcija dela vrši se nakon povećanja njegove vrednosti, identifikacija grešaka van preventivnog delovanja i zadržavanje u sistemu obrade i netačnih delova.

2.4.1.1 Primena NUMM u nezavisnoj inspekciji

Automatska i nezavisna inspekcija na metrološkoj stanici zasniva se na definisanom koordinatnom početku merenja i položaju ostalih mernih tačaka u odnosu na njega. NUMM predstavljaju nove generacije metroloških sistema koji predstavljaju dolazeću tehnologiju za model nezavisne inspekcije. One se koriste već dugo godina u različitim industrijama. CNC modeli MM danas se primenjuju u FTS-ma, ali je CNC MM model upravljanja nešto različitiji od CNC MA, zbog različitog principa opisa delova.

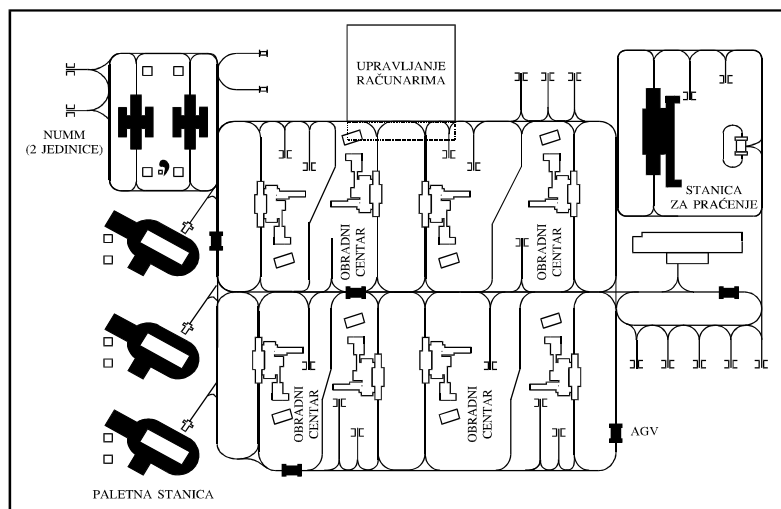
U narednim tačkama a posebno u poglavlju tri biće detaljno izložen trend razvoja ovih sistema. Ovde će se prikazati izabrani primeri njihove primene u i izvan FTS-a, prema modelu nezavisne inspekcije.

- **Izabrani primeri primene u FTS-ma**

Ovde se analiziraju pet karakterističnih primera primene. Prema dostupnim literaturnim izvorima, danas se po ovom modelu primene MM može govoriti u više od 450 slučajeva.

Primer 1. Kompanija the Vought Aero Products Division of LTV Aerospace and Defense Co. (Dallas), proizvodi komponente za vojne avione. Instalirani FTS proizvodi četiri grupe delova, u seriji od 541 komada nedeljno. On se sastoji od: osam OC sa magazinima alata, tri deseto-pozicionih karusela za pripremu, pozicioniranje i skidanje delova, četiri AGV za transport između radnih stanica (MA i MM), automatsku stanicu za čišćenje i dve četvero-osne DEA MM pozicione tačnosti 2.7 μm .

Ova konfiguracija FMS-a, slika 2.9. je rezultat kompjuterske simulacije vremena obrade, manipulacije, merenja i transporta radi uklanjanja uskih grla. Svaki deo koji se postavi na paletu, obradi se, očisti i kontroliše na MM-ma. Ovaj FTS se upravlja po strategiji JIT, radi proizvodnje 541 dela nedeljno. Ostvarene su planirane uštede i to: smanjeno je mašinsko vreme sa 200000 na 70000 sati, broj mašina sa 32 smanjen je na 8, a pogon smanjen za 32000 kvadratne stope. Ovim je uštedeno preko 20 milina \$ u proizvodnji delova za leteću tvrđavu B-52.



Sl. 2.9 LTV FTS

Primer 2. Lucas Machine Division of Litton Industries ima instalirani FTS koji obuhvata: četiri OC, automatski izmenjivač alata, AGV, stanicu za pripremu i podešavanje alata i Mauser MM. On je upravljani kompjuterom VAX 11/750, kao hostom, a mašine se upravljaju Electric Mark Centry 2000 upravljačkim jedinicama. Softverski sistem je tako hijerarhijski strukturisan da omogućuje: jednostavno proširivanje, izmene ili brisanje na svakom nivou.

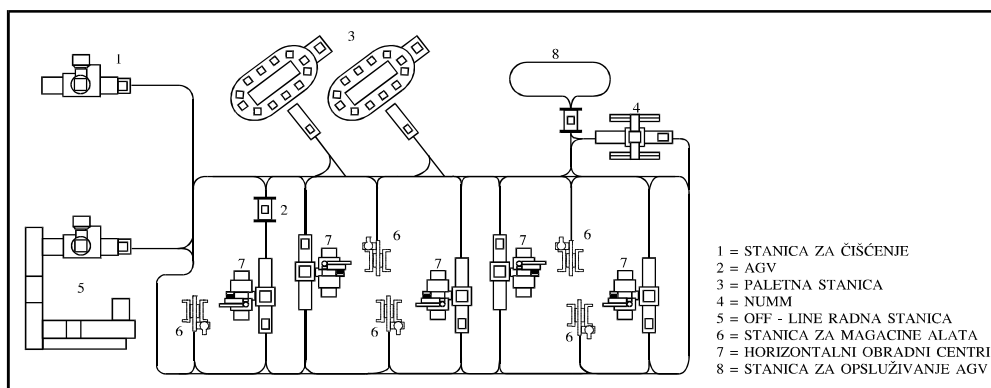
Softverski sistem takođe obuhvata upravljanje sistemom alata i određivanje postojanosti alata na bazi vremena rezanja i režima rezanja.

Svaka upravljačka jedinica kontroliše brzinu glavnog vretena kao i prirast snage rezanja kao direktne posledice habanja alata, što predstavlja jedan od kriterijuma za postojanost i izmenu alata.

Mogući uzroci zastoja, kao što su sistem podmazivanja, temperatura motora i neki drugi parametri se prate preko dijagnostičkog i monitorskog sistema. Dijagnostičke poruke omogućuju pravovremenu intervenciju, čime se povećava raspoloživost FTS-a.

Ovakav pristup razvoju FTS-a, prema pokazateljima dobijenim u ovoj fabrici, omogućio je povećanje produktivnosti od 300% i uspostavljanje konzistentno visokog kvaliteta, u odnosu na prethodni tehnološki sistem gde su se obrađivali isti delovi.

Primer 3. Kompanija FMS Corporation's Ordnance Division, proizvodi transportna sredstva za potrebe armije. Radi se o novom, kompleksnom transportnom sredstvu. Projekat razvoja i izgradnje FTS-a za ovu proizvodnju je dobijen simulacijom više varijanti. Instalirana konfiguracija, slika 2.10, sadrži: četiri horizontalna OC povezanih sa AGV sistemom, stanicom za ulaganje paleta, stanicom za pranje, off-line radnom stanicom, NUMM i prostorom za servisiranje AGV.



Sl. 2.10 FTS - Corp. Ord. Division

Računar FTS-a upravlja transportom u FTS-u, radnim nalogima, terminiranjem, prati stanje vitalnih funkcija i raspodeljuje podatke.

MM ima mostni oblik noseće strukturne, pri čemu AGV preko sistem paleta opslužuje ovaj sistem. Inspekcija delova se vrši uzorkovanjem a računar određuje redosled i veličinu uzorka. Lokalni računar upravlja MM i ima dve osnovne funkcije: (i) od host računara FTS-a prima podatke neophodne za merenje i inspekciju i obrađene rezultate merenja vraća nazad u host računar, i (ii) pomoću njega se upravlja svim funkcijama MM preko DNC režima rada.

Primer 4. Kompanija The Aircraft Brake and Stout Division of Bendix Corporation - Bendix, ima instaliran FTS, u kome se obrađuje 22 različita kućišta za vojne i civilne avione. On je projektovan tako da omogućuje obradu i inspekciju delova koji dolaze u slučajnom rasporedu. MM, koja se koristi je horizontalnog tipa, jer manipulacija sa delovima kao i njihova veličina to zahtevaju. Ona ima stanicu sa osam paleta na koju dolaze različiti delovi. Na njima se kontrolišu sve karakteristike kvaliteta, osim unutrašnjeg navoja, koji se sada kontrolišu na drugom mestu.

Primer 5. Kompanija The Texas Instruments Plant in Carrollton ima instalisan FTS u kome se obrađuju kućišta za potrebe američke vojne brodograđevne industrije. Materijal ovih kućišta je sivi liv ili aluminijum. U njemu se obrađuje do 50 različitih delova u odnosu: 80% aluminijum i 20% sivi liv.

Ovaj FTS ima šest Nigata horizontalnih OC, sa robotizovanom stanicom za manipulaciju koja ima GMF-S110R, šesto-osni robot, AGV kolica za transport i Sheffield MM.

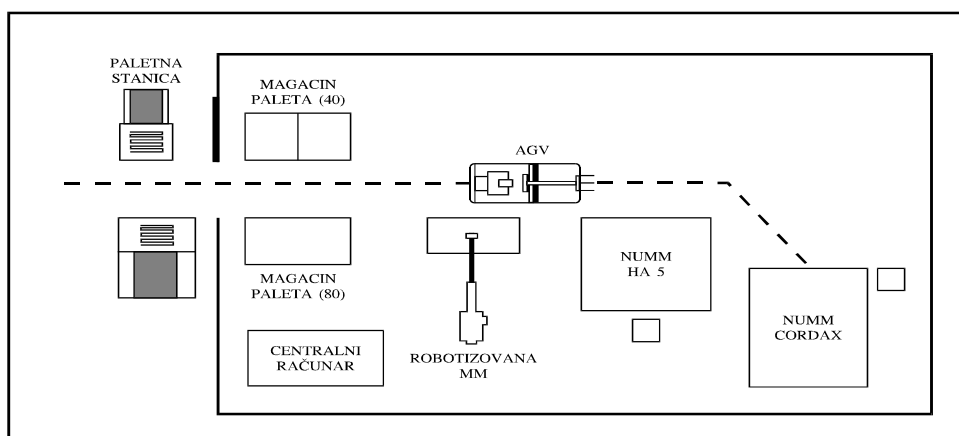
Drugi FTS instalisan u ovoj fabrici ima četiri White-Sundstrand horizontalna OC, istu, napred navedenu robotizovanu stanicu i Zeiss MM za inspekciju.

Proizvodni kapacitet u oba FTS-a obrađuje devet različitih delova za podmornice. Proizvodni kapacitet oba FTS-a je bio: 30 serija različitih delova mesečno u 1986. i 110 serija mesečno u 1987.

Firma TI je razvila software za oba FTS-a na bazi elemenata VI koji se koristi za upravljanje i nadzor ovih sistema. Funkcije ES su ugrađene u software za monitoring mašina, upravljanje alatom i integraciju transporta i inspekcije.

- **Primena MM van FTS-a**

Primer 1. Boeing Aerospace ima izgrađenu FMC za serijsku inspekciju delova koji se proizvode za civilnu avio-industriju. Ovo je jedinstven primer fleksibilne metrološke ćelije (FMJ), koja je napravljena kao nezavisna inspekcija stanica od FTS-a, slika 2.11. ćelija se sastoji od dve MM, tip Cordax (Sheffield). Jedna je horizontalna a druga vertikalna. One su podržane AGV sistemom kao i robotom za manipulaciju, mernim predmetima. Kompjuterski sistem ćelije upravlja koordinacijom i tokom mernih predmeta, akvizicijom mernih rezultata, obradom i generisanjem izveštaja. FMC je projektovana za slučajni protok delova koji dolaze na inspekciju iz različitih fabrika.



Sl. 2.11 Fleksibilna metrološka ćelija instalisana u Boeing-u

Primer 2. General Electric's Aircraft Business Group in Evendale (Ohio), koristi kombinaciju različitih tehnika za inspekciju turbinskih lopatica. Koriste se: x-zraci, fluorescentna penetracija, digitalizacija i MM. Njima se proveravaju različite karakteristike: specifične tačke pri proizvodnom procesu, integritet dimenzija i površina i na kraju karakteristike preseka. Nakon finalne inspekcije vrši se digitalizacija lopatice radi kasnijih kontrola.

Računar ovog inspeksijskog sistema takođe predstavlja i interfejs između centralne baze podataka i mini-računara obradnih sistema, na kojima se obrađuju ove lopatice. Na ovaj način se vrši 100% kontrola lopatica uz optimizaciju troškova, korišćenjem procesiranja slike i drugih navedenih metoda inspekcije.

Primer 3. The Ford Assembly Plant in Wixom (Canada), ima FMĆ koja sadrži dve MM, horizontalnog tipa. Ona se koristi za inspekciju karoserija automobila. Delovi se automatski, na paletama dovode u merni položaj, vrši se njihova kontrola, kao i automatska izmena i nameštanje. Generisani metrološki podaci se koriste pri asembliranju i to tako da se selektiraju delovi iz istih klasa tolerancija. Statističkim analizama vrši se korekcija procesa na bazi određenog trenda.

2.4.2. Posle-procesna inspekcija

Ovaj koncept inspekcije zasniva se na inspekciji dela nakon kompletne obrade, pri čemu se deo ne skida iz pribora koji se koristi pri obradi. Nove generacije senzorske tehnologije čine da je ovaj vid inspekcije sve više pouzdan i tačan. Prednosti ovog modela inspekcije su: deo se ne skida sa mašine, MA se koristi kao inspeksijska stanica (slika 2.4.) i mogućnost dorade netačnog dela. Nedostaci ovog pristupa su: inspekcija dela se vrši nakon povećanja njegove vrednosti, greške mašine se ne mogu isključiti, povećava se vreme ciklusa obrade i teško je, pri pomeranju dela u priboru, odrediti ponovni, isti položaj.

Merni senzor za ovu inspekciju se postavlja u magacin alata obradnog sistema. Sve više se koristi i robot instalisan u FTS za inspekciju, promenom hvataljke.

Miniturizacija sistema vizije kao i laserskih mernih glava i transfer mernog signala kroz optičke kablove povećavaju mogućnosti ovog modela inspekcije.

Danas se najčešće za inspekciju tolerancija dužina koristi kontaktni senzor tipa "touch-trigger probe". Međutim, primena ovog senzora nailazi i na odgovarajuće probleme, kao na primer: merni senzor ne toleriše loše uslove okoline (temperatura, vlažna i zamašćena sredina, vibracije), teškoće pri prenosu pouzdanih signala do upravljačke jedinice, mala brzina rada, tako da senzor mora da čeka poruku od UJ radi preuzimanja vrednosti sledeće merne tačke i jedinstvene karakteristike softvera ovog senzora koje se moraju prilagođavati različitim proizvođačima NUMA.

U poslednje vreme istraživački napori u ovoj oblasti bili su okrenuti rešavanju ovih problema, tako da je danas razvijen merni senzor koji može da uradi nekoliko miliona mernih ciklusa u hazardnim uslovima a transmisioni protokol je

pojednostavljen. Brzim mini-računarima uz korišćenje hijerarhijskog-strukturisanog upravljanja povećana je brzina rada inspekcije. Rešenja u ovoj oblasti se traže i u razvoju standardnog interface-a za proizvođače NUMA.

Ovaj tip mernog senzora koristi se za inspekciju spoljašnjih i unutrašnjih tolerancija dužina. On se memoriše i postavlja u magacin alata isto kao i alat. Obično se programom generiše koordinata (površina) gotovog dela, kao osnova za inspekciju. Na osnovu toga vrši se generisanje mernih vrednosti, poređenje izmerenih vrednosti u datom i stvarnom koordinatnom sistemu i sračunavanje dimenzija dela. Merni rezultati se mogu koristiti za korekciju alata.

Tehnologija razvoja lasera i sistema vizije danas povećava njihovu tačnost, pouzdanost i mogućnost primene u obradi rezanjem. Brzina i fleksibilnost su prednosti ovih sistema u odnosu na kontaktne senzore, dok su nedostaci: uslovi okoline, veličina i cena.

2.4.3. Procesno merenje

Ovaj tip inspekcije se zasniva na bezkontaktnim sensorima koji predstavljaju celinu mašine alatke zbog nadgledanja i praćenja procesa obradi, radi proizvodnje tačnog dela. Koriste se različiti senzorski sistemi, kao što su: kompjuterska vizija, laserski skenirajući sistemi, akustički senzori i tomografija. Osnovna razlika između prethodnog i ovog koncepta inspekcije je u tome što se ovde generisanje mernih vrednosti vrši u procesu rezanja. Na ovaj način smanjuje se ciklusno vreme obrade i omogućuje stvaranje povratne sprege u realnom vremenu.

Prednosti ovog modela inspekcije su: podešavanjem procesa vrši se kompenzacija grešaka mašine, optimizacija ciklusa rezanja i inspekcija dela za vreme obrade.

Nedostaci ovog pristupa su: ograničene mogućnosti sa aspekta pouzdanosti i tačnosti mernog senzora, sve površine nisu pogodne za inspekciju i tehnologija inspekcije je još uvek sasvim nova.

George Fischer-Bohle proizvodi opto-elektronski merni sistem za bezkontaktno merenje otvora, određivanje lokacije, oblika i kružnosti na spoljnim površinama rotacionih delova. Kontinualno optičko skeniranje duž ose z ili u ravni x-y (z- const.) vrši se pomoću lasera a merni rezultati se skupljaju u procesoru. Kompjuterskom analizom slike vrši se izdvajanje i obrada mernih rezultata.

Operacije rezanja gde se danas primenjuje ovaj koncept inspekcije su: brušenje, razvrtnje i honovanje.

2.4.4. Deterministička metrologija

Deterministička metrologija je tehnika praćenja parametara obradnog procesa i njegovo upravljanje u realnom vremenu.

Koncept determinističke metrologije je zasnovan na principu proizvodnje bez škarta. Obradni proces se matematički modelira, a sa aspekta kvaliteta se prate odgovarajući parametri. U lokalni računar dolaze podaci sa senzora kojima se nadgleda proces, u realnom vremenu vrši se poređenje matematičkog modela i stvarnog procesa i njegovo održavanje u specificiranim granicama.

Neke od prednosti ovog modela su: ograničena pouzdanost i tačnost senzora, potreban je tačna matematički model procesa i ova tehnologija je u početnoj fazi istraživanja i razvoja.

Nekoliko ključnih elemenata procesa mora biti definisano radi realizacije ovog koncepta i to: (i) geometrijski oblik dela mora biti tako predstavljen da se može koristiti za različite namene (obrada, inspekcija, poređenje). To je danas dato preko IGES i PDES modela, (ii) parametri procesa sa dozvoljenim odstupanjem moraju biti definisani softverskim modelom preko UJ radne stanice, (iii) operacije obrade, manipulacije, transporta i inspekcije moraju biti jednoznačne i pouzdane, i (iv) projektovani FTS i njegove komponente moraju biti visoko pouzdane.

Ovaj koncept u svojoj početnoj verziji danas je primenjen u nekim procesnim industrijama kao što je, na primer, proizvodnja i prerada nafte.

Kod tehnoloških sistema, pri obradi rezanjem, senzorskim uređajima prate se različiti parametri. Senzori za nadgledanje i praćenje procesa obuhvataju: (i) senzore i pretvarače sile za praćenje habanja alata preko opterećenja glavnog vretena, (ii) senzori opterećenja motora prenosnika za glavno kretanje, (iii) sistemi za automatsko podešavanje i korekciju alata i izmenu ovih podataka u UJ, (iv) senzori zvučne emisije za detekciju signala iz procesa, i (v) senzori vibracija za detekciju i prenos podataka o vibracijama rezanja u UJ.

Poboljšanjem karakteristika ovih senzorskih sistema povećava se tačnost i validnost detekcije signala. Miniturizacija i prilagođavanje okolini senzora i njihovo povezivanje sa pretvaračima ubrzaće primenu ovog modela.