



## RAŠALINIŲ IR FLEKSOGRAFINIŲ ATSPAUDŲ ANT SKIRTINGŲ POPIERIŲ TRINTIES SAVYBĖS

Simona GRIGALIŪNIENĖ<sup>1</sup>, Vaida BURKAUSKAITĖ<sup>2</sup>, Aura KUODĖ<sup>3</sup>,  
Jonas SIDARAVIČIUS<sup>4</sup>, Vytautas TURLA<sup>5</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

*El. paštas: <sup>1</sup>simona.grigaliuniene@vgtu.lt; <sup>2</sup>v.burkauskaite@gmail.com; <sup>3</sup>aura.kuode@gmail.com;*

*<sup>4</sup>jonas.sidaravicius@vgtu.lt; <sup>5</sup>vytautas.turla@vgtu.lt*

**Santrauka.** Eksperimentiškai ištirtos įvairių rūšių popieriaus bei fleksografinių ir rašalinių atspaudų trinties savybės. Fleksografiniai atspaudai gauti dengiant popierių skirtingo plotinio tūrio aniloksiniais voleliais, rašaliniai atspaudai dengiant popierių vienu ir keturiais dažų (angl. *toner*) sluoksniais. Nustatytos statinio (STK) ir kinetinio (KTK) trinties koeficientų reikšmės tiriant trintį tarp popieriaus ir popieriaus, tarp atspaudų ir popieriaus ir tarp atspaudų ir atspaudų. Nustatyta, kad trinties savybės priklauso nuo pasirinkto spaudos būdo ir yra skirtingos fleksografiniams ir rašaliniams atspaudams. STK ir KTK vertės mažėja didėjant apkrovai, taip pat joms įtaką turi dažų kiekis, paviršiaus šiurkštumas bei paviršiaus deformacinės savybės.

**Reikšminiai žodžiai:** statinis trinties koeficientas, kinetinis trinties koeficientas, rašaliniai atspaudai, fleksografiniai atspaudai, paviršiaus deformacija.

### Įvadas

Trinties reiškiniai yra svarbūs tiek technikoje, tiek kasdieniame gyvenime. Kai kuriais atvejais reikalinga didelė trintis, o kitais atvejais trintis mažina procesų efektyvumą, didina energijos suvartojimą, yra greitesnio dylimo priežastis, ir reikia ją mažinti. Panašiai reikalavimai trinčiai skiriasi ir kai kalbama apie popierių. Didelis kinetinės trinties koeficientas pageidaujamas formuojant ritinį ir tolesniame jo apdorojimo procese. Taip pat tai svarbu išoriniam ritinių stabdymo procesui spausdinimo mašinos. Didelis statinės trinties koeficientas reikalingas popieriaus ritinių pakėlimo procese, kad jie neišsivyniotų ir kt. (Borch *et al.* 2002).

Trintis yra svarbi ne tik popieriaus gamybos procesuose, bet ir gaminiams iš jo (Garoff *et al.* 2002; Back 1991). Kaip pavyzdys – didelė trintis yra reikalinga tarp pakavimo maišelių ar dėžučių, supakuotų į gofro kartono dėžes transportuojant ar sandėliuojant (Singleton, Allan 1997). Trintis lemia kai kuriuos spausdinimo mašinų darbo trikdžius paduodant popierių iš rietuvės ir transportuojant jį per sekcijas. Šie parametrai taip pat yra svarbūs spausdinimo mašinos, kuriuose popierius ar atspaudai paduodami frikciniais mechanizmais. Dažna problema, su kuria susiduriama popieriaus padavimo sekcijoje, dviejų lapų, ypač kreidinio popieriaus, padavimas. Tai aktualu, nes kreidinis popierius vis daugiau naudojamas dėl aukštos spaudinių kokybės (Enomae *et al.* 2006; Borch 1993).

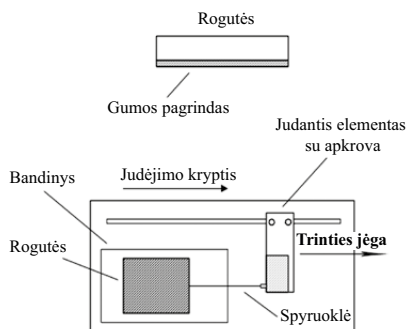
Popieriaus į popierių ir popieriaus į metalą trintis tirta daugelyje darbų, kurie apibendrinti (Borch *et al.* 2002; Niskannen 2008). Nors siekiant išsamiai apibūdinti popieriaus trinties savybes reikėtų tirti statinį ir kinetinį trinties koeficientus (T 549 om-01:2008; ISO EN ISO 8295:2004; ASTM D-1894-75), dažniausiai tirtos statinio trinties koeficiento priklausomybės nuo popieriaus sudėties, jo paviršiaus apdorojimo, popieriaus šiurkštumo ir pan.

Kaip ir daugumos medžiagų, popieriaus statinis trinties koeficientas visada didesnis už kinetinį trinties koeficientą. Išimtis kai kurios kreidinio popieriaus rūšys, kai yra atvirkščiai (Niskannen 2008). Popieriaus trinties koeficiento vertė priklauso nuo dviejų faktorių – paviršių adhezijos ir paviršiaus nelygumo deformacijos. Šių faktorių indėlis nagrinėtas daugelyje darbų, referuotų (Niskannen 2008), tačiau, kuris faktorius dominuoja, nėra nustatyta. Pvz., vienuose darbuose nurodoma, kad glotnaus paviršiaus popieriaus trintis yra didesnė, o kituose, kad popieriaus trintis mažai priklauso nuo jo šiurkštumo (Johansson *et al.* 1998). Kai yra spausdinama ant popieriaus, keičiasi ir adhezinės savybės, ir popieriaus paviršius, tai turėtų keisti trinties savybės. Deja, publikacijų, kuriose būtų tirtos atspaudų ant popieriaus trinties savybės, išskyrus (Grigaliūnienė *et al.* 2013), nebuvo rasta. Kadangi praktiniu požiūriu yra svarbi būtent atspaudų trintis, šiame darbe buvo tirta trintis tarp atspaudų ir tarp atspaudų ir

popieriaus. Tyrimas atliktas su pagrindinių rūšių popieriais (nedengtais, kreidiniai ir su specialia danga), ant kurių buvo spausdinama fleksografinė spauda, kuri plačiai taikoma pakuočiams gaminti, ir kasdieniniame gyvenime bei pramonėje taikoma rašaline spauda.

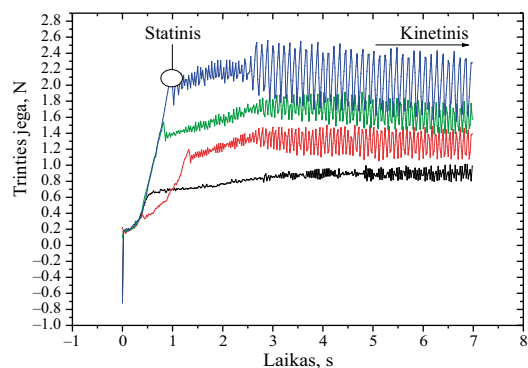
### Tyrimo metodika

Tyrimai atlikti su skirtingos struktūros bei gramatūros popieriais: kreidiniu, nekreidiniu, specialiu popieriumi fotografijoms spausdinti (toliau fotografiniu popieriumi). Skaitmeninės spaudos (rašaliniai) atspaudai daryti rašaliniu spausdintuvu „Epson L800“ spausdinant ištisinius laukus viena spalva (juoda K) ir visomis keturiomis spalvomis (žydra C, purpurine M, geltona Y ir juoda K, toliau CMYK). Fleksografiniai vienos spalvos atspaudai buvo imituojami dengiant popierių naudojant aniloksinis volelius, kurių paviršinis tūris 39,1; 16,6; 10,2 ir 4,3 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Popierių ir atspaudų šiurkštumas buvo matuojamas *Parker Print Surface* (PPS) metodu (ISO 8791-4:2007) ir išreiškiamas mikrometrais, kurie skaičiuojami pagal oro prasišverbimą, esant 0,5 MPa slėgiui. Kiekvieno popieriaus ar atspaudų lapas buvo matuojamas 10 vietų ir šiurkštumo vertė yra aritmetinis matavimų vidurkis. Statiniai ir kinetiniai trinties tarp popieriaus bei popieriaus, tarp popieriaus ir atspaudų bei tarp atspaudų ir atspaudų koeficientai buvo matuojami *Thwining – Albert FPDAS 1.0.0.1* horizontaliosios plokštumos trinties matavimo įrenginiu (1 pav.). Trinties koeficientai nustatomi iš „rogučių“ traukimo jėgos (toliau trinties jėga) kaitos (2 pav.): statinio trinties koeficiento (STK) vertė skaičiuojama prietaiso kompiuterio pagal didžiausią trinties jėgos vertę, o kinetinio trinties koeficiento (KTK) vertė – pagal jėgą, kai jos vertė tampa stabili. Matavimai atlikti pastoviu 100 mm/min slydimo greičiu keičiant apkrovą, t. y. slėgį tarp slystančių paviršių. Kadangi tikras kontakto tarp paviršių plotas nėra žinomas, tai rezultatai daugiausiai pateikti pažymint tik apkrovą („rogučių“ matmenys 40×40 mm).



1 pav. Horizontaliosios plokštumos trinties matavimo įrenginio schema (Garoff 2002)

Fig. 1. Scheme for a device measuring horizontal plane friction

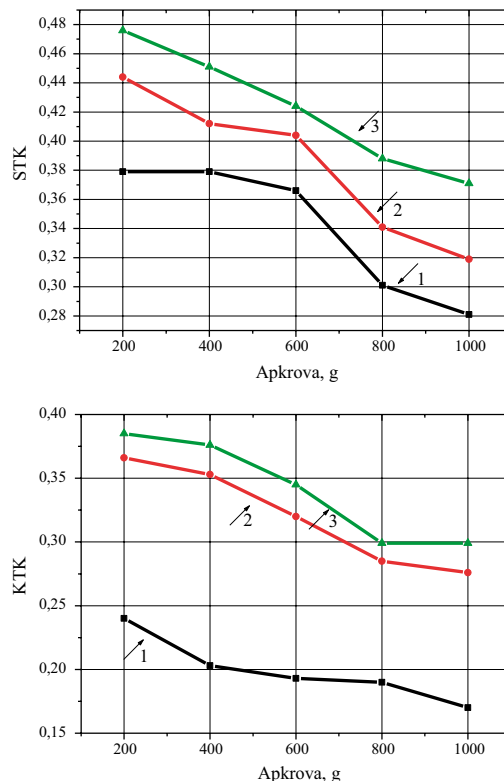


2 pav. „Rogučių“ tempimo jėgos kaita per tam tikrą laiką ir statinio bei kinetinio trinties koeficientų verčių nustatymas

Fig. 2. A change in sled pulling force (friction force) during sliding and the determination of static and kinetic coefficients of friction

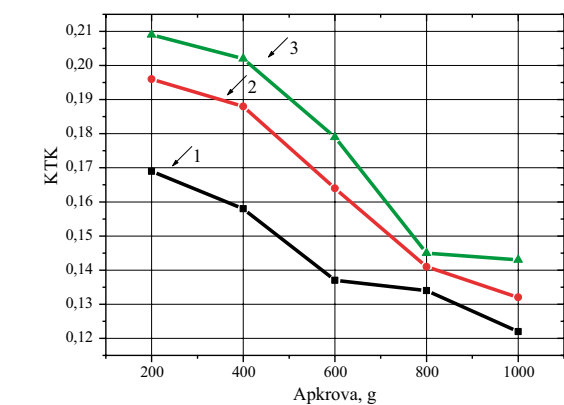
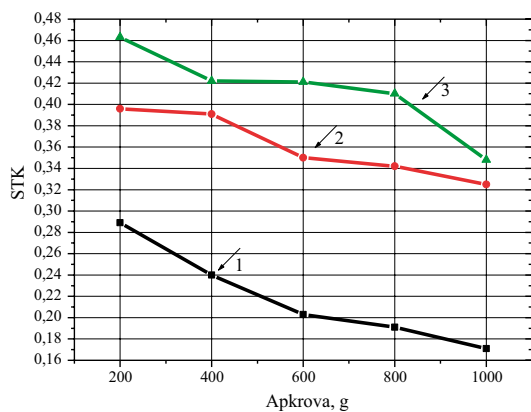
### Tyrimų rezultatai ir aptarimas

Spausdinimas rašaliniu ir fleksografiniu spaudos būdu keičia popieriaus trinties savybes. Rašalinių ir fleksografinių atspaudų trinties savybių pokyčiai yra skirtingi bei priklauso taip pat nuo popieriaus rūšies. Kai kurie statinio (STK) ir kinetinio (KTK) trinties koeficientų rezultatai pateikti 3–8 pav.



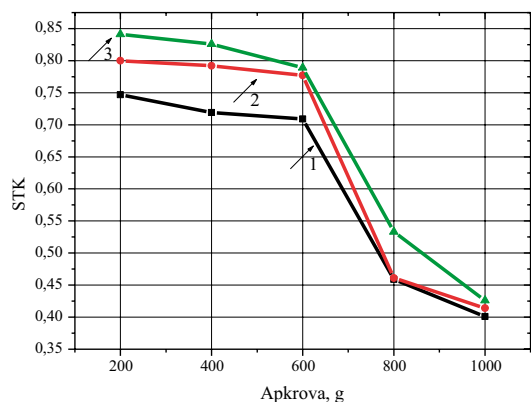
3 pav. Rašaliniai atspaudai, popierius „4CC“. Statinio (STK) ir kinetinio (KTK) koeficientų priklausomybė nuo apkrovos: 1 – popierius į popierių, 2 – popierius į atspaudą, 3 – atspaudas į atspaudą

Fig. 3. Inkjet prints, paper “4CC”. The dependence of static (SCOF) and kinetic (KCOF) coefficients of friction on load: 1 – paper to paper, 2 – paper to print, 3 – print to print



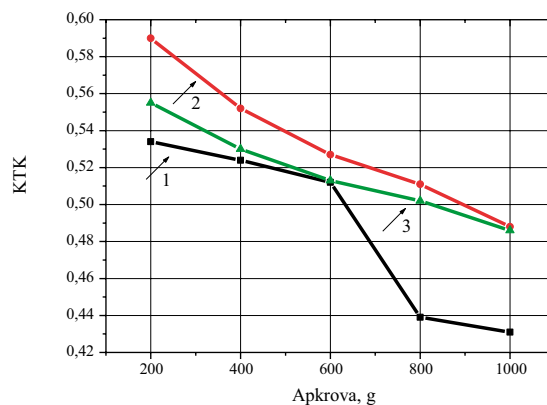
4 pav. Rašaliniai atspaudai, popierius *Maxi offset*. Statinio (STK) ir kinetinio (KTK) koeficientų priklausomybė nuo apkrovos: 1 – popierius į popierių, 2 – popierius į atspaudą, 3 – atspaudas į atspaudą

Fig. 4. Inkjet prints, paper *Maxi offset*. The dependence of static (SCOF) and kinetic (KCOF) coefficients of friction on load: 1 – paper to paper, 2 – paper to print, 3 – print to print



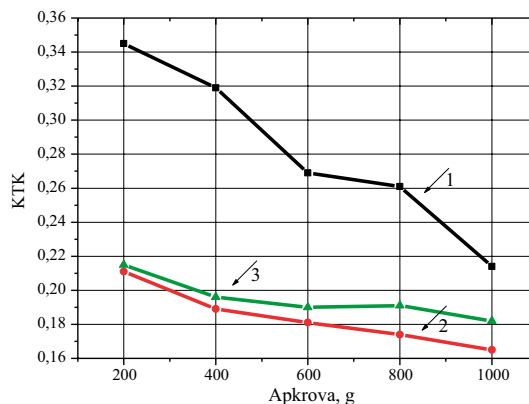
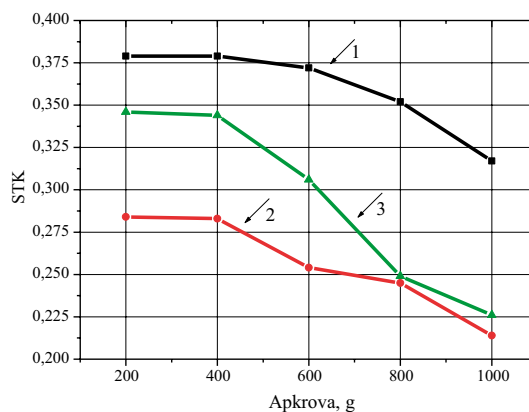
5 pav. Rašaliniai atspaudai, fotografinis popierius *Lomond*. Statinio (STK) koeficiento priklausomybė nuo apkrovos: 1 – popierius į popierių, 2 – popierius į atspaudą, 3 – atspaudas į atspaudą

Fig. 5. Inkjet prints, photopaper *Lomond*. The dependence of kinetic (KCOF) coefficients of friction on load: 1 – paper to paper, 2 – paper to print, 3 – print to print



6 pav. Rašaliniai atspaudai, fotografinis popierius *Lomond*. Kinetinio (KTK) koeficiento priklausomybė nuo apkrovos: 1 – popierius į popierių, 2 – popierius į atspaudą, 3 – atspaudas į atspaudą

Fig. 6. Inkjet prints, photopaper *Lomond*. The dependence of kinetic (KCOF) coefficients of friction on load: 1 – paper to paper, 2 – paper to print, 3 – print to print

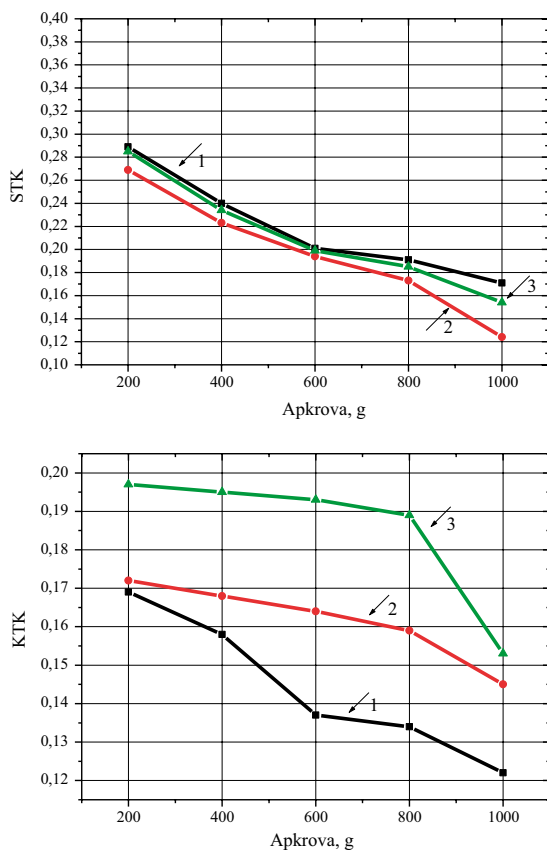


7 pav. Fleksografiniai atspaudai, popierius „4CC“. Statinio (STK) ir kinetinio (KTK) koeficientų priklausomybė nuo apkrovos: 1 – popierius į popierių, 2 – popierius į atspaudą, 3 – atspaudas į atspaudą

Fig. 7. Flexographic prints, paper „4CC“. The dependence of static (SCOF) and kinetic (KCOF) coefficients of friction on load: 1 – paper to paper, 2 – paper to print, 3 – print to print

KTK vertės, lyginant su STK, mažiau priklauso nuo apkrovos, bet visais atvejais matomas nedidelis mažėjimas (3–8 pav.). Šiuo atveju situacija kitokia – „rogutės“ turi įveikti nedeformuotus paviršiaus nelygumus ir slėgio įtaka yra maža.

STK vertės mažėja didėjant apkrovai (slėgiui) visais atvejais (3–8 pav.), o dažai, padengę popieriaus paviršių, iš esmės nekeičia šios priklausomybės. STK vertės mažėjimas gali būti aiškinamas atsižvelgiant į adhezijos vaidmenį ir deformacijos faktorius. Deformacijos sandas priklauso nuo paviršiaus nelygumų kiekio ir jų pasipriešinimo. Tai reiškia, kad trintis priklauso nuo paviršiaus šiurkštumo. Paviršiaus efektyvusis šiurkštumas mažėja didėjant slėgiui, ir paviršių frikcinių kontaktų kiekis didėja. Tai turėtų didinti trintį. Didėjant frikcinių kontaktų plotui didėja ir adhezijos indėlis. Tačiau šis plotas didėja lėčiau nei slėgis ir tai lemia, kad trinties koeficientas (trinties jėgos ir normaliosios spaudimo jėgos santykis) mažėja didėjant apkrovai (slėgiui).

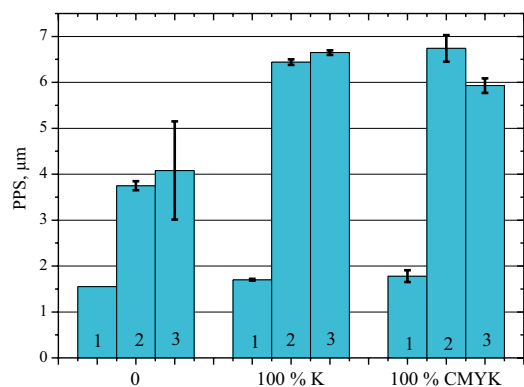


8 pav. Flexografiniai atspaudai, popierius *Maxi offset*. Statinio (STK) ir kinetinio (KTK) koeficientų priklausomybė nuo apkrovos: 1 – popierius į popierių, 2 – popierius į atspaudą, 3 – atspaudas į atspaudą

Fig. 8. Flexographic prints, paper *Maxi offset*. The dependence of static (SCOF) and kinetic (KCOF) coefficients of friction on load: 1 – paper to paper, 2 – paper to print, 3 – print to print

Rašalinių ir fleksografinių atspaudų ant skirtingų rūšių popieriaus esant skirtingoms apkrovoms (slėgiui) grafikų lyginimas rodo, kad statinis trinties koeficientas visais atvejais (tarp popieriaus ir popieriaus, tarp popieriaus ir atspaudų, tarp atspaudų ir atspaudų) yra didesnis už kinetinį trinties koeficientą, kaip ir buvo tikėtasi. Nors pasitaikė viena išimtis: rašalinių atspaudų ant fotografinio popieriaus STK vertės tampa mažesnės didėjant apkrovai (5 ir 6 pav.). Panašūs efektai buvo skelbti kai kurioms kreidinio popieriaus rūšims (Niskannen 2008) ir plastikams (ISO EN ISO 8295:2004). Fotografinis popierius *Lomond* yra iš esmės kreidinis popierius ir galima teigti, kad kreidos sluoksnis yra atsakingas už netradicinį efektą, bet šis efektas reikalauja detalesnių tyrimų.

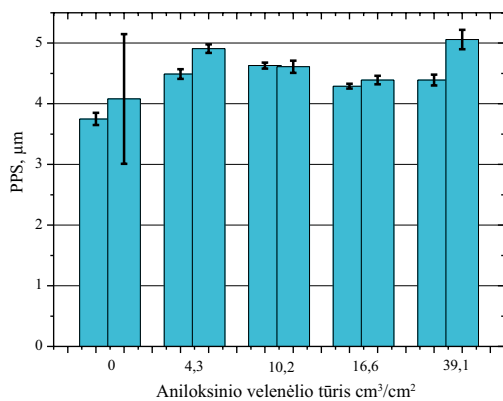
Statinio ir kinetinio trinties koeficientų vertės taip pat priklauso nuo slydimo paviršių. Jei kalbėsime apie rašalinius atspaudus, tai čia didžiausios STK ir KTK koeficientų vertės yra tarp atspaudų ir atspaudų (3–6 pav.), o mažiausios tarp popieriaus ir popieriaus. Viena iš padidėjusios trinties priežasčių galėtų būti didesnis nei popieriaus atspaudų šiurkštumas. Analizavus rašalinių atspaudų paviršiaus šiurkštumą (9 pav.), ši prielaida ne visada pasitvirtina. Tik nekreidinių atspaudų šiurkštumas yra didesnis, o atspaudų ant fotografinio popieriaus šiurkštumas yra beveik toks pat, kaip ir šio popieriaus be atspaudų. Reiktų paminėti, kad fleksografinių atspaudų ant nekreidinio popieriaus šiurkštumas taip pat didesnis už popieriaus (10 pav.), tačiau trinties savybės itin skiriasi nuo rašalinių atspaudų (7–8 pav.).



9 pav. Popieriaus ir rašalinių atspaudų PPS šiurkštumas.

Popieriai: 1 – fotografinis popierius *Lomond*, 2 – nekreidinis „4CC“, 3 – nekreidinis *Maxi offset*

Fig. 9. PPS roughness of paper and inkjet prints. Papers: 1 – photo paper *Lomond*, 2 – uncoated “4CC”, 3 – uncoated *Maxi offset*



10 pav. Popieriaus ir fleksografinių atspaudų PPS šiurkštumas.

Popieriai: 1 – fotografinis popierius *Lomond*,  
2 – nekreidinis „4CC“, 3 – nekreidinis *Maxi offset*

Fig. 10. PPS roughness of paper and flexographic prints.

Papers: 1 – photo paper *Lomond*, 2 – uncoated “4CC”,  
3 – uncoated *Maxi offset*

Tad galima teigti, kad deformacinės jėgos nėra svarbiausias veiksnys, o pagrindinis faktorius, turintis įtakos popierių trinties savybėms, yra adhezinės jėgos tarp popieriaus ir dažų ir tarp dažų sluoksnių. Tas pat yra nustatyta daugumai popierių (Niskannen 2008).

Išanalizavus grafikus galima teigti, kad statinių ir kinetinių trinties koeficientų vertės yra skirtingos fleksografiniams ir rašaliniams atspaudams. Pasirinktas spaudos būdas turi įtakos trinties savybėms. Fleksografinių atspaudų ant nekreidinio popieriaus „4CC“ trintis yra mažesnė už popieriaus (7 pav.), priešingai nei rašalinių atspaudų (3 pav.). Čia žinoma įtakos turi skirtinga rašalinių dažų bei fleksografinių dažų (50 % sudaro vanduo) sudėtis ir skirtinga sąveika su popieriumi. Net vienas dažų sluoksnis itin padidina popieriaus paviršiaus šiurkštumą ir lemia didesnę trintį.

## Išvados

Rašalinių atspaudų trinties savybės skiriasi nuo fleksografinių atspaudų trinties savybių: rašalinių atspaudų trinties koeficientai mažesni ne tik už fleksografinių atspaudų, bet ir už trinties popierius ir popierių trinties koeficientus. Na o rašalinių atspaudų net vienas dažų sluoksnis padidina statinį ir kinetinį trinties koeficientą tarp popieriaus ir atspaudų ir tarp atspaudų, lyginant su trintimi tarp popieriaus. Paviršiaus šiurkštumas taip pat kinta po spaudos proceso (abiem atvejais šiurkštumas padidėjo). Ir tai rodo, jog šiurkštumas nėra svarbiausias faktorius kalbant apie trintį tarp popierinių paviršių. Didelę įtaką daro ir popieriaus savybės – dengimas kreidiniu sluoksniu itin keičia atspaudų trinties rodiklius.

STK vertės didesnės už KTK vertes, tik kreidinis popierius yra išimtis, esant didesnėms apkrovoms. STK ir KTK vertės mažėja didėjant apkrovai. Tokia priklausomybė nustatyta abiejų spaudos būdų atspaudams ir sietina su popieriaus fizikinėmis savybėmis, taip pat reikalauja detalesnio tyrinėjimo.

## Literatūra

- ASTM D-1894-75. *Test for static and kinetic coefficients of friction of plastic film and sheeting*, 1–15.
- Back, E. 1991. *Paper-to-paper and paper-to-metal friction*. Kona: TAPPI, 49–65.
- Borch, J.; Lyne, M. B.; Mark, R. E.; Habeger Jr., C. C. 2002. *Handbook of physical testing of paper*, Vol. 2. 2nd ed., revised and expanded. New York, USA: Marcel Dekker Inc. 499 p.
- Borch, J. 1993. Surface characterization of communication papers, in *Products of Papermaking, Tenth Fundamental Research Symposium*, September 1993, Oxford, UK, 209–236.
- Enomae, T.; Yamaguchi, N.; Onabe, F. 2006. Influence of coating properties on paper-to-paper friction of coated paper, *Journal of Wood Science* 52(6): 509–513.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10086-005-0792-x>
- Garoff, N. 2002. *The friction between paper surfaces*: Doctoral thesis. Institutionen för pappers-och massateknologi, Stockholm, 1–3.
- Garoff, N.; Nilvebrant, N. O.; Fellers, C. 2002. Friction of liner-board based on recycled fiber, *Journal of Applied Polymer Science* 85(7): 1511–1520.  
<http://dx.doi.org/10.1002/app.10783>
- Grigaliūnienė, S.; Sidaravičius, J.; Turla, V.; Vaitasius, K.; Ragauskas, P. 2013. Investigation of the friction of different paper and prints, in *Proceedings of the 18th International Conference “Mechanika”*, 4–5 April 2013, Kaunas, Lithuania. Kaunas: Technologija, 71–76. ISSN 1822-2951.
- ISO 8791-4:2007. *Paper and board. Determination of roughness/smoothness (air leak methods) – Print – surf method*.
- ISO EN ISO 8295:2004. *Plastikai. Plėvelės ir lakštai. Trinties koeficientų nustatymas (ISO 8295:1995). Plastics – Film and sheeting – Determination of the coefficients of friction*.
- Johansson, A.; Fellers, C.; Gundersson, D.; Haugen, U. 1998. Paper Friction-influence of measurement conditions, *Tappi Journal* 81(5): 175–183.
- Niskannen, N. 2008. *Paper physics*. Finnish Paper Engineers’ Association/Paperi ja Puu Oy, 106–107.
- Singleton, M. C.; Allan, R. J. 1997. Factors influencing paper friction and its reproducibility: is third test best?, *Appita* 50(6): 481–485.
- T 549 om-01:2008. *Coefficients of static and kinetic friction of uncoated writing and printing paper by use of the horizontal plane method*, 1–9.

## **FRICION PROPERTIES OF INKJET AND FLEXOGRAPHIC PRINTS ON DIFFERENT PAPERS**

**S. Grigaliūnienė, V. Burkauskaitė, A. Kuodė,  
J. Sidaravičius, V. Turla**

### **Abstract**

Friction between different papers, inkjet and flexographic prints has been experimentally investigated. Flexographic prints have been made using an anilox roller, and inkjet prints have been produced covering paper with one and four toner layers. Static (SCOF) and kinetic (KCOF) friction coefficients between paper and paper, paper and prints, prints and prints have been determined. Friction properties have been discovered to be different in flexographic and laser prints. The dependence of SCOF and KCOF on pressure (both decrease) together with roughness measurements enables to conclude that the friction of prints is mainly governed by adhesion forces.

**Keywords:** static friction coefficient, kinetic friction coefficient inkjet prints, flexographic prints, surface deformation.