

Automatizacija provjere ispravnosti paketa mjerenjem mase

Ivica Vlašić, Milivoj Puzak, Goran Malčić

Elektrotehnički odjel

Tehničko veleučilište u Zagrebu

Ivana Lučića 5, Zagreb, Hrvatska

Telefon: 099-6942-511 E-mail: ivica.vlasic@inet.hr

mpuzak@vtszg.hr; goran.malcic@tvz.hr

Sažetak - Moderna industrijska proizvodnja ima tendenciju automatizacije svih segmenta, a standardi upravljanja kvalitetom zahtijevaju učinkovitu kontrolu ispravnosti izlaznih proizvoda. Klasična provjera ispravnosti paketa zahtjeva složene radnje prebrojavanja što može bitno poremetiti kontinuitet proizvodnog procesa, a cijena takvih zahvata je velika.

U slučaju da paketi sadrže pojedinačne primjerke iste mase moguće je modernim senzorima uspješno automatizirati ovaj dio proizvodnog procesa.

Tema rada je automatizacija provjere ispravnosti paketa mjerenjem mase u visokoautomatiziranom postrojenju za tiskanje dnevnih novina. Uređaj pretpostavlja implementaciju u postojeće transportne sustave i zadovoljava sve sigurnosne i procesne zahtjeva postrojenja.

Statističkim metodama utvrđeni su zahtjevi za mjerne pretvornike i rezultatna selektivnost primijenjenih.

I. OPIS PROBLEMA

Svakodnevno tiskanje dnevnih novina u tiskari obavlja se na visoko automatiziranom tiskarskom postrojenju. Proces proizvodnje završava pakiranjem pojedinačnih proizvoda, odnosno tiskovina, u pakete prikladne za daljnju distribuciju. U tiskarama se ovakav proces izvodi na uređajima visokog stupnja automatizacije.



Slika 1. Dio tehnološke linije za pakiranje tiskovina

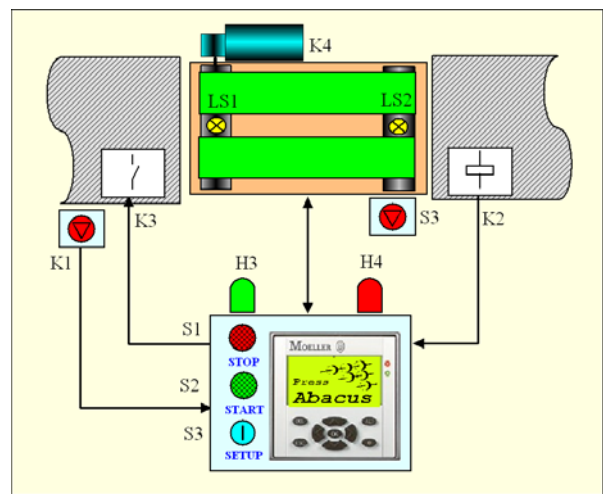
Po potrebi u tiskovinu se umeće prilog u podsustavu za umetanje. Na osnovu slike transportnog lanca u posmičnim registrima upravljačkog računala podsustav za razvrstavanje slaže pakete jednakog i zadanog broja primjeraka. Tijekom eksploatacije utvrđene su razlike tiskanih primjeraka i isporučenih tiskovina u paketima kod krajnjeg distributera. Razlika nastaje zbog izostanka kontrole primjeraka u paketu na kraju procesa pakiranja. Budući da nije praktična provjera sadržaja paketa

brojenjem primjeraka razmatrano je rješenje utvrđivanja mjerenjem mase paketa. Očekivana masa proporcionalna je broju primjeraka i masi pojedinačnog primjerka. Radi pakiranja različitih tiskovina po broju stranica, vrsti papira i priloga sustav za mjerenje mora imati mogućnost promjene referentne mase primjerka.

II. ZASNIVANJE SUSTAVA PROVJERE BROJA PRIMJERAKA U PAKETU

A. Osnovna koncepcija

Uređaj za kontrolu paketa i brojanje tiskovina skup je elektromehaničkih komponenti kontroliranih procesnim računalima. Funkcionalno gledano sustav treba biti dio transportne trake pokretane motornim pogonom na mehaničko postolju s mjernim pretvornikom mase. Transportna traka prihvaća paket sa prethodnog transportnog stupnja, transportira paket na sredinu uređaja i zaustavlja ga. Mirujućem paketu treba izmjeriti masu. Taj mjerni podatak mase uspoređuje se s očekivanim prema zadanom broju tiskovina u paketu. U slučaju odstupanja treba signalizirati nedostajući ili veći broj primjeraka u paketu. Postupak s neispravnim paketom određuje poslužitelj ili nadređeni sustav. Uređaj je potrebno povezati u sigurnosni sustav postrojenja. Za ostvarenje opisanih zadataka potrebno je projektirati podsustav transporta i mjerenja te programsku podršku upravljanja i akvizicije podataka.



Slika 2. Idejna skica uređaja za provjeru ispravnosti paketa mjerenjem mase

B. Utvrđivanje tehničkih zahtjeva

Temeljni tehnički zahtjevi proizlaze iz tehnološkog procesa a za razmatranu liniju pakiranja su:

- maksimalna brzina pokretne trake 0.5 ms^{-1}
- maksimalna masa paketa 12 kg
- najmanji razmak između dolaska paketa 3 s
- maksimalna masa platforme s pogonskom grupom (motor i reduktor) 10 kg
- ukupna duljina transportnog puta 0.8 m

Da bi se utvrdili zahtjevi na mjerac mase tijekom kolovoza 2004. godine praćene su težine primjeraka triju edicija tiskovina A, B i C. Dimenzije navedenih dnevnih novina su standardizirane i iznose 58×42 centimetra. Kako se te edicije tiskaju na papiru koji je težak 45 g/m^2 težina jednog praznog arka (4 stranice) je 10.96 g. Količinu boje na arku nije moguće predvidjeti te se ona mora utvrditi statistički. Statističkom obradom podataka došlo se do slijedećih rezultata (Tablica 1):

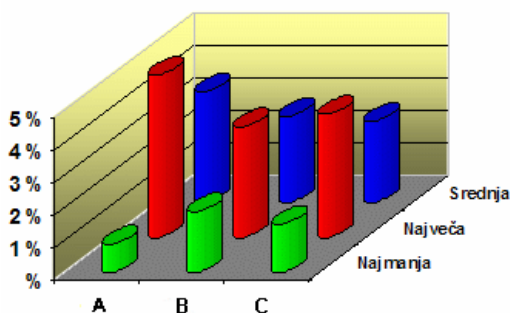
Tablica 1. Statističko odstupanje mase otisnutog arka

Tiskovine	A	B	C
Srednja razlika po arku	0,3418 g	0,2894 g	0,2917 g
Srednja razlika po primjerku	5,2903 g	1,7644 g	2,2846 g
Najmanja postotna razlika	0,876 %	1,867 %	1,487 %
Najveća postotna razlika	4,970 %	3,387 %	3,767 %
Srednja postotna razlika	3,118 %	2,639 %	2,480 %

Na temelju ovih rezultata definirani su osnovni zahtjevi za mjerenje mase:

Težina najmanjeg paketa:	500 g
Težina najvećeg paketa:	12 kg
Kapacitet mjernog pretvornika:	15 kg
Rezolucija pretvornika	10 g
Najmanji broj stranica primjerka:	24 (65 g)

Iz statističke obrade proizlazi da je rezolucija i linearnost mjernog pretvornika mase kritična za ostvarenje točnog utvrđivanja broja primjeraka u paketu tj. njegova ispravnost. Vrijeme raspoloživo za mjerenje mase je relativno kratko i iznosi manje od 1 sekunde. Naime u ciklusu pristizanja paketa u vremenskom razmaku od 3 sekunde potrebno je pozicionirati pristigli paket na mjernom davaču, u mirovanju izmjeriti masu te nakon toga ubrzati paket i otpremiti ga na slijedeći dio transportnog lanca.



Slika 3. Graf statističkog odstupanja mase arka

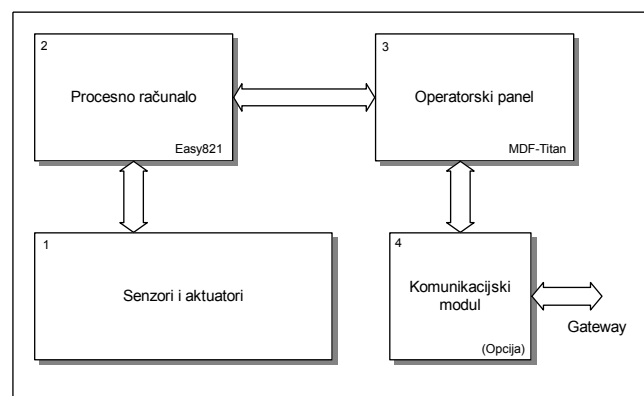
Prema ovim zahtjevima valja projektirati i pogonsku grupu transportne trake.

Prije izvedbe uređaja za kontrolu ispravnosti paketa trebalo je izabrati procesno računalo pogodno za tu svrhu [2]. Ciljanja grupa bila je nova generaciju takozvanih mikro PLC-a koji se odlikuju kompaktnom izvedbom i prihvatljivom cijenom. Izabrano procesno računalo zadovoljava svojim karakteristikama i mogućnošću nadogradnje zahtjeve projekta [5]. Prilikom izbora komponenti, tendencija je bila da to budu standardne komponente, renomiranih proizvođača s tradicijom kvalitete i pouzdanosti te mogućnošću jednostavne dobave. Dodatni čimbenik je dostupnost tehničkih karakteristika odabranih komponenti da bi se smanjilo vrijeme testiranja i omogućila upotreba simulacijskih alata prije konačnog izbora.

Blokovski prikaz sustava za mjerenje mase paketa i akviziciju mjernih podataka prikazan je na sl. 4 gdje su:

1. Aktuatori, senzori i mjerni pretvornici elementi koji sudjeluju u transportu paketa, detekciji položaja i određivanje težine.
2. Procesno računalo upravljanje transportom paketa, očitanjem težine i kontrolu ostalih električnih parametara uređaja.
3. Operatorski panel dio uređaja za obradu podataka koje dobiva od procesnog računala te podešavanje i određivanje osnovnih parametara koje zadaje operater.
4. Komunikacijski modul Opcijski dio uređaja za vezu s nadređenim sustavom jednim od standardnih industrijskih komunikacijskih protokola

Programski podrška uređaja (sl. 9) podijeljena je na dio u procesnom računalu i dio koji se nalazi u operatorskom panelu. Program procesnog računala kontrolira sve elektromehaničke komponente uređaja i njegov rad u složenom sustavu dok je program u operatorskom panelu namijenjen za podešavanje uređaja obradu i prikupljanje podataka te služi kao korisničko sučelje uređaja.



Slika 4. Blokovski prikaz sustava

III. IZVEDBA I ISPITIVNANJE UREĐAJA

Pojedini funkcijski dijelovi uređaja projektirani su i izvedeni kako bi se testirale njihove karakteristike i primjenjivost za tražene zadaće.

A. Elektromotorni pogon trake

Mehanički slog pogona trake prikazan je slikom 5. Za pogon trake odabran je istosmjerni motor s ugrađenim reduktorom industrijske izvedbe. Moment motora i reduktor određeni su po kriteriju zadovoljenja potrebnih ubrzanja i savladavanja trenja trake [8]. U ovom slučaju dominantan je moment potreban za ubrzanje mase paketa dijelova trake i određen je prema (1)

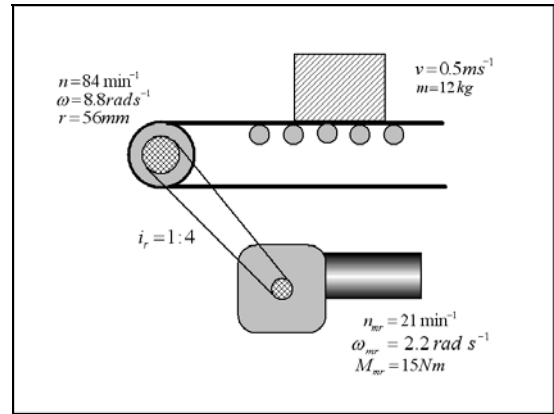
$$M_u = \left[\left(\frac{m_m D_m^2}{38.2} \right) + \left(\frac{(m_r D_r^2) \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)}{38.2} \right) + \left(\frac{365 \cdot m_r \cdot \left(\frac{v_r}{n_1} \right)^2}{38.2} \right) \right] \cdot \frac{dn_1}{dt} \quad (1)$$

Prvi član relacije (1), zbog relativno malih masa i dimenzija mehaničke konstrukcije rotora izabranog elektromotora, možemo zanemariti te nam najveći doprinos momentu inercije reduciranih masa na osovinu motora donosi sama masa paketa i masa remenica koja pokreće transportnu traku. Za izvedeni model potreban moment motora iznosi 0.214 Nm. Odabrani motor ima deklarirani moment na izlazu reduktora 15 Nm te s obzirom na prijenosni omjer $i=48$ i koristeći se relacijom 2 dobivamo rezultanti moment od 0.31 Nm što opravdava njegov izbor.

$$M_m = \frac{M_i}{i} \quad (2)$$

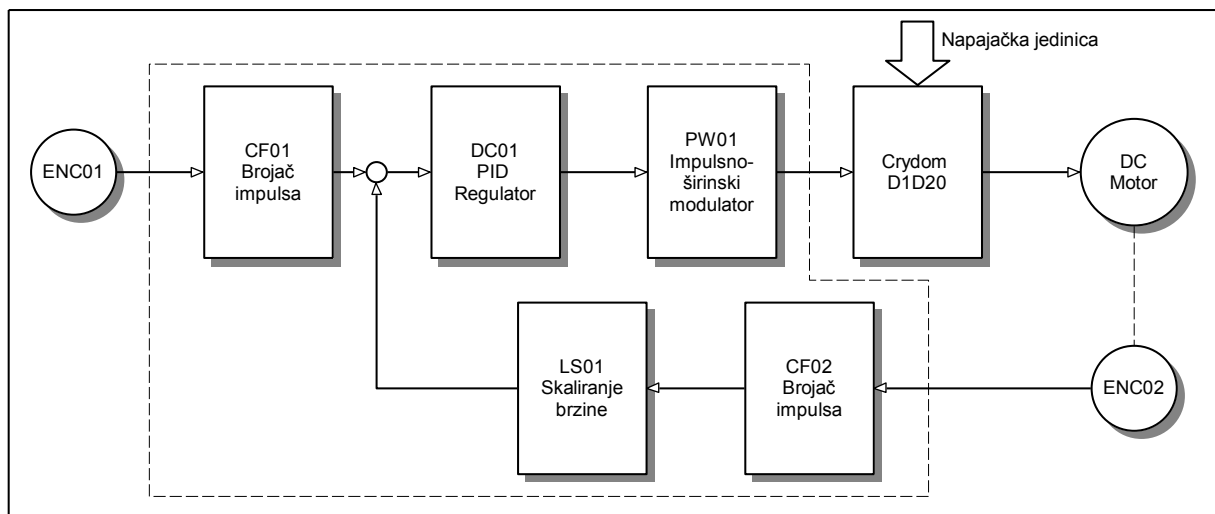
Sustav regulacije za odabrani motor ostvaren je tranzistorskim čoperom kao energetska pojačalom, a

algoritam PWM modulacije i algoritam upravljanja izvodi procesno računalo PLC [1].



Slika 5. Skica mehaničke konstrukcije pogona motorne trake

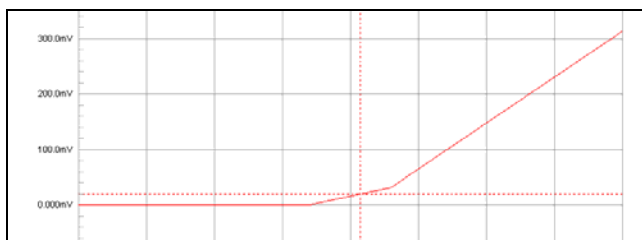
Zahtjevi za integraciju u postojeće transportne linije traže preciznu sinkronizaciju brzina transportnih traka. Funkcijski blokovi PLC-a omogućuju rješenje sinkronizacije na programskoj razini (slika 6). Odabrani istosmjerni motor prikladan je za upravljanje širinsko-impulsnom modulacijom direktno iz funkcijskog bloka PW01 procesnog računala. Impulsnim davačem ENC01 mjeri se brzina prethodnog stupnja pokretne trake, a davačem ENC02 mjeri se gibanje paketa na uređaju za provjeru mase. Brzine se određuju metodom broja impulsa u zadanom vremenu (M/T metoda) korištenjem brojača CF01 i CF02. Za regulaciju brzine primijenjen je funkcijski blok PID regulatora. Za izvršni element upravljanja strujom motora korišten je MOSFET tranzistorski modul. Programsko rješenje ima prednost jednostavne prilagodbe različitim transportnim sustavima skaliranjem mjernih podataka vodeće brzine transportnog lanca i mjernog stola.



Slika 6. Blok shema upravljanja pogona transportne trake uređaja

B. Mjerni davač

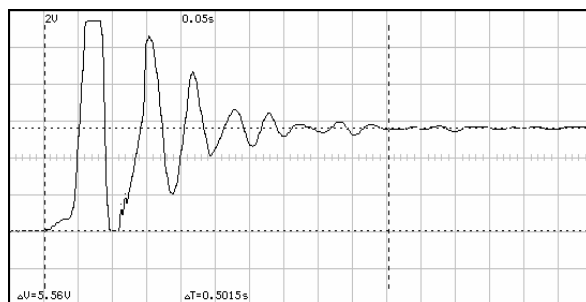
Kao mjerni pretvarač korišten je dobavljeni tenzometarski mjerni davač sile CAS BC-2. Kapacitet davača je 15 kg a osjetljivost 1.2 mV/V.



Slika 7. Izlazni napon mjernog pojačala u području malih ulaznih signala.

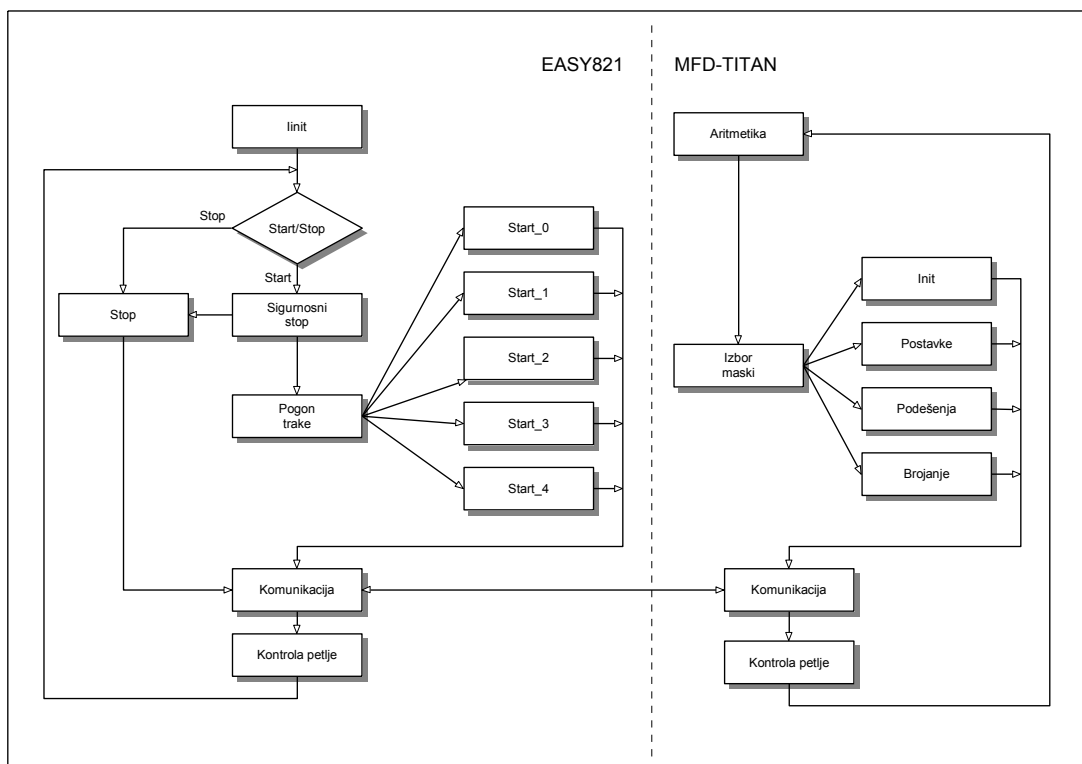
Za njega je projektirano i izvedeno mjerno pojačalo bazirano na instrumentacijskom pojačalu AD623. Karakteristike izabranog pojačala osiguravaju dovoljnu točnost sklopa, mali offset i veliko potiskivanje pomaka zajedničkog potencijala (CMRR) te jednostavnost napajачkog sklopa jer se pojačalo napaja naponom jednog polariteta [4]. Izabrano pojačanje osigurava izlazni napon od 3 volta za nazivni mjerni domet davača. Slijedeći stupanj čini diferencijsko pojačalo koje je neophodno da se od ukupne težine oduzme težina konstrukcijskih elementa mehaničke nadgradnje. Izlazni signal mjernog pojačala prilagođen je za analogne ulaze procesnog računala, odnosno kreće se u rasponu od 0 do 10V koji predstavlja ekvivalent težine mjenog paketa i nije ga potrebno korigirati.

Paralelno s analognim izlazom mjernom pojačalu prigraden je A/D pretvarač LTC1292 12-bitne rezolucije te mikrokontrolerom AT89C2051. Time su mjerni podaci dostupni preko standardnog asinkronog serijskog sučelja tipa RS-232. Opcija je omogućila testiranje sklopa prilikom razvoja u radioničkim uvjetima. Ispitivanjem su provjerena svojstva mjernog pretvornika u području malih opterećenja te je utvrđena uporabljivost od mase 12 grama odnosno 1/6 najlakše publikacije. Isto tako korišteno mjerno pojačalo ima zadovoljavajuću linearnost iznad 16 milivolta što omogućava deklariranje mjerenja od 20 grama na više (sl.7).



Slika 8. Odziv mjernog pretvornika na udarnu funkciju nailaska paketa mase 3 kg

Zbog potrebe implementiranja u kontinuirani tehnološki proces provedena su mjerenja odziva s paketom mase 3 kg. Smirenje mehaničkog sustava slijedi nakon 500 milisekundi (sl. 8). Stoga u sustav upravljanja treba uvesti vremensku zadržku za navedeno vrijeme od detekcije paketa do početka mjerenja.



Slika 9. Dijagram toka upravljačkog sustava uređaja za utvrđivanje ispravnosti paketa

Rezultati testiranja pokazuju da je testirani mjerni pretvornik prihvatljiv za traženu primjenu jer je moguće njime mjeriti pakete do 12 kilograma težine te detektirati broj primjerka koji pojedinačno ne smiju biti lakši od 100 grama te se međusobno ne smiju razlikovati više od 10% .

IV. PROGRAMSKA PODRŠKA UREĐAJA

Program procesnog računala podijeljen je u tri osnovne sekvence te sedam podsekvenci (sl. 9). Prva sekvenca predstavlja inicijalizaciju svih mehaničkih i električkih dijelova uređaja i priprema uređaj za početak rada. Unutar sekvence pokreće se komunikacija sa operatorskim panelom i učitavaju se parametri vremenskih sklopova koji kontroliraju prolazak paketa kroz uređaj. Nakon inicijalizacije uređaj je spreman za rad. Po provjeri radnog statusa sustava i samog uređaja započinje aktivna sekvenca. Nailaskom paketa, aktiviraju se sekvence transporta paketa na sredinu uređaja, zaustavljanje paketa, te po smirivanju mjernje mase i na kraju transport paketa na izlaz iz uređaja. Mjerenje mase obavlja se pet puta u razmaku od po 5-10 milisekundi a vrijednosti izmjerene masa sekvencijalno se spremaju u registre. Podaci se transferiraju u operatorski panel. Usrednjavanjem podataka mjerenja određuje se podatak stvarne mase paketa. Početnu standardnu masu paketa, s kojom se uspoređuju mjerene mase, postavlja operater temeljem podataka o broju primjeraka u paketu i broju stranica u primjerku. Da se izbjegne potreba naknadne korekcije standardna masa paketa ažurira se uporabom modificirane median funkcije usrednjavanjem 10 posljednjih izmjerenih masa ispravnih paketa. Programski dio panela kao korisničkog sučelja koristi se za postavljanje parametre te dojavu rezultata obrade. Posljednja sekvenca programa panela razmjenjuje podatke sa nadređenim procesnim računalom i aktivira signalizaciju ispravnosti paketa.

IV. ZAKLJUČAK

Uređaj za provjeru paketa mjerenjem mase čiji je razvoj prikazan u članku testiran je kao cjelina s realnim paketima tiskovina u tiskari. Pokazao je prihvatljivu razlučivost ispravnih i neispravnih paketa. Slijedi projekt ugradnje uređaja u tehnološku liniju pakiranja novina. Provedeni postupak mjerenjem masa paketa u tiskari i statistička obrada dobivenih podataka pokazao se ključnim za definiranje tehničkih zahtjeva na pojedine dijelove uređaja i primjenjivost postavljene metode. Pri realizaciji usporedno su korišteni, na tržištu dobavljive komponente i samostalni razvoj pojedinih dijelova mjernog sustava. Za sustav upravljanja primijenjen je industrijski PLC istovrsnog tipa kakvi se koriste u ciljnoj tehnološkoj liniji. Tim je postupcima omogućena jednostavna provjere prototipa te buduća implementacije u tehnološku cjelinu.

LITERATURA

- [1] H. Jack: Automating manufacturing systems with PLCs, 2003.
- [2] J. R. Hackworth and F. D. Hackworth, Programmable logic controllers: Programing methods and applications, 2003.
- [3] V. Bego: Mjerenja u elektrotehnici, Tehnička knjiga Zagreb 1986
- [4] V. Tomić: Elektronički sklopovi, Školska knjiga. Zagreb, 1989
- [5] ***: Easy 800 - User Manual, 3rd edition 6/2003, Moeller GmbH, 53100 Bonn 2004.
- [6] U. Peruško: Digitalna elektronika, Zagreb,1994.
- [7] G. Malčić: Programabilni logički kontroleri, skripta TVZ ELO, Zagreb 2000.
- [8] A. Magzan: Izvođenje, ispitivanje i upuštanje u pogon, skripta TVZ ELO Zagreb 2000.
- [9] ***: AD623, Single Supply, Rail-to-Rail, Instrumentation Amplifier, Analog Devices Inc., 1999
- [10] I.Petrović: Procesna mjerenja, Skripta FER ZAPR, Zagreb, 2001.
- [11] I. Vlašić: Automatizacija provjere ispravnosti paketa mjerenjem mase; dipl. rad. TVZ –ELO Zagreb 2004.