

**POBOLJŠANJE I OPTIMIZACIJA TEMPERATURNOG REŽIMA NA  
LINIJI ZA OBAVIJANJE ŠTAMPANIH MATERIJALA SA FOLIJOM**

**IMPROVEMENT AND OPTIMISATION OF THE TEMPERATURE  
REGIME IN THE SHRINK WRAPPING MACHINE  
FOR PRINTED MATTERS**

**doc.dr. Borut Kosec**  
**Univerza v Ljubljani, Odelek za materiale in metalurgijo**  
**Ljubljana, Slovenija**

**doc. dr. Mirko Soković**  
**Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo**  
**Ljubljana, Slovenija**

**Janko Zaletel, dipl. inž.**  
**PE Pošta Slovenije**  
**Ljubljana, Slovenija**

**Ključne riječi:** linija za obavijanje štampanog materijala, temperaturni režim, izolacijski materijal, toplotni gubitci

**REZIME**

*Toplota, izgubljena kroz dno tunela za zavarivanje polietilenske folije predstavlja ključni tehnički i tehnološki problem kod optimizacije djelovanja linije za obavijanje štampanog materijala sa folijom u Poštnom ekspeditu Pošte Slovenije u Ljubljani.*

*Osetna poboljšanja su postignuta sa dodatnom izolacijom dna tunela sa pločama iz kamene vune, tipa TERVOL TP-30.*

**Key words:** shrink wrapping machine, temperature regime, insulation material, heat losses

**SUMMARY**

*The heat losses through the bottom of the heating tunnel for thermal contraction of polyethylene foil is the key technical problem in optimising of the shrink wrapping machine for printed matters in the Despatch Department of the Post Slovenia in Ljubljana.*

*The improvement has been achieved by insulating the bottom of the heating tunnel by the insulation plates TERVOL TP-30.*

## 1. UVOD

Linija za obavljanje štampanih materijala STS/AV-25, nazivne produktivnosti 12.000 omota/h, je bila puštena u rad u Poštnom ekspeditu u Ljubljani u početku 2002 godine. Linija je zadnja u nizu triju jednakih, novo nabavljenih linija, izrađenih u tvornici STS iz Bologne.

Linija STS/AV-25 (sl. 1) je projektovana za obavljanje različitih proizvoda jednake veličine (revije, žurnali, časopisi, katalozi, brošure) sa PVC, PP i PE-folijom. Za potrebe slovenačkog tržišta trenutno zadovoljavaju PE-folije, koje se i proizvode u Sloveniji. Rad i održavanje linije STS/AV-25 je veoma jednostavno jer su njeni sastavni djelovi izrađeni po modularnom sistemu, što omogućava dobru preglednost i efikasnu upotrebu.

Kvalitetno djelovanje linije za obavljanje štampe (revije, časopisi ...) sa folijom u velikoj mjeri zavisi od kvaliteta upotrijebljene folije. Folija mora imati konstantni poprečni presjek i debljinu, biti mora glatka i bez uzdužnih neravnina.



SLIKA 1: LINIJA ZA OBAVIJANJE ŠTAMPANOG MATERIJALA SA FOLIJOM - STS/AV-25

Ključna komponenta linije je tunel (sl. 2), koji služi za zavarivanje polietilenske folije, sa kojom je obavljena štampa (proizvod). U tunelu se proizvodi zagriju na temperaturu oko 190 °C što omogućava kvalitetno zavarivanje folije na izlazu iz tunela; a onda se pomoću ventilatora brzo ohlade na temperaturu okoline.



SLIKA 2: TUNEL T-22

Zagrijavanje tunela je izvedeno sa tri električna grijača iznad transportnog lanca i tri grijača neposredno ispod lanca. Ukupna snaga svih šest grijača iznosi 12 kW. Stalno kruženje zraka u tunelu obezbjeđuju dva ventilatora. Na kvalitet zavarene folije utiče regulacija temperature u tunelu odnosno brzina kretanja transportnog lanca. Tehničke karakteristike tunela su date u tabeli 1.

TABELA 1: TUNEL T-22 - TEHNIČKI PODACI

PARAMETAR	VRIJEDNOST
Dužina	3100 mm
Širina	1010 mm
Visina	1450 mm
Visina radne površine	900 mm
Brzina transportnog lanca	25 - 107 m/min
Brzina izlaznog transportera	do 200 m/min
Širina otvora tunela	420 mm
Visina otvora tunela	110 mm

## 2. TEMPERATURNO STANJE U TUNELU

Mjerenjima temperature u tunelu za zavarivanje polietilenske folije T-22 smo u početnoj fazi željeli dobiti detaljniju sliku o djelovanju naprave tokom njenog redovnog kontinuiranog rada. Oscilacije temperature u tunelu su, pored mehaničkih i toplotnih karakteristika PE-folije, glavni uticajni faktor, koji određuje konačni kvalitet proizvoda [1].

Pored toga smo također željeli smanjiti potrošnju uložene električne energije odnosno poboljšati stepen njenog iskorištenja. Zbog konstrukcijskih ograničenja i uslova garancije proizvođača linije, kao jedina moguća varijanta za poboljšanje se pokazala mogućnost postavljanja dodatne izolacije samo na donjoj strani tunela. Na ulaznoj i izlaznoj strani smo naime ograničeni sa minimalnim površinama za ulaz i izlaz proizvoda. Na obje uzdužne površine su namještena vrata za hlađenje tunela, na gornjoj površini su namješteni grijači i ventilator (vidi sl. 1!).

Temperaturno stanje na donjoj površini tunela i pomenute mogućnosti naknadnog dograđivanja su nam jako ograničile moguć izbor izolacionog materijala.

Pošto smo prvim mjerenjima temperature, bez dodatne izolacije u prostoru pod tunelom, izmjerili iznad 70 °C, te zbog strogih uslova garancije od strane proizvođača linije, nismo smijeli značajnije posegnuti u konstrukciju naprave; odlučili smo se na osnovu analize primjerenih izolacionih materijala, koji su na raspolaganju na slovenačkom tržištu za ploče TERVOL TP-30 [2], slovenačkog proizvođača Termo d.d. Škofja Loka. Tehničke karakteristike za ploče TERVOL TP-30 su date u tabeli 2.

TABELA 2: TEHNIČKE KARAKTERISTIKE IZOLACIONOG MATERIJALA TERVOL TP-30 [2]

VELIČINA	VRIJEDNOST	JEDINICA	STANDARD
Grupa upotrebe- W	-	-	DIN 181565/T1
Toplotna prov. - računska	0,04	W/mK	DIN 4108
Toplotna prov. - izmjerena	0,037 0,038 0,038	W/mK	DIN 52612
Požarne karakteristike	Negorljivo Tačka toplj. > 1000	- °C	IMO Res.A472 DIN 4102/T17
Granična temp. upotrebe	750	°C	-
Difuzijska otpornost prema vodenoj pari	1,5 - 2,6	-	DIN 52615
Specifična toplota	840	J/kgK	-
Jačina na kidanje	0,017 0,022 0,038	N/mm <sup>2</sup>	DIN 18156/T1
AS kvalitet	za izolaciju aust.čelika	-	AGI Q 135

Ploče TERVOL TP-30 su namjenjene za toplotnu, zvučnu i protivpožarnu izolaciju u strojgradnji i brodogradnji. Upotrebljavaju se pre svega za navedene izolacije segmenata u brodogradnji, za izradu protivpožarnih vrata, izolaciju toplozračnih kanala, za požarnu izolaciju električnih instalacija itd. Osnovna namjena ploča TERVOL TP-30 pa je izrada požarnih pregrada razreda A-15, A-30 odnosno A-60 po standardu IMO Res. A756 (tab. 2).

Za mjerenje temperature smo izabrali dva mjerna mjesta, oba tačno na sredini tunela (u tlocrtnom pogledu), po visini pa:

- prvo u sredini tunela,
- drugo neposredno ispod transportnog lanca.

**Prvo mjerenje temperature** u tunelu za zavarivanje PE-folije (na oba mjerna mjesta) je bilo izvedeno bez dodatno ugrađenih izolacionih materijala. Tunel je u originalnoj verziji na osnovnim površinama izoliran sa 50 mm staklene vune i čeličnim limom, debljine 1 mm. **Drugo mjerenje** je bilo izvedeno po dodatnoj izolaciji sa jednim slojem (30 mm) dodanog TERVOL-a TP-30 na donjoj površini tunela.

**Treće mjerenje** je slijedilo ugradnji dodatnog drugog sloja (ukupna debljina 60 mm), slika 3.



SLIKA 3: POSTUPAK UGRADNJE IZOLACIJONOG MATERIJALA (DVA SLOJA)

Toplotni gubitci kroz dno tunela (bez dodatne izolacije), predstavljaju znatan dio ukupno dovedene toplote. Pored toga dno tunela predstavlja jedinu mogućnost za postavljanje dodatne izolacije, zbog već pomenutih konstrukcijskih i garancijskih ograničenja, te samog odvijanja procesa rada na liniji.

Na temelju dobijenih rezultata mjerenja temperature izračunali smo toplotne gubitke kroz dno tunela za sva tri primjera: neizolirano dno ( $D = 0$ ), izolacija debljine 30 mm i izolacija debljine 60 mm (2x30 mm), tabela 3. Proračuni su urađeni za stacionarno temperaturno stanje u tunelu [4,5].

TABELA 3: PODACI ZA PRORAČUN

DEBLJINA IZOLACIJE	D = 0	D = 30 mm	D = 60 mm
Temperatura okoline	24,5°C	24,0°C	23,7 °C
Temperatura u tunelu	191,1°C	191,0°C	191,0°C
Temperatura pod tunelom	73,5°C	66,5°C	65,0°C
Toplotna provodnost izolacije	0,04 W/mK		
Toplotna provodnost čelika	35 W/mK		

U prvom primjeru je računski termički fluks na jedinicu površine (gustina termičkog fluksa) jednak 1280,19 W/m<sup>2</sup>, u drugom 165,43 W/m<sup>2</sup> i trećem 89,92 W/m<sup>2</sup>.

Dimenzije dna tunela su 1,3 x 0,8 m tako da je površina dna tunela, koju smo dodatno izolirali jednaka 1,04 m<sup>2</sup>. Iz prethodno izračunate gustine termičkog fluksa i poznate površine smo izračunali termički fluks ( $\Phi = q \times A$ ) kroz dno tunela za sva tri primjera, tabela 4.

TABELA 4: TERMIČKI FLUKS KROZ DNO TUNELA

DEBLJINA IZOLACIJE D (mm)	TERMIČKI FLUKS $\Phi$ (W)
0	1331.98
30	172.05
60	93.52

Izračunate podatke možemo zapisati jednostavnije za razumjevanje i u obliku proporcija:

- Ako dodamo neizoliranom dnu tunela (D = 0) jedan sloj izolacije (D = 30 mm) izgubljeni termički fluks na površinu smanji nam se u proporciji približno 8:1 (za 800 %).
- Ako dodamo još jedan sloj izolacije (D = 30 + 30 = 60 mm) ta se proporcija dodatno poboljša za daljnjih približno 80 %. U jednakim proporcijama se poboljša takođe i stanje izgubljene toplote, tabela 5.

TABELA 5: TOPLOTNI GUBITCI KROZ DNO TUNELA

( $Q = \Phi \times T$ ) - UPOREDNO VREME 1 H

DEBLJINA IZOLACIJE D (mm)	TOPLOTA Q (kJ)
0	4795
30	619
60	337

### 3. ZAKLJUČCI

Na liniji za obavljanje štampanog materijala (revije, časopisi, katalogi) sa folijom u Poštnom ekspeditu Pošte Slovenije, smo u tunelu za zavarivanje polietilenske folije, koji je sa stanovišta temperaturnog režima i toplotnih gubitaka, njen najkritičniji dio, izveli njegovu optimizaciju.

Toplotni gubitci kroz dno tunela predstavljaju znatan dio ukupno dovedene toplote. Pored toga dno tunela je i jedina mogućnost za dodatnu izolaciju zbog konstrukcijskih i garancijskih ograničenja od strane proizvođača te samog procesa rada na liniji.

U tunelu za zavarivanje polietilenske folije smo izvršili tri kontinuirana mjerenja temperature:

- bez dodatne toplotne izolacije (postojeće stanje),
- sa jednim slojem (30 mm),
- sa dva sloja (60 mm) dodatne toplotne izolacije TERVOL TP-30, slovenačkog proizvođača TERMO d.o.o.

Upoređenjem rezultata izračunatih toplotnih gubitaka kroz dno tunela opravdava upotrebu dodatne izolacije. Odlučili smo se za ugradnju izolacije debljine 60 mm. Ugradnjom trećeg sloja izolacije (ukupna debljina 90 mm) očekivanja bi bila za još nekih desetak posto bolja, međutim to zbog ograničenja konstrukcije nije moguće (vidi sl. 3!).

Tri linije za obavljanje štampanih materijala sa folijom u Poštnom ekspeditu su u prvoj godini upotrebe zajedno odradile 12.625 radnih sati. Ako to (za lakšu predstavu) podelimo sa tri to znači da je svaka radila 300 dana u godini po 14 sati/dan.

Proračuni su pokazali da je ugradnjom dodatne toplotne izolacije, koja je koštala oko 250 EUR, samo godišnja ušteda na električnoj energiji približno 30 puta veća od troškova investicije. Zbog veće konstantnosti temperature u tunelu se bitno poboljšao i izgled (kvalitet) obavijenih štampanih materijala (revija, časopisa, kataloga ..).

## LITERATURA

- [1] Kosec B., Zaletel J.: Toplota, izgubljena skozi dno tunela za varjenje polietilenske folije, Poročilo UL NTF-OMM za PE Ljubljana, Ljubljana, 2003
- [2] Termo d.d.: <http://www.termo.si>
- [3] Smith E.: Principles of Industrial Measurment for Control Applications, Instrument Society of America, New York, 1984
- [4] Pavlin F., Kosec B., Bizjak M., Čibej F.M.: Temperature Profile Measurments of Wellman Type Anneling Furnace, RMZ-Materials and Geoenvironment, Vol.46, No.1, 83-87, 1999
- [5] Thomas C.L.: Heat Transfer, Prentice Hall, New Jersey, 1992