

Vrednotenje vpliva različnih dejavnikov pri odstranjevanju standardnih umazanij z bombažnih tkanin z večfaktorsko analizo variance

Evaluation of the Influence of Different Parameters in Removing Standard Soil from Cotton Fabric Using Multi-Factorial Analysis of Variance

Izvirni znanstveni članek/Original Scientific Paper

Prispelo/Received 05-2012 • Sprejeto/Accepted 07-2012

Izvleček

V študiji smo proučevali vplive različnih dejavnikov na uspešnost odstranjevanja standardnih umazanij z bombažnih tkanin in jih ovrednotili z večfaktorsko analizo variance (ANOVA). V raziskavi sta bila uporabljena dva tržna tekoča detergenta (P1 in P2), tržno sredstvo za odstranjevanje madežev (OXI) in dve standardni umazaniji, naneseni na bombažni tkanini, izdelovalca Empa iz Švice, in sicer izdelka 101 (E101) in 116 (E116). Vzorci tkanin so bili oprani v skladu s standardom SIST EN ISO 105-C06 na tri načine, in sicer pranje v deionizirani vodi brez detergenta, pranje z dodatkom detergenta P1 ali P2 in pranje z mešanico detergenta P1 ali P2 in OXI. Pranje je bilo izvedeno v aparatu Launder-Ometer pri temperaturi 40 in 60 °C pri različnem številu ciklov pranja, in sicer 1, 3, 5 in 10. Pri temperaturi 60 °C je bilo izvedeno tudi pranje vzorcev v deionizirani vodi le z OXI. Učinkovitost pranja je bila ovrednotena z določitvijo barvnih razlik, ΔE_{ab}^* , med nepranim in pranim vzorcem tkanin. Rezultati pranja so bili statistično obdelani z uporabo večfaktorske statistične analize ANOVA. S štirifaktorsko statistično analizo ANOVA smo vrednotili vplive štirih dejavnikov na ΔE_{ab}^* , in sicer vrste in strukture umazanije, vrste in strukture pralnega sredstva, temperature pranja in števila ciklov pranja. Ugotovljeno je bilo, da vsi naštetih dejavniki statistično značilno vplivajo na vrednosti ΔE_{ab}^* pri 99-% stopnji zaupanja, največji vpliv pa ima temperatura pranja. Tudi interakcije pralno sredstvo-temperatura pranja, pralno sredstvo-umazanija in temperatura-umazanija statistično značilno vplivajo na vrednosti ΔE_{ab}^* , medtem ko vpliv interakcij pralno sredstvo-cikli pranja, temperatura-cikli pranja in cikli pranja-umazanija statistično ni značilen. Analiza je tudi pokazala, da med delovanjem pralnih sredstev P1 in P2 ni bistvenih razlik, kar pomeni, da sta sredstvi enako učinkoviti pri odstranjevanju proučevanih umazanij.

Ključne besede: pranje, standardna umazanija, bombažna tkanina, vpliv različnih dejavnikov, učinek pranja, analiza variance

Abstract

In the study, the influence of several factors on the effective removal of standard soils from a cotton fabric was evaluated with the multi-factorial analysis of variance (ANOVA). Two commercial liquid detergents (P1 and P2),

commercial powdered stain removal agent (OXI) and two standard soils, applied on cotton fabric, were used in the study. Both studied fabrics are EMPA test materials from Switzerland. The first one is batch 101 (E101) soiled with carbon black/olive oil and the second one is batch 116 (E116), soiled with blood/milk/ink. The washing of fabric samples was conducted in accordance with the SIST EN ISO 105-C06 standard, using three different manners of washing, i.e. washing in deionised water without the addition of a liquid detergent, washing with the addition of P1 or P2, and washing with the addition of the mixture of P1 or P2 and OXI. All washings were performed in the apparatus Launder-Ometer at the temperatures of 40 and 60 °C using different numbers of washing cycles, i.e. 1, 3, 5 and 10. The washing in deionized water with OXI was also performed at the temperature of 60 °C. The washing efficiency was evaluated by determining the colour difference between the unwashed and washed fabric samples. The washing results were analysed using the statistical analysis of variance (ANOVA). The influence of four factors (soil type, detergent type, washing temperature and washing cycle) on ΔE_{ab}^* was evaluated with the four-factor ANOVA. It was found out that all factors have a statistically significant influence on ΔE_{ab}^* at 99% confidence interval, the temperature having the highest impact among them. The interactions washing agent-temperature, washing agent-soil and temperature-soil also have a statistically significant influence on the value of ΔE_{ab}^* , whilst the influence of washing agent-washing cycles, temperature-washing cycles and washing cycles-soil interactions is statistically insignificant. Between the liquid detergents P1 and P2, no essential differences are present in their action, confirming that both liquid detergents are equally effective at the removal of standard soils.

Keywords: washing, standard soil, cotton fabric, influence of different factors, washing efficiency, analysis of variance

1 Uvod

Proces pranja je poznan že več tisoč let. Razvil se je iz potrebe po vzdrževanju čistoče in higiene oblačil. Sodobno pranje tekstilij poteka v vodnem mediju ob dodatku površinsko aktivnih snovi (tenzidov), ogrodnih snovi (angl. *detergent builders*) in pomožnih snovi (kemična belilna sredstva, aktivatorji beljenja, stabilizatorji beljenja, inhibitorji korozije, optična belilna sredstva, encimi, inhibitorji posvitve, regulatorji pene, protimikrobne spojine, dišave, barvila in polnila), ki poskrbijo za učinkovitejše odstranjevanje vseh vrst madežev ter za doseganje višje stopnje beline in higieničnosti tekstilije [1–10]. Voda kot pralni medij rabi za prenos mehanske in toplotne energije, omogoča raztapljanje pralnih sredstev in vodotopnih umazanij, omaka in nabreka tekstilni material in je transportni medij za dispergirane in koloidne delce umazanije [1–3, 9].

V proces pranja so vključeni trije elementi: tekstilni substrat, umazanija in pralna kopel [6]. Vsak od naštetih elementov vpliva na učinkovitost odstranjevanja umazanije s tekstilnih vlaken. Že sama površina tekstilnega vlakna je lahko nepropustna, gladka, trdna ali pa je mehka, porozna, kompleksna [6]. Funkcionalne skupine na vlaknih, geometrija in morfologija vlaken ter struktura preje in konstrukcija ploskovne tekstilije pomembno

prispevajo k navzemanju umazanije [9, 11]. Odstranjevanje umazanije je pogojeno tudi s strukturo preje in tkanine. Dokazano je, da se umazanija lažje odstrani iz grobo vitih prej in redko tkanih tkanin kot iz gosto tkanih tkanin in močnejše vitih prej [5, 9].

Umazanija je lahko tekoča ali trdna, polarna ali nepolarna, fina ali groba, inertna ali reaktivna do pralne kopeli [5, 6, 9]. V gospodinjstvu je pogosto prisotna kombinacija trdne in tekoče umazanije. Trdna umazanija je po navadi heterogena. Delci umazanije so lahko različnih oblik, velikosti in kemične sestave, kar vpliva tako na adhezijo kot tudi na odstranjevanje umazanije [12]. Tekoče umazanije so topne v vodi ali organskih topilih ali pa so popolnoma netopne. Na splošno velja, da se trdna umazanija odstrani s tekstilnih vlaken že s samim nabrekanjem vlaken v pralni kopeli, saj se poruši adhezija med umazanijo in površino tekstilnega vlakna, s čimer se olajša odstranjevanje umazanije [1, 6, 9], medtem ko tekoče umazanije pronica v notranjost vlaken in jih je zato težje odstraniti [16, 17].

Pralna kopel je vodna raztopina anionskih in neionskih tenzidov, ogrodnih snovi in pomožnih snovi, ki delujejo sinergistično. Naloga tenzidov v pralni kopeli je, da znižajo površinsko napetost vode ter medfazno napetost na medfazni površini tekstilija-pralna kopel in umazanija-pralna kopel, pri čemer se

olajša omakanje tekstilije in poveča odstranjevanje umazanije. Ogrodne snovi mehčajo vodo, poskrbijo za ustrezen pH pralne kopeli ter povečajo učinkovitost tenzida pri odstranjevanju umazanije. Pomožne snovi pripomorejo k odstranjevanju različnih vrst umazanij, tako da povečajo stopnjo beline in higieničnost tekstilij, odpravijo neprijeten vonj pralnih kopeli ter povečajo svežino in prijeten vonj tekstilij.

Za odstranjevanje madežev s tekstila se v gospodinjstvu pogosto uporabljajo pomožna belilna sredstva. Ta se lahko uporabljajo pred pranjem ali med njim za tekstilije, ki so bile zamazane s teže odstranljivo umazanijo, vendar jih belilna sredstva, prisotna v tržnem detergentu, niso povsem odstranila. Tržna pomožna belilna sredstva za odstranjevanje madežev vsebujejo v primerjavi s tržnimi detergenti višje koncentracije belilnih sredstev na osnovi kisika ter nižje koncentracije tenzida in pomožnih snovi.

Tržni detergenti za pranje perila so lahko v tekoči ali praškasti obliki [2, 7, 8, 18]. Tekoči detergenti se pogosteje uporabljajo za pranje barvastega in občutljivega perila, ki se pere pri nižjih temperaturah, šibkejši mehanski obdelavi in večjih kopelnih razmerjih, medtem ko se pralna sredstva v obliki praška uporabljajo za pranje belega perila pri visokih temperaturah, močnejši mehanski obdelavi in manjših kopelnih razmerjih. Učinkovitost odstranjevanja umazanije pa ni odvisna samo od tekstilnega substrata, umazanije in pralne kopeli, temveč tudi od mehanske sile, temperature in časa pranja ter kakovosti vode [18, 23].

Učinkovitost pranja lahko ovrednotimo z določanjem primarnih (učinkovitost odstranjevanja madežev po enem pranju) in sekundarnih učinkov pranja (vpliv mehanskih in kemijskih modifikacij ter poslabšanje kakovosti tkanin zaradi večkratnega pranja) [18, 24, 25]. Zadnji vključujejo določitev stopnje beline po Ganzu, znižanje pretržne trdnosti tekstilij zaradi mehanskih in kemičnih poškodb vlaken, nastalih kot posledica uporabe belilnih sredstev in daljšega postopka pranja, ter določitev ostanka po sežiganju (pepela) [25]. Učinkovitost pranja lahko spektrofotometrično ovrednotimo na različne načine. Med najpogostejšimi parametri nastopajo določitev CIE triobmočne vrednosti Y , določitev remisije R pri valovni dolžini 460 nm, določitev CIE stopnje beline W_{CIE} ter določitev barvne razlike ΔE_{ab}^* med nepranim in pranim vzorcem tekstilije [22, 26–28]. Čeprav nam dobljene

vrednosti podajo določeno oceno o učinkovitosti pranja, pa žal iz njih ne moremo sklepati na medsebojni vpliv različnih dejavnikov, ki so odgovorni za dobljeni rezultat. Le-to je mogoče doseči s statistično obdelavo podatkov z večfaktorsko analizo variance, ki upošteva uporabo ustreznih faktorskih načrtov [28].

Z raziskavo smo želeli ovrednotiti vpliv različnih dejavnikov, kot so vrsta umazanije, vrsta pralnega sredstva, število ciklov pranja in temperatura pranja na odstranjevanje standardnih umazanij z bombažnih tkanin. V ta namen smo uporabili bombažni tkanini, zamazani z različnimi umazanijami. Prva je bila mešanica saj in olivnega olja, druga pa mešanica krvi, mleka in črnica. Vzorce smo oprali v skladu s standardom SIST EN ISO 105-C06 z dodatkom tržnega tekočega detergenta ali brez njega ter z dodatkom sredstva za odstranjevanje madežev in brez njega. Pranje smo izvedli pri dveh različnih temperaturah, in sicer 40 in 60 °C, ter pri štirih različnih ciklih pranja. Učinkovitost pranja smo spektrofotometrično ovrednotili, dobljene rezultate pa analizirali z uporabo statistične analize ANOVA.

2 Eksperimentalni del

2.1 Pralna sredstva

Za pranje vzorcev, zamazanih s standardnimi umazanijami, smo uporabili tržna tekoča detergenta P1 in P2, izdelana pod isto blagovno znamko, vendar za dva različna prodajna trga, in tržno sredstvo za odstranjevanje madežev OXI v granulirani obliki, ki je primerno za odstranjevanje vseh vrst madežev. V preglednici 1 je podana sestava tekočih detergentov P1 in P2 ter sredstva OXI.

2.2 Tekstilni substrat

Pranje smo izvedli na dveh bombažnih tkaninah švicarskega izdelovalca EMPA, ki sta bili zamazani s standardnimi umazanijami. Prva je bila izdelek 101 (oznaka E101), druga pa izdelek 116 (oznaka E116). V preglednici 2 so podane osnovne značilnosti tkanin, uporabljenih v raziskavi.

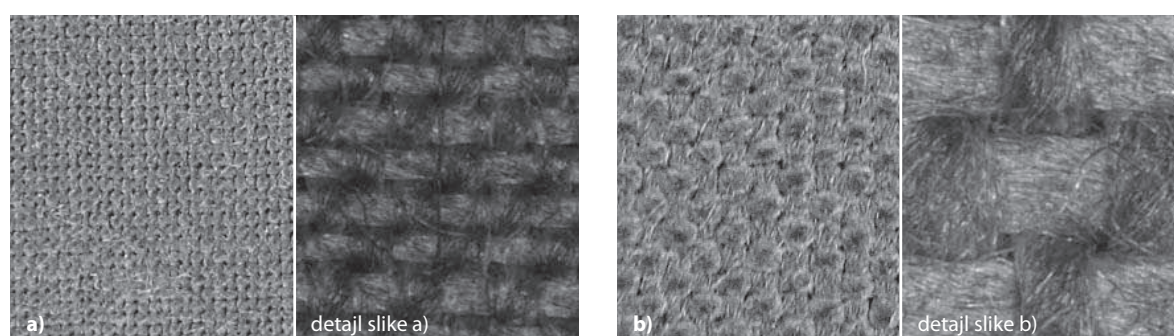
Na sliki 1 je prikazan videz vzorcev E101 (a) in E116 (b), posnet z digitalnim fotoaparatom Canon PowerShot A710. Detajla vzorcev sta posneta z optičnim mikroskopom Nikon SMZ 800 pri 8-kratni povečavi.

Preglednica 1: Sestava tržnih tekočih detergentov in sredstva za odstranjevanje madežev

Okrajšava tekočega detergenta in sredstva za odstranjevanje madežev	Sestava	Izdelovalec, država proizvajalka
P1	15–30 % anionskih tenzidov, 5–15 % neionskih tenzidov, < 5 % fosfonatov, polikarboksilatov, mila, encimov (proteaze, celulaze, glukozidaze, lipaze) in parfumov	Henkel, Nemčija
P2	15–30 % anionskih tenzidov, 5–15 % neionskih tenzidov, < 5 % fosfonatov, mila, encimov in parfumov	Henkel, Madžarska
OXI	15–30 % belila na osnovi kisika, < 5 % anionskih in neionskih tenzidov, encimov (proteaze, lipaze, amilaze) in dišav	Reckitt Benckiser, Poljska

Preglednica 2: Surovinska sestava, ploščinska masa preiskovanih tkanin in vrsta nanese standardne umazanije

Oznaka vzorca	Surovinska sestava	Ploščinska masa (g/m ²)	Standardna umazanija
E101	100 % CO	95	saje/olivno olje
E116	100 % CO	224	kri/mleko/črnilo



Slika 1: Posnetek videza vzorcev E101 (a) in E116 (b) in njuna detajla

2.3 METODE DE LA

2.3.1 Pranje v aparatu Launder-Ometer

Pranje vzorcev smo izvedli v skladu s standardom SIST EN ISO 105-C06 [29, 30] v aparatu Launder-Ometer. Uporabili smo testno metodo A1S, pri čemer smo namesto standardnega praška uporabili tekoča detergenta P1 in P2 z dodatkom sredstva OXI in brez njega. Pranje smo izvedli v deionizirani vodi brez spremljevalnih tkanin. Vzorci so bili veliki 100 mm x 40 mm. Pogoji pranja so podani v preglednici 3.

Preglednica 3: Pogoji postopkov pranja

T _{pranja} [°C]	c _{detergenta} [g/l]	V _{pralne kopeli} [ml]	t _{pranja} [min]	Št. nerjavnih jeklenih kroglic
40	4	150	30	10
60	4	150	30	10

Koncentracija tekočih detergentov P1 in P2 ter sredstva OXI, predpisana v standardu, ustreza koncentracijam, ki jih predpisuje izdelovalec pralnih sredstev. Izmerjena vrednost pH kopeli ob dodatku tekočega

detergenta P1 je znašala 8, ob dodatku tekočega detergenta P2 pa 8,5. Ob dodatku sredstva OXI se je vrednost pH pralne kopeli, ki je vsebovala P1 ali P2, zvišala na vrednost pH 10 pri temperaturi 25 °C. Posamezne vzorce smo prali ločeno enkrat, trikrat, petkrat in desetkrat. Pranje vzorcev smo izvedli v dveh paralelkah. Vsako pranje je bilo izvedeno na tri načine, in sicer pranje v deionizirani vodi brez dodatka detergenta, pranje z dodatkom detergenta P1 ali P2 ter pranje z dodatkom detergenta P1 ali P2 in sredstva OXI (P1+OXI in P2+OXI). Pranje smo izvedli pri dveh temperaturah, in sicer pri 40 in 60 °C. Pri temperaturi pranja 60 °C smo izvedli tudi pranje vzorcev E101 in E116 v kopeli, ki je vsebovala le sredstvo OXI. Po končanem pranju smo vsak vzorec dvakrat sprali s 100 ml deionizirane vode, segrete na 40 °C. Vsako izpiranje je trajalo eno minuto. Po izpiranju smo vzorce posušili na zraku, na ravni podlagi, pri čemer temperatura zraka ni preseгла 60 °C.

2.3.2 Spektrofotometrične meritve

2.3.2.1 Barvnometrične meritve

Barvo vzorcev E101 in E116 z nanesenimi standardnimi umazanijami pred pranjem in po večkratnem

pranju smo številčno ovrednotili z merjenjem CIE $L^*a^*b^*$ barvnih vrednosti z refleksijskim spektrofotometrom Datacolor Spectraflash 600 Plus-CT. Na podlagi izmerjenih vrednosti L^* , a^* in b^* nepranih in pranih vzorcev smo izračunali barvno razliko, ΔE_{ab}^* , po enačbi 1, kjer je standard, s, pomenila umazana tkanina, vzorec, v, pa oprana tkanina (31).

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_v^* - L_s^*)^2 + (a_v^* - a_s^*)^2 + (b_v^* - b_s^*)^2} \quad (1)$$

kjer je L^* svetlost vzorca, a^* barvna koordinata na rdeče-zeleni osi in b^* barvna koordinata na rumeno-modri osi CIE $L^*a^*b^*$ barvnega prostora.

Barvnometrične meritve proučevanih nepranih in pranih vzorcev smo opravili pri vklopljeni pasti za lesk, velikosti merilne odprtine MAV 20 mm, d/8° geometriji inštrumenta, standardni osvetlitvi D_{65} , 10° kotu opazovanja in štirih plasteh vzorca. Na vsakem vzorcu smo izvedli 10 meritev CIE $L^*a^*b^*$ barvnih vrednosti. Pred izvedbo spektrofotometričnih meritev smo vzorce 24 ur klimatizirali pri standardnih pogojih: $RV = 65 \pm 2\%$, $T = 20 \pm 2$ °C. Rezultati meritev CIE $L^*a^*b^*$ barvnih vrednosti, ki pomenijo povprečne vrednosti dvajsetih meritev, so podane v preglednicah 4 in 5.

Preglednica 4: Rezultati barvnometričnih parametrov enkrat, trikrat, petkrat in desetkrat pranih vzorcev E101 pri izbranih temperaturah pranja

T_{pranja} [°C]	Pralno sredstvo	Št. ciklov pranja	L^*	a^*	b^*	C_{ab}^*	h_{ab}	ΔE_{ab}^*
/	/	/	44,04	0,54	1,36	1,46	68,46	/
40	voda	1	49,64	0,41	0,78	0,88	62,50	5,63
		3	51,30	0,34	0,52	0,62	56,46	7,31
		5	52,93	0,32	0,41	0,52	52,63	8,94
		10	55,75	0,23	0,27	0,36	50,21	11,76
	P1	1	66,49	0,37	0,79	0,87	64,58	22,46
		3	70,10	0,33	0,75	0,82	66,29	26,07
		5	72,46	0,33	0,65	0,72	63,06	28,43
		10	75,35	0,30	0,76	0,81	68,11	31,32
	P1 + OXI	1	69,41	0,64	1,79	1,90	70,31	25,37
		3	74,30	0,59	1,66	1,77	70,42	30,26
		5	75,10	0,60	1,63	1,73	69,64	31,06
		10	76,01	0,57	1,55	1,65	69,74	31,97
	P2	1	65,36	0,43	0,87	0,97	63,89	21,33
		3	60,35	0,24	0,23	0,34	43,30	16,35
		5	61,18	0,22	0,09	0,24	22,68	17,19
		10	64,92	0,20	0,05	0,20	14,52	20,92

Nadaljevanje preglednice 4:

T_{pranja} [°C]	Pralno sredstvo	Št. ciklov pranja	L^*	a^*	b^*	C_{ab}^*	h_{ab}	ΔE_{ab}^*
40	P2 + OXI	1	72,14	0,64	1,73	1,85	69,62	28,10
		3	71,12	0,61	1,64	1,76	69,53	27,08
		5	71,51	0,62	1,61	1,72	68,97	27,47
		10	71,93	0,64	1,54	1,66	67,52	27,89
60	voda	1	49,75	0,37	0,66	0,76	60,37	5,76
		3	56,10	0,22	0,15	0,26	33,32	12,12
		5	57,19	0,20	0,10	0,23	27,25	13,21
		10	60,38	0,16	0,08	0,18	25,79	16,39
	P1	1	56,34	0,33	0,42	0,53	51,60	12,34
		3	71,44	0,38	0,85	0,93	65,56	27,41
		5	72,26	0,38	0,81	0,89	65,06	28,23
		10	74,74	0,34	0,77	0,84	66,34	30,71
	P1 +OXI	1	59,06	0,60	1,37	1,50	66,44	15,02
		3	71,26	0,61	1,56	1,68	68,67	27,22
		5	70,75	0,63	1,63	1,75	68,73	26,71
		10	73,09	0,58	1,45	1,56	68,23	29,05
	P2	1	67,96	0,47	1,06	1,16	66,24	23,92
		3	75,00	0,38	1,04	1,11	70,07	30,96
		5	77,85	0,40	1,12	1,19	70,41	33,81
		10	76,87	0,39	1,02	1,10	68,94	32,83
	P2 + OXI	1	67,02	0,65	1,67	1,80	68,81	22,98
		3	69,53	0,62	1,64	1,76	69,26	25,49
		5	75,48	0,58	1,42	1,53	67,68	31,44
		10	73,77	0,62	1,51	1,64	67,89	29,73
OXI	1	62,30	0,58	1,41	1,53	67,55	18,26	
	3	73,97	0,58	1,69	1,79	71,05	29,93	
	5	75,99	0,54	1,61	1,70	71,38	31,95	
	10	76,50	0,54	1,55	1,64	70,86	32,46	

2.4 Večfaktorska ANOVA

Rezultate meritev barvnih razlik, ΔE_{ab}^* , zbranih v preglednicah 4 in 5, smo statistično obdelali z uporabo večfaktorske statistične analize ANOVA. Uporabili smo štirifaktorski načrt $4 \times 2 \times 4 \times 2$, kjer smo upoštevali štiri dejavnike – pralno sredstvo, temperaturo pranja, cikle pranja in vrsto umazanije. V raziskavi smo uporabili štiri pralna sredstva (P1, P1+OXI, P2 in P2+OXI), dve temperaturi (40 in

60 °C), štiri cikle pranja (1, 3, 5 in 10) in dve standardni umazaniji, naneseni na vzorca E101 in E116, kar je skupaj 64 poskusov. Rezultati analize so podani v preglednici 6.

Za potrditev statistično značilnih razlik smo uporabili 99-% stopnjo zaupanja, kar pomeni, da pri P-vrednosti $< 0,01$ posamezen dejavnik ali njihova kombinacija, t. i. interakcija statistično značilno vpliva na vrednost ΔE_{ab}^* .

Preglednica 5: Rezultati barvnometričnih parametrov enkrat, trikrat, petkrat in desetkrat pranih vzorcev E116 pri izbranih temperaturah pranja

T_{pranja} [°C]	Pralno sredstvo	Št. ciklov pranja	L^*	a^*	b^*	C_{ab}^*	h_{ab}	ΔE_{ab}^*	
/	/	/	46,17	0,33	4,94	4,95	86,22	/	
40	voda	1	45,71	0,03	4,76	4,76	89,61	0,58	
		3	46,22	0,07	4,23	4,23	89,11	0,76	
		5	46,60	0,09	3,82	3,83	88,73	1,22	
		10	46,54	0,05	4,04	4,04	89,23	1,01	
	P1	1	77,03	0,19	1,98	1,99	84,65	31,00	
		3	79,62	0,31	1,58	1,61	78,87	33,62	
		5	80,30	0,25	1,72	1,73	81,60	34,28	
		10	83,02	0,27	1,45	1,48	79,55	37,01	
	P1 + OXI	1	65,32	0,35	1,19	1,24	73,75	19,51	
		3	72,05	0,42	1,25	1,31	71,45	26,14	
		5	73,76	0,41	1,16	1,23	70,68	27,85	
		10	73,00	0,41	0,95	1,04	66,78	27,13	
	P2	1	77,97	0,27	2,01	2,02	82,47	31,93	
		3	81,85	0,21	1,77	1,78	83,40	35,82	
		5	81,08	0,30	1,43	1,46	78,26	35,09	
		10	82,11	0,31	1,28	1,32	76,45	36,13	
	P2 + OXI	1	70,26	0,37	1,26	1,31	73,69	24,37	
		3	70,37	0,41	1,25	1,31	71,93	24,48	
		5	71,16	0,41	1,03	1,11	68,28	25,29	
		10	74,70	0,47	1,07	1,17	66,22	28,79	
	60	voda	1	44,83	0,11	4,50	4,50	88,61	1,43
			3	45,40	0,16	3,90	3,90	87,65	1,31
			5	45,82	0,06	3,85	3,85	89,08	1,18
			10	46,83	0,04	3,55	3,55	89,39	1,57
		P1	1	60,97	0,25	2,18	2,20	83,45	15,06
			3	63,30	0,33	1,62	1,65	78,46	17,45
			5	59,91	0,36	1,62	1,66	77,29	14,14
			10	61,94	0,36	1,35	1,39	75,10	16,17
P1 + OXI		1	48,66	0,53	1,68	1,76	72,36	4,11	
		3	47,62	0,55	1,59	1,69	70,93	3,66	
		5	48,97	0,56	1,52	1,62	69,94	4,43	
		10	49,91	0,54	1,34	1,45	68,09	5,20	
P2		1	61,74	0,29	2,10	2,12	82,23	15,83	
		3	61,98	0,40	1,61	1,66	76,12	16,16	
		5	62,29	0,32	1,46	1,49	77,75	16,49	
		10	64,32	0,35	1,24	1,29	74,33	18,52	
P2 + OXI		1	49,39	0,54	1,66	1,75	72,05	4,60	
		3	49,81	0,52	1,42	1,51	69,90	5,07	
		5	48,04	0,54	1,57	1,66	70,98	3,86	
		10	48,84	0,54	1,43	1,53	69,32	4,42	
OXI		1	47,48	0,58	1,91	1,99	73,06	3,31	
		3	46,91	0,55	1,89	1,97	73,69	3,15	
		5	46,76	0,56	1,85	1,93	73,06	3,15	
		10	48,41	0,56	1,67	1,76	71,54	3,97	

Preglednica 6: Tabela ANOVA za vrednosti barvnih razlik, ΔE_{ab}^* pri vzorcih bombažne tkanine E101 in E116, zamazanih s standardnimi umazanijami in opranih z različnimi pralnimi sredstvi, P1, P1+OXI, P2 in P2+OXI, pri temperaturi 40 in 60 °C pri štirih različnih ciklih pranja, in sicer 1, 3, 5 in 10

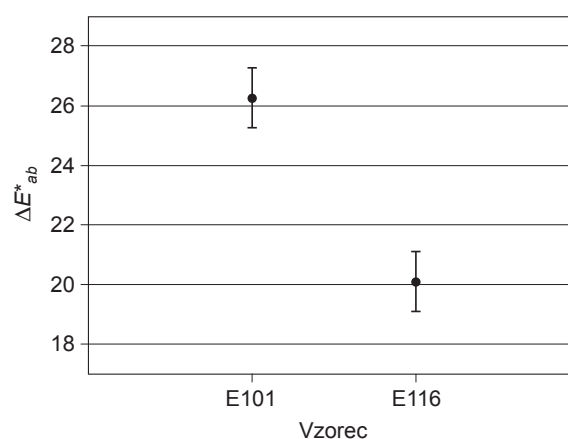
Glavni dejavniki in dvofaktorske interakcije	Vsota kvadratov	Df	Povprečje kvadratov	F-razmerje	P-vrednost
A: Pralno sredstvo	278,798	3	92,9328	9,39	0,0001
B: Temperatura	1394,0	1	1394,0	140,86	0,0000
C: Cikli pranja	274,56	3	91,5201	9,25	0,0001
D: Umazanija	609,534	1	609,534	61,59	0,0000
Interakcija AB	211,819	3	70,6062	7,13	0,0008
Interakcija AC	67,8856	9	7,54285	0,76	0,6510
Interakcija AD	623,669	3	207,89	21,01	0,0000
Interakcija BC	22,5374	3	7,51247	0,76	0,5251
Interakcija BD	1679,46	1	1679,46	169,71	0,0000
Interakcija CD	56,8229	3	18,941	1,91	0,1465
Ostanek	326,568	33	9,89599		
Skupaj	5545,65	63			

3 Razprava o rezultatih

Iz rezultatov meritev, zbranih v preglednicah 4 in 5, ter statistične obdelave podatkov, zbrane v preglednici 6, razberemo, da na učinek pranja v večji ali manjši meri vpliva več dejavnikov. Z uporabo statistične analize ANOVA smo statistično dokazali, da vsi glavni dejavniki – pralno sredstvo, temperatura pranja, cikli pranja in struktura umazanije – statistično značilno vplivajo na vrednost ΔE_{ab}^* , saj so P-vrednosti v vseh primerih manjše od 0,01. Med vsemi naštetimi dejavniki ima temperatura pranja (F-razmerje = 140,86) zdaleč največji vpliv na vrednosti ΔE_{ab}^* , sledi ji vrsta umazanije (F-razmerje = 61,59), medtem ko je vpliv dejavnikov pralnega sredstva (F-razmerje = 9,39) in ciklov pranja (F-razmerje = 9,25) veliko manjši in po vplivnosti skoraj enak. Majhen vpliv dejavnika pralnega sredstva na vrednost ΔE_{ab}^* je verjetno tudi posledica velike razlike v deležu pralnega sredstva v primerjavi z deležem vode.

Barvna razlika med nepranim in pranim vzorcem, ΔE_{ab}^* , je merilo za učinkovitost pranja. Višja ko je njena vrednost, več umazanije se odstrani s tkanine in nasprotno. S slike 2 je razvidno, da se umazanija veliko lažje odstrani z vzorca E101 kot z vzorca E116, pri čemer je treba poudariti, da pralno sredstvo (interakcija AD) in temperatura (interakcija BD) zelo pomembno vplivata na uspešnost čiščenja. Vzrok za

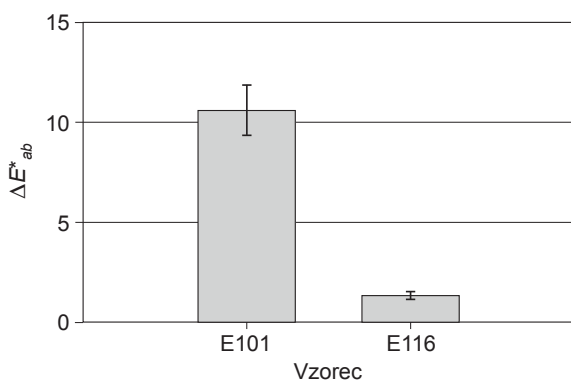
takšna odstopanja je v sestavi umazanije, saj je na vzorec E101 nanosena mešanica saj in olivnega olja, v primerjavi z vzorci E116, katerih umazanija je sestavljena iz mešanice krvi, mleka in črnila. Podrobnejša analiza rezultatov pokaže, da se umazanija z vzorcev E116 odstrani pri temperaturi 40 °C celo bolje kot z vzorcev E101, vendar pa veliko slabše pri 60 °C. To pomeni, da je uspešnost odstranjevanja umazanije odvisna od temperature.



Slika 2: Vrednosti ΔE_{ab}^* v odvisnosti od vrste umazanije

Pri pranju vzorcev le v deionizirani vodi, brez dodatnega detergenta P1 ali P2 in sredstva OXI, lahko iz povprečnih vrednosti ΔE_{ab}^* , prikazanih na sliki 3,

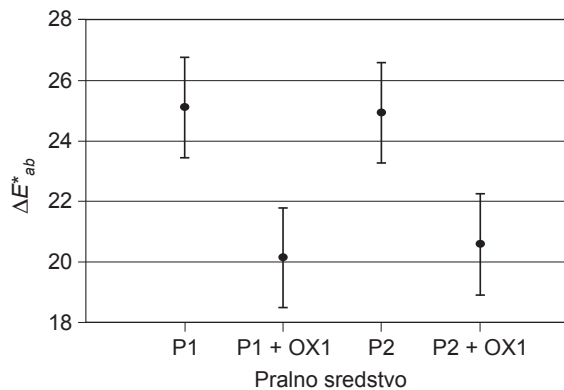
opazimo, da se določen delež umazanije odstrani že pri samem pranju brez dodatka detergenta, in sicer v večjem obsegu z vzorci E101 ($\Delta E_{ab}^* = 10,63 \pm 1,22$) kot z vzorci E116 ($\Delta E_{ab}^* = 1,36 \pm 0,19$) ne glede na temperaturo in število ciklov pranja. Vrednosti ΔE_{ab}^* vzorcev E101 in E116, opranih le s sredstvom OXI pri 60 °C (preglednici 4 in 5), kažejo, da sredstvo OXI močno poveča odstranjevanje umazanije z vzorci E101, saj se gibljejo vrednosti ΔE_{ab}^* med 18,26 in 32,46, medtem ko so vrednosti ΔE_{ab}^* pri vzorcih E116 izjemno nizke in znašajo od 3,15 do 3,97, vendar so kljub temu višje od dobljenih pri pranju v vodi brez dodatka detergenta. Rezultati kažejo, da je sredstvo OXI pri odstranjevanju umazanije z vzorci E101 pri 60 °C celo učinkovitejše kot tekoči detergent P1 in mešanici P1+OXI in P2+OXI, vendar manj učinkovito kot tekoči detergent P2 ne glede na število ciklov pranja. Pri vzorcih E116 pa je sredstvo OXI med proučevanimi pralnimi sredstvi (P1, P2, P1+OXI in P2+OXI) najmanj učinkovito pri odstranjevanju umazanije. Vrednosti ΔE_{ab}^* kažejo, da je učinkovitost sredstva OXI kot samostojnega pralnega sredstva pri 60 °C močno odvisna od vrste in sestave umazanije.



Slika 3: Barvna razlika, ΔE_{ab}^* , proučevanih vzorcev v odvisnosti od vrste umazanije pri pranju vzorcev brez dodatka pralnega sredstva ne glede na temperaturo pranja in število ciklov pranja

Vpliv sestave pralnega sredstva na učinek pranja je prikazan na sliki 4. Iz nje je razvidno, da so vrednosti ΔE_{ab}^* za tekoči detergent P1 in P2 zelo podobne in statistično značilno višje od dobljenih za detergenta P1 in P2, katerima je bilo dodano sredstvo OXI.

Če primerjamo le vrednosti ΔE_{ab}^* , dobljene za detergenta P1 in P2 (slika 4), lahko rečemo, da struktura in sestava tekočega detergenta statistično značilno ne vplivata na odstranjevanje umazanije. Statistično

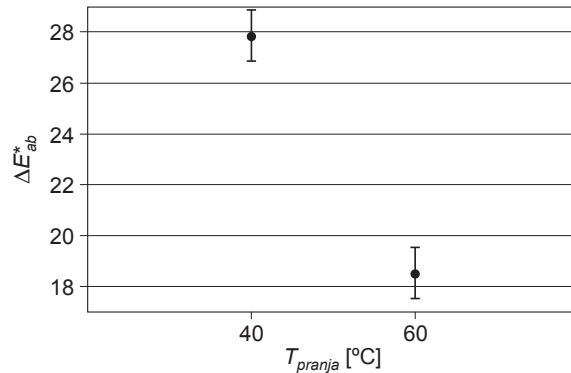


Slika 4: Vrednosti ΔE_{ab}^* v odvisnosti od vrste pralnega sredstva

značilna razlika je posledica dodatka OXI, ki vrednosti ΔE_{ab}^* zniža s 25,36 oziroma 25,21 na 20,92 oziroma 21,32. Nižje vrednosti ΔE_{ab}^* , dobljene pri detergentih P1+OXI in P2+OXI, kažejo, da dodatek OXI na splošno zmanjša učinkovitost pranja, vendar podrobnejša analiza rezultatov vrednosti ΔE_{ab}^* v preglednicah 4 in 5 jasno pokaže, da na učinek delovanja OXI v tekočem detergentu bistveno vplivata tako struktura umazanije kot tudi temperatura pranja. Pri vzorcih E101 dodatek sredstva OXI pri temperaturi pranja 40 °C celo poveča učinkovitost pranja z obema pralnima sredstvom P1 in P2, medtem ko pri temperaturi pranja 60 °C kot tudi pri umazaniji na vzorcih E116 dodatek OXI bistveno zmanjša učinkovitost pranja obeh tekočih detergentov, P1 in P2. Gre očitno za pomembno trifaktorsko interakcijo A-B-D, ki pa je v tabeli ANOVA nismo posebej prikazali. Vzrok za uspešnejše odstranjevanje umazanije z vzorci E101 smo pripisali dodatku sredstva OXI. Le-ta vpliva na povečanje vrednosti pH pralne kopeli, posledica pa so višje vrednosti ΔE_{ab}^* in doseženi večji učinki pranja. Raziskave vpliva dodatka alkalije v pralno kopaljo so pokazale, da zvišanje vrednosti pH pralne kopeli vpliva na povečano odstranjevanje maščobnih umazanij, saj so maščobne kisline sposobne z alkalijo tvoriti mila, kar vpliva na povečano odstranjevanje umazanije [32, 33].

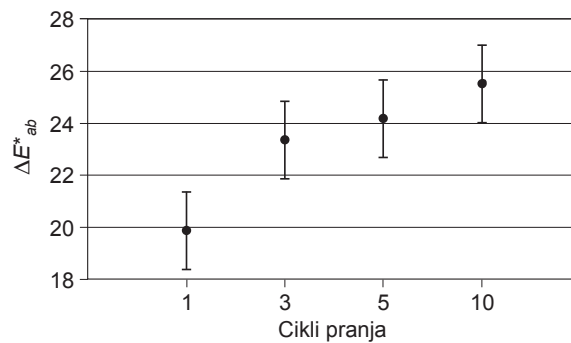
S slike 5 je razvidno, da višja temperatura pranja na splošno ugodno vpliva na uspešnost odstranjevanja umazanije s proučevanimi vzorci. Vendar pa je treba poudariti, da medtem ko pri umazaniji na vzorcih E101 temperatura bistveno ne vpliva na njeno odstranitev, se umazanija z vzorci E116 pri 60 °C veliko slabše odstrani ($\Delta E_{ab}^* = 10,32$) kot pri 40 °C ($\Delta E_{ab}^* = 29,90$), kar je razvidno iz povprečnih

vrednosti ΔE_{ab}^* v preglednici 5 in s slike 7. Vzrok za to je v sestavi umazanije, saj beljakovine (kri in mleko) pri višji temperaturi koagulirajo in se zato slabše odstranijo kot pri nižji temperaturi pranja. Na učinkovitost odstranitve mešanice saj in olivnega olja temperatura ni bistveno vplivala.



Slika 5: Vrednosti ΔE_{ab}^* v odvisnosti od temperature pranja

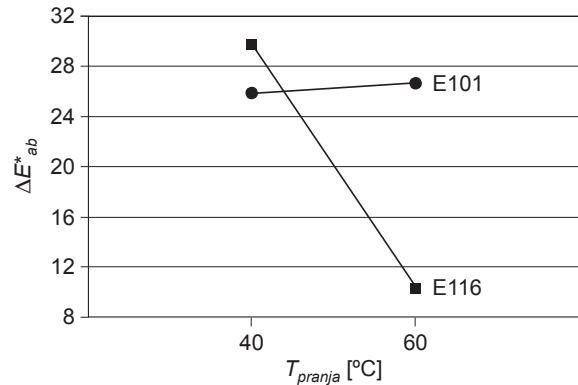
V skladu z našimi pričakovanji je s slike 6 razvidno, da vrednosti ΔE_{ab}^* naraščajo z naraščanjem števila ciklov pranja, kar pomeni, da vsako nadaljnje pranje pripomore k boljši odstranitvi umazanije z bombažne tkanine in s tem k večjim učinkom pranja in boljši higieni tekstilij.



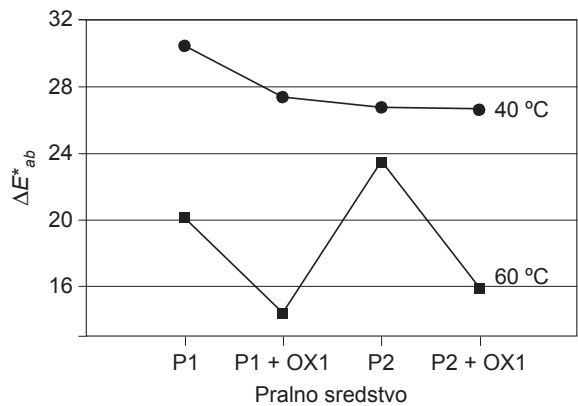
Slika 6: Vrednosti ΔE_{ab}^* v odvisnosti od števila ciklov pranja

Statistična analiza je tudi pokazala, da na vrednosti ΔE_{ab}^* statistično značilno vplivajo naslednje dvofaktorske interakcije: pralno sredstvo-temperatura pranja, pralno sredstvo-umazanija in temperatura-umazanija (slike od 7 do 9). Med naštetimi ima zdaleč največji vpliv interakcija temperatura-umazanija (slika 7), katere F-vrednost je najvišja in znaša 169,71. Dvofaktorska analiza interakcij pralno sredstvo-temperatura, prikazana na sliki 8, kaže, da ima struktura

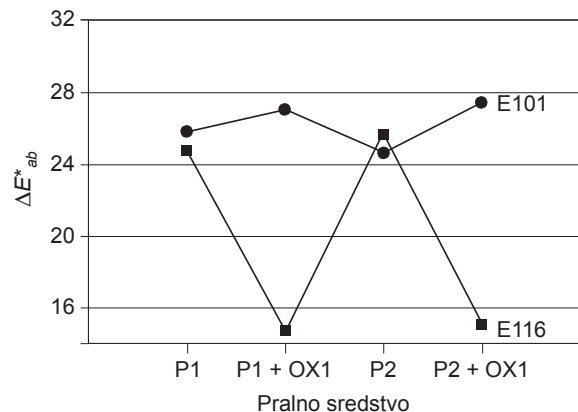
pralnega sredstva pri 40 °C veliko manjši vpliv na vrednosti ΔE_{ab}^* kot pri 60 °C, kjer dodatek OXI povzroči močno zmanjšanje učinka pranja ne glede na vrsto umazanije in število ciklov pranja. To pomeni, da je sredstvo OXI v kombinaciji s tekočim detergentom učinkovitejše in primernejše za uporabo pri nižji



Slika 7: Vrednosti ΔE_{ab}^* v odvisnosti od interakcije temperatura-umazanija



Slika 8: Vrednosti ΔE_{ab}^* v odvisnosti od interakcije pralno sredstvo-temperatura



Slika 9: Vrednosti ΔE_{ab}^* v odvisnosti od interakcije pralno sredstvo-umazanija

temperaturi pranja, saj so doseženi večji učinki pranja (višje vrednosti ΔE_{ab}^*) kot pri višji temperaturi.

Iz prikaza rezultatov dvofaktorske analize pralno sredstvo-umazanija na sliki 9 je razvidno, da dodatek sredstva OXI nekoliko poveča učinkovitost odstranjevanja umazanije z vzorca E101, medtem ko se pri vzorcu E116 močno poslabša, čeprav smo pričakovali, da bo dodatek OXI povečal učinkovitost odstranjevanja obarvanih standardnih umazanij (kri, črnilo). Iz tega lahko povzamemo, da smotrnost uporabe sredstva OXI ni odvisna le od temperature pranja, temveč tudi od vrste umazanije.

Iz preglednice 6 je tudi razvidno, da interakcije pralno sredstvo-cikli pranja, temperatura-cikli pranja in cikli pranja-umazanija statistično značilno ne vplivajo na vrednosti ΔE_{ab}^* .

3.1 Sklepi

Na podlagi izsledkov raziskave smo ugotovili naslednje:

- Uporabljen tekoča detergenta se po učinkovitosti odstranjevanja umazanije bistveno ne razlikujeta.
- Delež odstranjene standardne umazanije z bombažne tkanine je odvisen od vrste in strukture umazanije, vrste in strukture pralnega sredstva, temperature in števila ciklov pranja. Med naštetimi dejavniki ima zdaleč največji vpliv temperatura pranja. Poleg glavnih dejavnikov vplivajo na učinkovitost odstranjevanja umazanije tudi dvofaktorske interakcije, katerih vplivnost pada v naslednjem vrstnem redu: temperatura-umazanija > pralno sredstvo-umazanija > pralno sredstvo-temperatura > cikli pranja-umazanija. Po vplivnosti sta dvofaktorski interakciji pralno sredstvo-cikli pranja in temperatura-cikli pranja skoraj enaki in najmanjši.
- Umazanija z vzorca E101 se na splošno v večji meri odstrani z bombažnih vlaken v primerjavi z umazanijo na vzorcu E116, čeprav je učinkovitost odstranjevanja umazanije odvisna tako od konkretne temperature (40 ali 60 °C) kot tudi od uporabljenega pralnega sredstva (P1, P1+OXI, P2 ali P2+OXI).
- Sredstvo OXI, dodano detergentu P1 ali P2, znatno zmanjša učinke pranja in ne deluje sinergistično pri odstranjevanju proučevane umazanije z bombažne tkanine.
- Učinek pranja narašča z naraščanjem števila ciklov pranja.
- Odstranjevanje umazanije z vzorca E101 skorajda ni odvisno od temperature pranja v nasprotju z vzorcem E116, kjer z naraščanjem temperature pada učinek pranja.
- Sredstvo OXI je primernejše za uporabo pri nižji temperaturi pranja, katerega učinkovitost je odvisna tudi od vrste umazanije.
- Večfaktorska analiza variance se je izkazala za učinkovito metodo proučevanja vpliva različnih dejavnikov na učinkovitost pranja.

4 Literaturni viri

1. SOLJAČIĆ, I. in PUŠIĆ, T. *Njega tekstila : čiščenje u vodenim medijima*. Zagreb : Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, 2005, str. 13–99.
2. *Laundry detergents*. Edited by E. Smulders. Weinheim : Wiley VCH, 2002, p. 1–75.
3. ZAVRŠNIK, T. Negovanje tekstilij – strojno pranje oblačil v industrijskih pralnicah in v gospodinjstvu (I. del). *Tekstilec*, 1994, vol. 37, (10), str. 306–313.
4. BRUCKETT, ST., LAURENT, J., BUZZACCARINI, F., DE CLERCK, K. et al. Laundry cleaning of textiles. V *Handbook for cleaning/Decontamination of surfaces*. Editors I. Johansson, P. Somnsundaran. Elsevier, 2007, p. 57–102.
5. DŽOKIĆ, D. *Površinski aktivne materije (tenzidi)*. Beograd : IRO Naučna knjiga, 1985, 188 str.
6. ROSEN, MJ. *Surfactants and interfacial phenomena. 2nd edition*. New York; Chichester; Brisbane; Toronto; Singapore : John Wiley & Sons, 1989, p. 363–373.
7. KARSA, D. The development of household laundry detergents in Western Europe. *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, 1990, vol. 20 (1), p. 70–18.
8. BEVAN, G. Fabric washing in Western Europe. *Review of progress in coloration*, 1997, vol. 27 (1), p. 1–4.
9. JEMO, D., SOLJAČIĆ, I. in PUŠIĆ, T. Čiščenje povijesnog tekstila. *Tekstil*, 2010, vol. 59 (1-2), str. 30–41.
10. BAUER, H., SCHIMMEL, G. in JÜRGENS, P. The evolution of detergent builders from phosphates to zeolites to silicates. *Tenside Surfactant Detergents*, 1999, vol. 34 (4), p. 225–229.
11. KISSA, E. Adsorption of particulate solids on textiles. *Textile Research Journal*, 1973, vol. 43(2), p. 86–95.

12. KISSA, E. Kinetics and mechanisms of detergency Part III: Effect of soiling conditions on particulate soil detergency. *Textile Research Journal*, 1979, vol. 49 (7), p. 384–389.
13. SMITH, S. in SHERMAN, P. O. Textile characteristics affecting the release of soil during laundering Part I: A review and theoretical consideration of the effects of fibre surface energy and fabric construction on soil release. *Textile Research Journal*, 1969, vol. 39 (5), p. 441–449.
14. SMITH, S. in SHERMAN, P. O. Textile characteristics affecting the release of soil during laundering Part II: Fluorochemical soil-release textile finishes. *Textile Research Journal*, 1969, vol. 39 (5), p. 449–459.
15. KISSA, E. Kinetics and mechanisms of detergency Part II: Particulate soil. *Textile Research Journal*, 1978, vol. 48 (7), p. 395–399.
16. WEBB, J. J. in OBENDORF, S. K. Detergency study: Comparison of the distribution of natural residual soils after laundering with a variety of detergent products. *Textile Research Journal*, 1987, vol. 57 (11), p. 640–646.
17. CHI, Y. S. in OBENDORF, S. K. Effect of fiber substrates on appearance and removal of aged oily soils. *Journal of Surfactants and Detergents*, 2001, vol. 4 (1), p. 35–41.
18. LAITALA, K. in MOLLAN JENSEN, H. Cleaning effect of household laundry detergents at low temperatures. *Tenside Surfactants Detergents*, 2010, vol. 47(6), p. 413–420.
19. HLOCH, H. G. in BOHNEN, J. Sustainability in industrial laundering. *Tenside Surfactant Detergents*, 2009, vol. 46 (1), p. 48–52.
20. ALTENBAHER, B., ŠOSTAR TURK, S. in FIJAN, S. Ecological parameters and disinfection effect of low-temperature laundering in hospitals in Slovenia. *Journal of Cleaner Production*, 2011, vol. 19 (2-3), p. 253–258.
21. FIJAN, S., FIJAN, R. in ŠOSTAR-TURK, S. Implementing sustainable laundering procedures for textiles in a commercial laundry and thus decreasing wastewater burden. *Journal of Cleaner Production*, 2008, vol. 16 (12), p. 1258–1263.
22. LEE, A., SEO, M. H., YANG, S., KOH, J. in KIM, H. The effects of mechanical actions on washing efficiency. *Fibers and polymers*, 2008, vol. 9 (1), p. 101–106.
23. KISSA, E. Kinetics and mechanisms of detergency Part I: Liquid hydrophobic (Oily) soils. *Textile Research Journal*, 1974, vol. 45 (10), p. 736–741.
24. FIJAN, S., ŠOSTAR-TURK, S. in PUŠIČ, T. Primerjava primarnih učinkov pranja pri uporabi različnih postopkov pranja bolnišničnih tekstilij. *Tekstilec*, 2006, let. 49 (4-6), str. 72–80.
25. FIJAN, S., ŠOSTAR TURK S., NERAL, B. The Influence of Industrial Laundering of Hospital Textiles on the Properties of Cotton Fabrics. *Textile Research Journal*, 2007, vol. 77 (4), p. 247–255.
26. JEMO, D., SOLJAČIČ, I. in PUŠIČ, T. Investigation of detergents for washing historic textiles, V *5th International textile, clothing and design conference-Magic World of Textiles : Book of proceedings*. Editor in chief Zvonko Dragčević. Zagreb : Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2010, str. 324–329.
27. PUŠIČ, T., SOLJAČIČ, I., DEKANIČ, T. in GRGIČ, K. Soap nut shell – an alternative washing agent, V *41st International Symposium on Novelties in Textiles [and] 5th International Symposium on Novelties in Graphics [and] 45th International Congress IFKT: El. Knjiga*. Editors Barbara Simončič et al. Ljubljana : University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles, 2010, str. 432–437.
28. ILEC, E., SIMONČIČ, B. in HLADNIK, A. Evaluation of surfactant detergency using statistical analysis. *Textile Research Journal*, 2009, vol. 79 (4), p. 318–325.
29. *Tekstilije – Preskušanje barvne obstojnosti v Del C06: Barvna obstojnost proti gospodinjškemu in poklicnemu pranju (ISO 105-C06:1994) SIST EN ISO 105-C06:1999*, 5 str.
30. *Tekstilije – Preskušanje barvne obstojnosti – Del C06: Barvna obstojnost proti gospodinjškemu in poklicnemu pranju (ISO 105-C06:1994/Cor 1:2002) SIST EN ISO 105-C06:1999/AC:2009*.
31. MCDONALD, R. *Colour physics for industry. 2nd edition*. Bradford : Society of Dyers and Colourists, 1997, p. 202.
32. GOTOH, K. Evaluation of detergency using artificially soiled multifibre fabrics. *Journal of oleo science*, 2010, vol. 59 (9), p. 477–482.
33. CHI, Y. S. in OBENDORF, S. K. Aging of oily soils on textile materials: A literature review. *Journal of Surfactants and Detergents*, 1998, vol. 1 (3), p. 407–418.