

## UPORABA AlNiCo-MAGNETOV TER PROIZVAJALČEVA PODPORA UPORABNIKU

### AlNiCo MAGNET APPLICATIONS AND PRODUCER'S SUPPORT FOR THE MANUFACTURING PROCESS

**Franc Kopljan**

Magneti Ljubljana, d. d., Stegne 37, 1000 Ljubljana, Slovenija  
f.kopljan.svk@magneti.si

*Prejem rokopisa - received: 2002-11-18; sprejem za objavo - accepted for publication: 2003-02-25*

Podajamo pregled klasičnega razvoja aplikacije magnetnega sistema z AlNiCo-magneti. Navajamo tudi najpogostejša področja njihove uporabe. Poleg tega predstavljamo procesa magnetne in optične kontrole kakovosti magnetov, katerih elemente je možno uporabiti tudi v kupčevem proizvodnem procesu.

Ključne besede: trajni magneti, AlNiCo-magneti, izračun magnetnih krogov, magnetno preskušanje, elektronski fluksmeter, optična kontrola

Steps in the design of a classical magnetic system application with AlNiCo magnets are presented. The most common areas of their use are listed. In addition the quality inspection processes of magnetic and optical properties are shown. The elements of these processes could be used in the customer's manufacturing processes.

Key words: permanent magnets, calculation of the magnetic circuits, magnetic inspection, electronic fluxmeter, optical inspection

#### 1 UVOD

AlNiCo-magneti se uporabljajo že dolga desetletja, vseeno pa načrtovanje in razvoj magnetnega sistema še vedno ni rutinsko opravilo, kjer bi z nekaj formulami ali s hitrimi in poceni numeričnimi izračuni dosegli želene rezultate. Skladno s svojim poslanstvom in uveljavljenimi mednarodnimi sistemi vodenja kakovosti ter politiko poslovne odličnosti podjetje Magneti Ljubljana želi v tem prispevku predstaviti možnosti podpore uporabnikom tako pri razvoju proizvoda kot tudi razvoju in izboljšavah proizvodnega procesa. Posebej sta obdelani področji magnetnega in optičnega preskušanja, kjer je podjetje Magneti Ljubljana, d.d., v zadnjih letih ob podpori Ministrstva za gospodarstvo doseglo pomembne izboljšave svojih tehnoloških procesov in je pripravljeno s svojimi izkušnjami pomagati tudi kupcem. V procesih kontrole kakovosti namreč preskušamo, kako se bo magnet obnašal v pričakovani aplikaciji in ali bo imel načrtovane funkcionalne karakteristike, zato pri teh postopkih, kjer je to le mogoče in ekonomsko upravičeno, uporabljamo čim bolj identično konstrukcijo magnetnega sistema, opremo in postopke, kot jih uporabljajo tudi kupci.

Pomemben del proizvodnega programa podjetja Magneti Ljubljana obsegajo liti in sintrani AlNiCo-magneti. Seznam materialov, njihove lastnosti in tipične oblike so predstavljeni na internetni strani podjetja <sup>1</sup>.

Glede na uporabljeni kovinski vložek je cena AlNiCo - magnetov zmerna, odlikujejo pa jih še visoka remanenca, odlična stabilnost v zelo širokem temperaturnem

območju in dejstvo, da relativno zlahka namagnetimo in stabiliziramo / kalibriramo magnetni sistem. Glede na mehanske lastnosti je lite magnetne težje obdelovati, zato nastopajo v preprostejših oblikah in praviloma s širšimi tolerancami na kotah, ki jih ni mogoče brusiti. Sintrani magneti imajo nekaj odstotkov nižje magnetne lastnosti, vendar številne druge prednosti. V primeru zahtevnejših oblik jih je praviloma mogoče narediti z nižjimi stroški kot lite magnetne, odlikuje pa jih tudi gladka površina in manjši obseg končnih mehanskih obdelav. Zelo majhne in zelo zahtevne oblike magnetov je mogoče realizirati samo v sinterni izvedbi.

Tipična področja uporabe so praviloma povezana z obliko magneta oziroma magnetnega sistema. Tako se paličasti magneti (magnetni valjčki) uporabljajo predvsem v ABS-senzorjih ter merilnih instrumentih (npr. linearni dajalnik pomika), podkvasti magneti v zavornem sistemu indukcijskih električnih števecov, valjčki z luknjo v enosmernih motorjih in tahogeneratorjih, primerno oblikovani sistemi z magnetnim jedrom ter prilepljenimi polovimi nastavki pa tudi v instrumentih na vrtljivo tuljavico. Možne so tudi izpeljanke oblik, npr. profilno brušen valjček, ki pa se v sodobnejših sistemih pojavljajo manj pogosto. Podjetje ponuja tudi delno sestavljene magnetne sisteme po tehnologijah lepljenja in tlačnega litja, ki so lahko dodatno površinsko zaščiteni in kompletirani s termokompensacijsko pločevino, regulacijskim elementom, priborom za montažo itd. ter umerjeni na zahtevane vrednosti elektromagnetnih lastnosti z zelo ozkim raztrosom (npr. zavornega momenta). Takšne sisteme je

brez dodatnih operacij mogoče takoj vgraditi v merilnike.

## 2 NAČRTOVANJE IN KONTROLA KAKOVOSTI MAGNETNIH SISTEMOV

Predstavljamo podporo, ki jo podjetje Magneti Ljubljana, d.d., daje uporabnikom pri načrtovanju in razvoju magnetnih sistemov ter s prenosom izkušenj s področja zagotavljanja kakovosti.

### 2.1 Načrtovanje in razvoj magnetnih sistemov

Pri uporabi magnetnih sistemov gre za uporabo vsaj enega izmed naslednjih osnovnih načel:

- v prisotnosti trajnih magnetov lahko mehansko moč spreminjamo v električno in nasprotno,
- trajni magnet povzroča mehansko silo na feromagnetna telesa ter
- trajni magnet se poravna s smerjo magnetnega polja.

#### 2.1.1 Specifika proizvodov

Vsak razvoj / koncept magnetnega sistema ima svoje zahteve za magnet, zato so si magneti načeloma podobni, vendar so specifični za kupca in predvsem za uporabljeni material in geometrijo. Navadno se tudi zelo podobni magneti razlikujejo v funkcionalnih karakteristikah, kot so dimenzijske tolerance, povezane s kupčevimi orodji za nadaljnje procesiranje in montažo. Zaradi visokega deleža uporabljenega kovinskega vložka v proizvodu ter zaradi visoke cene mehanskih obdelav podjetje praviloma uporablja za vsak proizvod lastno orodje. Prebrusitve in večje spremembe dimenzij se izvajajo praviloma le za prototipe. Glede na uporabljeno tehnologijo pri kupcu se navadno zahteva visoka magnetna kvaliteta, zelo ozke tolerance ter idealne vizualne lastnosti, predvsem brez okrušitev, razpok in lunkejev.

#### 2.1.2 Pregled zahtev za proizvod

Skladno z uveljavljenim sistemom vodenja kakovosti se v podjetju pregledajo zahteve iz povpraševanja. Pri standardnih izdelkih je poudarek na pregledu tehničnih specifikacij in razpoložljivih proizvodnih kapacitet. Za nove oz. nestandardne izdelke pa se izdelava študija izvedljivosti in se predlagajo alternative, ki, glede na predvideni tehnološki proces, omogočijo optimalno realizacijo proizvoda oziroma izboljšajo njegovo ekonomiko. Rešitve se uskladijo s kupcem. Preveri se razpoložljivost opreme ter usklajenost in statistična sposobnost preskusnih metod. Izvedejo se tudi analize tveganj ter realizirajo potrebne izboljšave obstoječih oziroma razvoj novih procesov. Proces usklajevanja tehničnih zahtev se zaključi z izdelavo in predložitvijo vzorcev ter vgradnjo ničelne serije pri kupcu. Podobni, s kupcem usklajeni postopki potekajo tudi pri obvladovanju sprememb in izboljšav.

Za aplikacijo pomembne lastnosti se v okviru pregleda izvedljivosti še posebej skrbno preverijo. Izdelava se seznam pomembnih karakteristik in zahtev, določijo minimalne zahteve za magnetne lastnosti, opredeli vrsta specificiranega materiala, določijo se tudi druge dimenzije, zahteve za površino, videz, mehanske lastnosti ter zahteve za pakiranje in transport.

Preverijo se tudi potrebne investicije v tehnološko opremo in orodja ter ocenijo stroški in čas izvedbe.

#### 2.1.3 Načrtovanje magnetnih sistemov

Z optimalnim rezultatom načrtovanja magnetnega sistema prihranimo denar proizvajalcu / uporabniku ter ponudimo končnemu kupcu najprimernejši izdelek. Pri načrtovanju moramo gledati na proizvodni proces kot celoto, saj lahko ceno dražjega magneta kompenziramo z znižanjem drugih stroškov. Praviloma uporabljamo anizotropne materiale, ki zahtevajo manjše polove nastavke in pri katerih nastane manj stresanega polja. Takšni magneti imajo zato manjše dimenzije in maso, ugodnejše pa je tudi razmerje med ceno in lastnostmi.

Izračune trajnih magnetnih sistemov obravnava relativno malo literature. Uporaba numeričnih metod za optimiranje vrhunskih proizvodov in razrešitev tehnoloških problemov je namreč postala marsikje ne samo upravičena, ampak tudi nujna.

Vseeno pa želimo v tem prispevku podati klasičen način načrtovanja in izdelave prototipov magnetnih sistemov<sup>2</sup>. Pri tem ne smemo pričakovati, da bomo s preprostim vstavljanjem števil v nekaj formul dobili podatke o dolžini, preseku in idealni obliki sistema. Razmere v magnetnem sistemu so namreč kompleksne, formule pa poenostavljeni približki, ki dajejo indikacijo o potrebni velikosti in obliki. Za razvijalce zato pomenijo veliko prednost razpoložljive izkušnje iz podobnih predhodnih razvojev.

#### 2.1.4 Vhodni podatki za načrtovanje

Vhodni podatki za načrtovanje morajo obsegati opis aplikacije z vsemi relevantnimi podatki in razpoložljivimi risbami ter omejitvami glede dimenzij in mase. Kupec se mora odločiti tudi, ali želi imeti optimalne lastnosti za dano ceno ali pa išče najnižjo ceno za dane lastnosti. Na izbor proizvodne tehnologije ter tudi ponudbeno ceno vplivajo ocenjene letne potrebe glede količin. Kupec mora upoštevati tudi možnosti magnetenja po končani montaži sistema ter učinke zunanjih vplivov, ki nastanejo zaradi magnetnih polj, pri servisiranju itd. Ravno tako je treba opredeliti zahteve v zvezi s površinsko obdelavo in morebitno galvansko zaščito. Čeprav je Curiejeva temperatura AlNiCo-magnetov relativno visoka, je treba določiti in omejiti najvišjo temperaturo uporabe. Ravno tako morajo biti opredeljene zahteve za stabilnost magnetnega sistema v zvezi s specificiranimi zunanjimi dejavniki. Oceniti je treba tudi vpliv površinskih napak in manjših razpok na kakovost končnega izdelka ter ekonomiko (izmeček).

Pri vgradnji magnetov v sistem je treba upoštevati vidike načrtovanih postopkov vgradnje (vpenjanja, zalivanja, kovičenja, vijačenja, lepljenja, varjenja, lotanja) ter druge vplivne veličine.

Za magnetna prijemala je treba specificirati zahtevano privlačno silo, morebitno zračno režo, dopustno spremembo sile z razdaljo, velikost, obliko, debelino in vrsto prijetega materiala ter kakovost površine (gladka, ravna, barvana, oksidirana...).

Pri generatorjih moramo poznati velikost izhodnih veličin in vrsto bremena, ali se bo magnet uporabljal kot stator ali rotor, frekvenco vrtenja rotorja, podatke o navitju tuljave ter obliko izhodne napetosti [izmenična (frekvenca, število faz) ali enosmerna].

Pri motorjih vplivne veličine obsegajo napajalno napetost, zagnoske in trajne navore, zahteve v zvezi z neobremenjenim stanjem, regulacijo ob obremenitvi, morebitne podatke o navitju ter frekvenco napajalne napetosti.

Pri instrumentih z vrtljivo tuljavico je treba poznati zahtevano občutljivost, upornost in število ovojev tuljavice, karakteristike vzmeti, podatke o zračni reži, maksimalni odklonski kot tuljavice ter linearnost in druge zahteve za kazanje.

Pri števcih električne energije pomembni dejavniki obsegajo material, debelino in premer diska, zavorni moment pri frekvenci vrtenja, metodo temperaturne kompenzacije ter zahteve v zvezi s končno nastavitvijo zavornega momenta.

### 2.1.5 Izračun magnetnega sistema

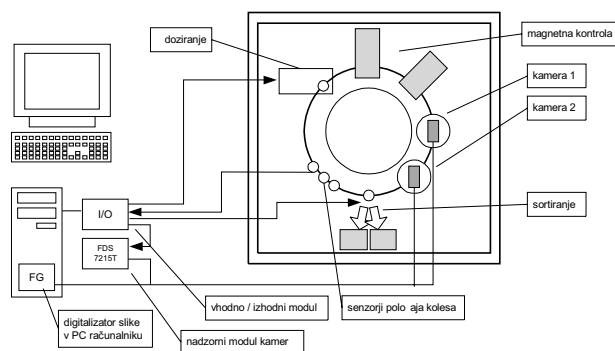
Eksaktni izračuni <sup>2</sup> obstajajo samo za dve vrsti magnetov:

- **prstan** s popolnoma sklenjenim magnetnim krogom, kjer ni stresanja magnetnega fluksa (uporabno samo za meritve magnetnih materialov) ter
- **elipsoid** s popolnoma odprtim krogom (uporaba za kompase, nepraktičen za proizvodnjo).

Realni magneti se nahajajo med tema skrajnostima:

- če je razmerje med režo in dolžino magnetov majhno (navadne aplikacije), je sistem podoben **prstanu z režo** in je njegova delovna točka določena z razmerjem med **dolžino in prerezom** ter
- če je **reža relativno velika**, je sistem podoben elipsoidu in je njegova delovna točka v glavnem določena z razmerjem med **dolžino in premerom**.

Za paličast magnet velja, da fluks izhaja iz magnetov pred čelnimi ploskvami, zato celoten magnet ne deluje pod enakimi pogoji, za elipsoid pa velja, da je znotraj magnetov gostota magnetnega pretoka konstantna. Žico lahko ponazorimo z ekstremno podaljšanim elipsoidom, tableto pa z ekstremno kratkim elipsoidom. Delo pri dočanju parametrov magnetnega sistema si olajšamo z uporabo nomograma, v katerem se upoštevajo geometrijska razmerja in materialne lastnosti magnetnega materiala <sup>2</sup>.



Slika 1: Shema merilnega sistema

Figure 1: Scheme of the magnetic measuring system

Ko določimo vrsto materiala in okvirne dimenzije magnetnega sistema, je zelo koristno izvesti preskus na prototipih iz vsaj dveh alternativnih materialov z različnimi karakteristikami ter izbrati ugodnejšo varianto ali nadaljevati postopke optimiranja.

### 2.2 Oprema za avtomatizacijo postopkov in podporo kupčevim proizvodnim procesom

Že samo aplikativno naravnano preskušanje je prvi korak podpore kupčevemu proizvodnemu procesu. Glede na specifično preskusnih metod smo v podjetju morali razviti določeno opremo, za katero menimo, da jo je možno uporabiti v procesih vgradnje v magnetne sisteme pri kupcih, pa tudi na številnih drugih področjih razvojnega in raziskovalnega dela. Predstavljamo opremo za magnetna merjenja <sup>3</sup> ter optično kontrolno opremo za brezkontaktna dimenzijska merjenja, merjenje geometrije in vizualno kontrolo <sup>4</sup>.

#### 2.2.1 Avtomatizacija magnetnih meritev paličastih magnetov

Predstavljamo sortirnik (slika 1) za magnetno in optično kontrolo funkcionalnih čelnih površin paličastih magnetov.

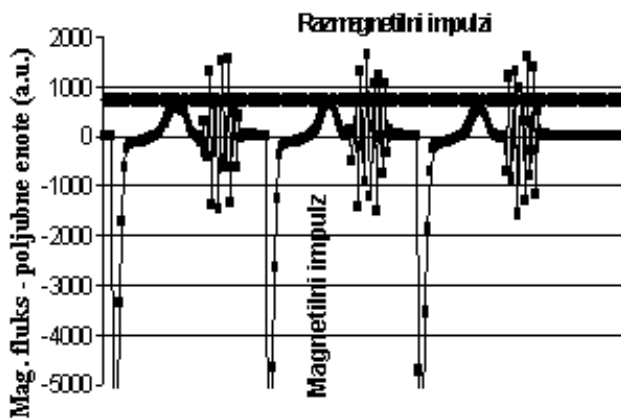
Osnovni deli sortirnika so dozirni sklop, sistem za magnetno kontrolo, sistem za optično kontrolo, pogonski del, sortirni sklop, senzori položaja transportnega kolesa, kontrolna omara s procesno enoto - PC, programska oprema *Neuro Inspector* <sup>5</sup>.

#### 2.2.2 Princip delovanja sortirnika

Proces kontrole magnetov se začne z dodajanjem magnetov v kontrolna gnezda na vrteči se transportni disk. Med merilnim ciklom magneti potujejo skozi magnetilni, merilni in razmagnetilni jarem ter mimo dveh mest za vizualno kontrolo. Vse operacije in analize se opravijo med gibanjem magnetov.

Magnetno sortiranje in meritve se izvede po naslednjem vrstnem redu:

1. magnet se namagnetni do nasičenja, ko gre skozi magnetilni jarem
2. izvede se meritve magnetnega fluksa v merilnem jarmu (kar obsega proženje magnetilne naprave,



Slika 2: Časovni potek dogajanja v merilnem jarmu - ciklična meritev magnetnega fluksa

Figure 2: Cyclic measurement of the magnetic flux in the measuring yoke

praznjenje fluksmetra, detekcijo temenske vrednosti fluksa in odločitev o kakovostni ustreznosti)

3. proženje razmagnetilne naprave (magnet se razmagnetil, ko gre skozi razmagnetilni jarem - zaželen je remanentni magnetizem, ki je manjši od 2 % vrednosti fluksa pri namagnetanju magneta do nasičenja).

Problem sinhronizacije fluksmetra oz. da pridobimo čas za praznjenje, je rešen z merilnim jarmom, ki je med magnetilnim in razmagnetilnim jarmom. Jarem ima visoko induktivnost in železno jedro.

Časovni potek dogajanja pri ponavljajočem se cikličnem merjenju fluksa v merilnem jarmu (magnetilni impulz v magnetilnem jarmu, naraščanje in padanje fluksa ter razmagnetenje z uporabo paketa razmagnetilnih impulzov) je predstavljeno na **sliki 2**.

Za nadzor nad pravilnim delovanjem elementov magnetnega sortiranja je na disk pritrjen magnet, ki se uporablja kot delovni referenčni etalon. Ta magnet ima funkcijo, da predstavlja minimalni nivo sprejemljivosti tudi ob spreminjajočih se parametrih delovanja uporabljene opreme.

Na **sliki 3** je predstavljen detajl izvedbe transporta magnetov pri magnetnem preskušanju.

Za opisani sortirnik je bil posebej razvit hiter elektronski fluksmeter, ki omogoča dinamično merjenje fluksov.

Razviti fluksmeter ima te-le sklope: CPU s CMOS-mikroprocesorjem, 32 k RAM spomina, 8 k programa v EPROM-vezju, galvansko ločeno serijsko vodilo, logiko za interno krmiljenje funkcij (integrator, A/D pretvornik po integracijskem principu, praznjenje (reset) integratorja), vezje časovnega stražarja (watchdog reset), vhodni ojačevalnik, galvansko ločene sinhronizacijske vhode in izhode z LED-signalizacijo statusa magneta, relejskim izhodom za sortirnik, BCD-komparatorjema in številne druge funkcije.

Programska oprema obsega inicializacijo vrednosti ob vklopu, praznjenje (reset) integratorja, sinhroniza-



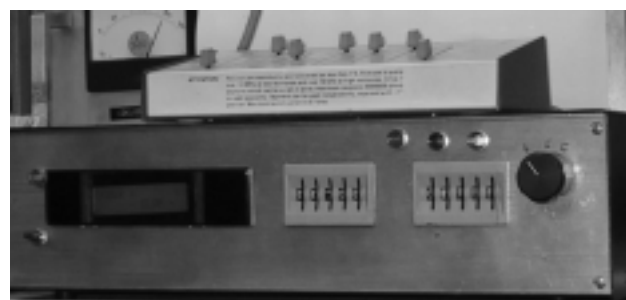
Slika 3: Pogled na dozirni in merilni sistem

Figure 3: Transport and measuring system

cijske vhode (reset, peak, etalon), branje kodirnih stikal BCD kot dodatno omejitev za zmanjšanje notranje variabilnosti sistema merjenja, prepoznavanje dogodkov, merjenje in pomnjenje vrednosti ter kompariranje, tako glede na etalon kot tudi BCD-komparator, nadzor statusa krmilnih vhodov, merjenje analogne vrednosti integratorja z A/D pretvornikom, izdajo vrednosti v formatirani obliki na serijsko vodilo in LCD-zaslon, sledenje in digitalno pomnjenje temenske vrednosti.

Diagnostični program omogoča opazovanje dogodkov v merilnem ciklusu ter prepoznavanje potreb po morebitni sinhronizaciji ali odpravi opredeljenih napak v delovanju.

Posebej se instrument odlikuje po kratkem času praznjenja integratorja, ki je samo 0,05 s, veliki hitrosti vzorčenja, vrednotenja in izdaje podatkov, visoki stopnji neobčutljivosti za motnje iz okolja in primerno majhnem lezenju (driftu) ter možnosti stalnega (tudi daljinskega) nadzora merilnega sistema in samokorekcije na osnovi nastavitve absolutnih meja z dvojnimi kompariranjem (etalon in digitalna meja), pa tudi nadzoru magnetilno / razmagnetilnega sistema in javljanju napak. Prototip opisane fluksmetra je predstavljen na **sliki 4**.



Slika 4: Prototip hitrega elektronskega fluksmetra

Figure 4: High-speed electronic fluxmeter

### 2.2.3 Magnetilno-razmagnetilna naprava

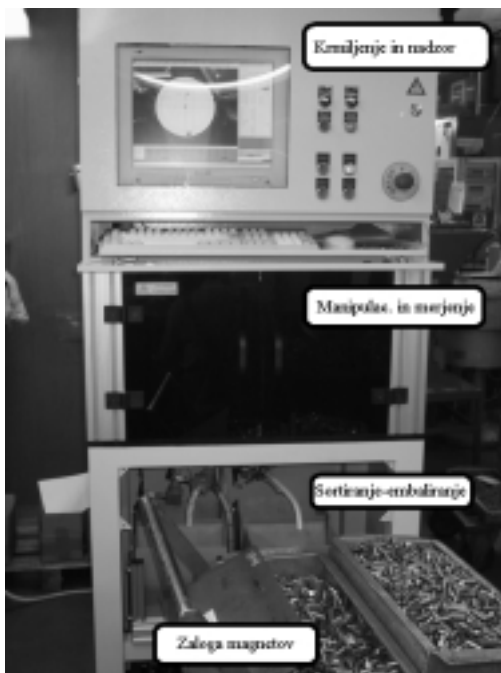
Za izvedbo predpisanih magnetenj in kakovostnih razmagnetenj magnetov sta bila izdelana magnetizer in demagnetizer s taktom 1 impulz na sekundo. Kondenzatorska izvedba naprave omogoča galvansko ločitev in zaradi manjših motenj ugodno vpliva na meritve magnetnih fluksov. Izdelana naprava omogoča delo na magnetilnem jarmu (dve navitji) in razmagnetilnem jarmu (eno navitje) z jedrom CU180a, krmiljenje je izvedeno s krmilnikom LOGO ter omogoča sinhrono delovanje v povezavi z nadrejenim krmilnikom.

Energijska vsebina naprave, ki je prilagojena za material Limag 500B, je 175 J.

Za pravilno delovanje je predvsem pomembna oblika razmagnetilnega impulza, ki je odvisna od pravilne kombinacije induktivnosti jarma ter kondenzatorske baterije.

### 2.3. Optični sortirnik - avtomatizacija dimenzijskih meritev in vizualnega sortiranja magnetov z uporabo računalniškega vida

Predstavljamo stroj za optično kontrolo, ki omogoča avtomatizacijo preskušanja geometrije magnetov valjaste oblike. Z uporabo računalniškega vida in laserske opreme izvajamo visokoproduktivne brezkontaktno meritve dolžine, premera in pravokotnosti ter vizualno sortiranje po čelnih površinah in plašču. Na osnovi predhodno definiranih in numerično izraženih meril se izvaja ločeno obravnavanje posameznih funkcionalnih delov površine. Celotna obdelava kakovostne ustreznosti merjenja se izvede na osnovi 21 slik v 1,8 sekunde.



Slika 5: Stroj za optično kontrolo

Figure 5: Optical inspection equipment

### 2.3.1 Opis stroja za optično kontrolo

Kontrola kakovosti poteka na podlagi analize posnetkov čelnih površin in plašča magnetov. Za zajem posnetkov so uporabljene CCD-kamere z ustrežno optiko in osvetlitvami. Analiza posnetkov in detekcija kontroliranih parametrov se opravlja na PC-računalniku s programsko opremo Neuro Inspector®. Na podlagi detektiranih merjenih parametrov na posnetkih se, v skladu z nastavljenimi tolerancami, izvede sortiranje magnetov in vodi statistika kontrole. Na izstopu iz merilnega dela se ustrezni magneti dozirajo v škatle oziroma ločijo v izmetni posodi.

Stroj sestavljajo trije sklopi: krmilni in kontrolni sklop, manipulacijski in merilni sklop ter sortirni in dozirni sklop. Predstavljen je na **sliki 5**.

Kontrola dimenzij in površine magnetov temelji na merilni metodi, ki za merjenje izkorišča optične lastnosti magnetov (npr. nepresojnost, gladka in mat kovinska površina, ostri in definirani robovi ploskev,...). Glavne prednosti optične merilne metode so: brezkontaktno meritve, ni gibljivih mehanskih delov, ni obrabe, objektivnost in ponovljivost pri konstantnih svetlobnih razmerah v okolici. Vsi kontrolirani dimenzijski parametri imajo poljubno nastavljiva tolerančna območja. Programska oprema omogoča preprosto shranjevanje vseh merjenih rezultatov vsakega posameznega magneta, kar omogoča kasnejšo statistično analizo.

Optična kontrola se izvaja na treh merilnih mestih (MM):

- MM1 - kontrola lunkejev in okrušitev na čelnih površinah, kontrola pravokotnosti in meritev dolžine magneta
- MM2 - meritev premera magneta
- MM3 - kontrola lunkejev na površini plašča magneta

S horizontalnim pomikom postavimo magnet na merilni prizmi na merilno mesto 1. V osi magneta sta dve kameri, vsaka na eni strani magneta, ki posnameta sliko čelne površine. V prvi fazi analize se prižgeta dva laserja, ki na čelni površini projicirata svetlobni križ (osvetlita površino s strukturirano lasersko svetlobo). V naslednji fazi analize laserja ugasneta in prižge se najprej ena in nato druga ploskovna luč na kamerah. Na ta način se posamejno sliko leve in desne čelne površine pri obeh vrstah osvetlitve.

Po končanem zajemu slik na merilnem mestu 1 z vertikalnim pomikom magnet dvignemo na merilno mesto 2, kjer posname kamera sliko za montažo kritičnega dela magneta ter izmerimo premer magneta.

Na merilnem mestu 3 stisnemo magnet z dvema gumiranima čeljustima in ga zavrtimo s koračnim motorjem za cel obrat. Med vrtenjem kameri zajameta 16 slik in tako omogočita analizo celotnega plašča magneta.

Po končani analizi na merilnem mestu 3 se pod magnet, ki ga držijo čeljusti, pomakne izmetni kanal, od

koder po lijaku magnet nadaljuje pot v dozirni in sortirni sklop.

### 2.3.2 Kontrolne operacije na merilnih mestih

**Merilno mesto 1** je razdeljeno na dva dela - analiza leve in desne čelne površine. Kontrola magnetov poteka v dveh fazah: meritev dolžine in kontrola pravokotnosti magnetna z lasersko osvetlitvijo ter nato kontrola lunke in okrušitev na čelni površini magnetna v drugi fazi.

#### Meritev dolžine magnetna

Na podlagi položaja projekcije pokončne laserske črte na površini čelne ploskve magnetna je mogoče izračunati oddaljenost površine od kamere. Ker poteka enak postopek na obeh straneh magnetna, je tako možno izračunati dolžino magnetna, pri čemer pozicija merjenca vzdolž njegove osi na rezultat ne vpliva.

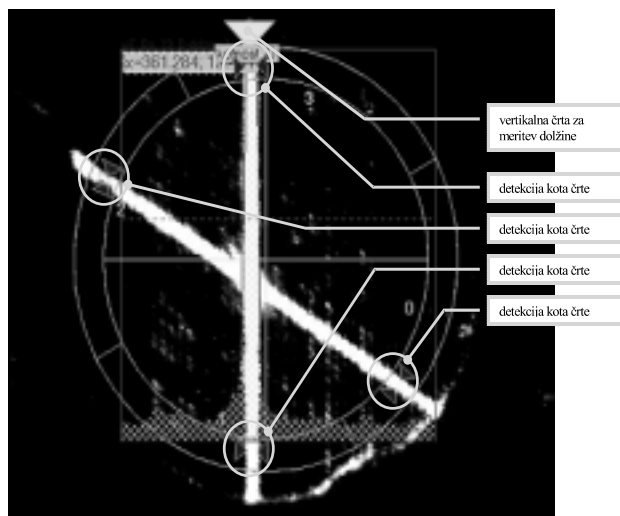
#### Kontrola pravokotnosti magnetna

Projekcija laserskega križa na čelni površini ima obliko dveh prekrizanih črt. Iz presečišča izhaja vsak krak pod kotom, ki je določen s položajem kamere, položajem in obliko laserskega izvira ter kotom površine, na kateri opazujemo laserski križ. Če se kateri od teh kotov odmika od referenčno nastavljenega kota, pomeni, da je čelna površina nagnjena glede na os magnetna.

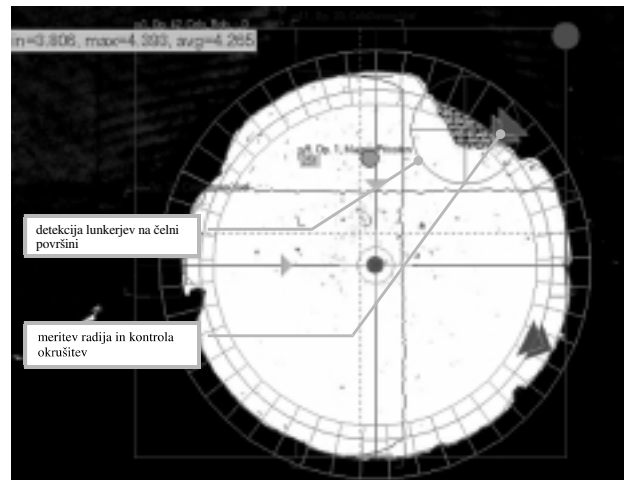
Na **sliki 6** je prikazana izvedba detekcije in analiza meritve dolžine in pravokotnosti magnetna.

#### Kontrola okrušitev

Kontrola se opravlja na podlagi meritve radija čelne površine v posameznih krožnih izsekih. Na mestu, kjer je bil detektiran najmanjši radij, je rob magnetna okrušen. Če je ta okrušitev večja od dovoljene, je magnet označen kot neustrezen.



**Slika 6:** Detekcija dolžine in pravokotnosti  
**Figure 6:** Length and perpendicularity detection



**Slika 7:** Detekcija in analiza na MM1 (lunke in okrušitve)  
**Figure 7:** Cavity and edge detection

#### Kontrola lunke

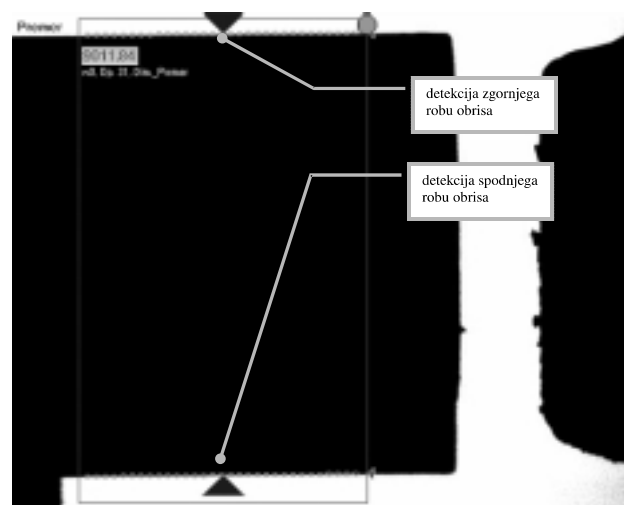
Kontrola lunke se opravlja na podlagi detekcije temnih območij na svetli kovinski površini čela magnetna. Na zaslonu se taka območja označijo z rumenimi krogi. Če taka območja tvorijo večjo celoto s površino, večjo od največje še dovoljene, so taki magneti označeni za neustrezne. V takem primeru se na takem območju nariše rdeč krog s križem.

Detekcija na čelni ploskvi je predstavljena na **sliki 7**.

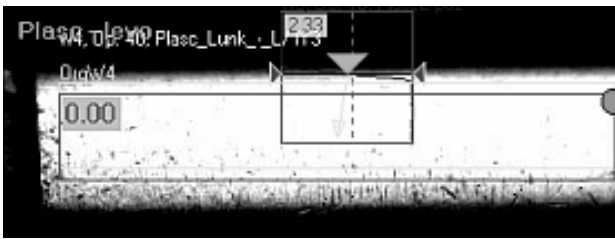
Na **merilnem mestu 2** poteka meritev premera magnetna.

V ozadju magnetna je difuzna ploskovna osvetlitev, ki zagotavlja ostro sliko obroba dela magnetna. Detekcija temelji na večkratni meritvi in povprečenju širine obroba magnetna na **sliki (slika 8)**.

Na **merilnem mestu 3** poteka kontrola lunke in okrušitev na plašču magnetna (**slika 9**).



**Slika 8:** Detekcija in analiza na MM2 (premer)  
**Figure 8:** Diameter detection



**Slika 9:** Detekcija in analiza na MM3 (lunker na plašču)  
**Figure 9:** Mantle cavity detection (detail)

Med vrtenjem magnetu se z dvema kameraama posname po 16 slik. Vsaka kamera po kosih posname svojo polovico plašča magnetu. Kontrola se izvrši na podlagi detekcije temnih območij na svetli površini magnetu. Odločanje je enako kot na merilnem mestu 1.

### 3 REZULTATI UPORABE MAGNETNEGA IN OPTIČNEGA SORTIRNIKA

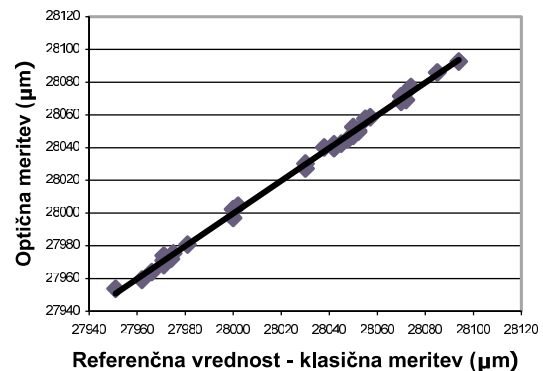
Rezultati uporabe so različni za magnetni in za optični sortirnik in bodo predstavljeni ločeno.

Magnetni sortirnik trajno dosega nivo 0 ppm, pri čemer je korelacijski indeks med izmerjenim fluksom in maksimalnim energijskim produktom magnetu boljši kot 0,99.

Optični sortirnik je relativno kompleksen, postopki kalibracije so zahtevni, ravno tako nastavitve tehnoloških meril sprejemljivosti, omogoča pa ponovljivo produktivno in objektivno ocenjevanje kakovosti proizvodov. Na **sliki 10** je predstavljena korelacija rezultatov klasičnega in optičnega merjenja dolžine. Čas tehnološkega optimiranja sortirnika za vizualna merila je relativno dolg, posebno težavo pa pomenijo nihanja izhodne kvalitete predhodne faze proizvodnega procesa. Ker se pojavljajo nove vizualne napake, ki prvotno niso bile predvidene, je sortirnik po prvih 3 mesecih uvedbe v proizvodni proces dosegel nivo 100 ppm, kar je za velikostni razred boljše kot pri ročnem sortiranju. V nadaljnjih 3 mesecih pa je, ob izboljšanju kakovosti predhodnih stopenj v izdelavnem procesu, dosegel nivo 10 ppm, kar popolnoma opravičuje njegovo uvedbo v tehnološki proces. Doseženi nivo je možno izboljševati predvsem z obvladovanjem vhoda, to je stabilnosti in ponovljivosti izdelavnega procesa ter s tem povezanim preprečevanjem nastopa novih in neprepoznanih napak.

### 4 DISKUSIJA

Tehnološka optimizacija ni enkratno delo. Izkušnje kažejo, da je tehnološka optimizacija parametrov prvenstveno funkcija stabilnosti proizvodnega procesa. Bolj ko so proizvodni procesi nestabilni, večja aktivnost in pogostnost je potrebna na področju tehnoloških optimizacij. Sistemi za avtomatsko optično kontrolo so namreč naprave, ki delujejo ponovljivo in po predpisanih kvantitativnih merilih. Ker nestabilni proizvodni pro-



**Slika 10:** Korelacija rezultatov klasičnega in optičnega merjenja dolžine  
**Figure 10:** Comparison of measuring results by classical and optical methods

cesi producirajo izdelke z neponovljivimi in variabilnimi optičnimi karakteristikami, to lahko na sistemih optične kontrole rezultira v povečanem deležu izmečka ali pa nastopi tveganje, da bo dejansko neustrezen izdelek razpoznan kot ustrezen.

Naslednja postavka je, da sistemi za avtomatsko kontrolo pomenijo visoko tehnologijo, ki potrebuje temu primeren kader za svoje vzdrževanje in optimizacijo. Potrebno je poudariti, da ne gre samo za poznavanje samih naprav, temveč tehnologije kontrolnega procesa v celoti.

Zahteva se tudi visoka kakovost in stabilnost povezanih tehnoloških procesov ter čistoča tako preskušancev kot tudi okolja in pomožnih sredstev, ki jih je zato treba dodatno nadzorovati.

### 5 SKLEP

Sortirna avtomata za magnetu meritve in optično kontrolo sta se pri uporabi v proizvodnem procesu izkazala kot zanesljiva, produktivna in kakovostna agregata, ki sta uporabna tako v proizvodnji magnetov kot tudi pri izdelavi magnetnih sistemov ter v številnih drugih procesih kontroliranja in preskušanja tudi za najzahtevnejše kupce.

### 6 LITERATURA

- <sup>1</sup> Magneti Ljubljana, d. d., *The world - wide supplier of permanent metallic magnets [electronic source]*. Magneti Ljubljana, 2002 [quoted May 28th, 2002; 12:00:00]. URL-address: www.magneti.si
- <sup>2</sup> D. Hadfield, *Permanent Magnets and Magnetism - Theory, Materials, Design, Manufacture and Applications*, Iliffe Books, John Wiley & Sons Inc., 1<sup>st</sup> ed., New York 1962, 191-372
- <sup>3</sup> F. Koplán, *Avtomatizacija magnetnih meritev paličastih magnetov*, *Avtomatika*, Ljubljana, 26 (2002) 31-34
- <sup>4</sup> F. Koplán, *Kontrola kakovosti magnetov - Avtomatizacija dimenzijskih meritev in vizualnega sortiranja magnetov s pomočjo računalniškega vida*, *Avtomatika*, Ljubljana, 27 (2002) 30-34
- <sup>5</sup> FDS Research Computer Vision Group, *Neuro Inspector© Software User Manual [electronic source]*, FDS, Ljubljana, 2002 [quoted September 6th, 2002; 12:00:00]. URL-address: www.fdsresearch.si