

Vpliv zunanjih dejavnikov na kontaktno merjenje barve človeške kože

The Influence of External Factors on Contact Colour Measurement of the Human Skin

Izvirni znanstveni članek/Original Scientific Article

Prispelo/Received 03-2014 • Sprejeto/Accepted 05-2015

Izvleček

Človeška koža je kompleksen in nepredvidljiv organ, katerega barva se na področju znanosti objektivno vrednoti z uporabo barvne metrike. Na rezultate merjenja vplivajo številni dejavniki, ki še niso v celoti opredeljeni. Nekateri dejavniki neposredno določajo barvo kože, so odvisni od posameznika ter jih ne moremo nadzorovati. Poudarek raziskave pa je bil na drugi skupini dejavnikov, ki se nanašajo na pogoje merjenja in so spremenljivi in prilagodljivi. Tako je bil namen raziskave proučiti vpliv števila zaporednih meritev, izbora dela telesa, lokacije točke v določenem delu telesa, velikosti merilne odprtine ter temperature na barvo kože. Ocenjeni sta bili tudi primernost uporabljenih instrumentov in ponovljivost rezultatov merjenja v odvisnosti od števila zaporednih meritev ter izbrane velikosti merilne odprtine. Meritve so bile izvedene z dvema različnima refleksijskima spektrofotometroma, sodelovalo pa je skupaj šest prostovoljcev. V okviru meritev so bili omenjeni pogoji načrtno spreminjani, rezultati pa so bili podani v obliki refleksijskih spektrov, CIEL*a*b* koordinat, barvnih razlik ΔE^*_{ab} , sprememb svetlosti ΔL^* , sprememb nasičenosti ΔC^*_{ab} ter sprememb barvnega tona ΔH^*_{ab} v barvnem prostoru CIELAB. Vsi proučevani dejavniki so izkazali velik vpliv na rezultate merjenja barve kože. V raziskavi je bilo ugotovljeno, da za dobro ponovljivost rezultatov merjenja zadošča deset zaporednih meritev v eni točki. Odsvetovana je uporaba najmanjših merilnih odprtin, ker te ne omogočajo dovolj visoke ponovljivosti. Priporočena sta tudi natančno definiranje dela telesa in posameznih točk merjenja v odvisnosti od namena in vzdrževanje take temperature okolja, ki čim manj moti normalno temperaturo površine kože.

Ključne besede: človeška koža, barva kože, merjenje barve, spektrofotometrija, barvni prostor CIELAB

Abstract

Human skin is a complex and unpredictable organ. Its colour can be objectively evaluated by using the colour measurement methods. The results of the measurements are affected by many factors, the impacts of which are not fully defined as yet. Certain factors directly determining the colour of the skin are dependent upon the individual and cannot be controlled. The emphasis of the research was on the second group of factors that refer to the measurement conditions and are variable and adaptable. The aim of the research was to examine the impact of the number of consecutive measurements, the selection of a body part, location of the selected area within a specific part of the body, the size of the measuring aperture, and the temperature on skin colour. The appropriateness of the instruments and repeatability of the results were also assessed, depending on the number of consecutive measurements and the selected size of the measuring aperture. The measurements were performed using two different reflectance spectrophotometers with the participation of a total of 6 volunteers. Within the measurements, the above-mentioned conditions were gradually changed and the results were given in the form of reflection values, CIEL*a*b* coordinates, colour difference ΔE^*_{ab} , lightness difference ΔL^* , chroma difference ΔC^*_{ab} and hue

Korespondenčna avtorica/Corresponding author:

Izr. prof. dr. Sabina Bračko

Telefon: +386 1 200 32 38

E-pošta: sabina.bracko@ntf.uni-lj.si

Tekstilec, 2015, 58(2), 121–134

DOI: 10.14502/Tekstilec2015.58.121–134

difference ΔH^*_{ab} within the CIELAB colour space. All of the examined factors were proved to have major impacts on the results of the measurements of skin colour. The results showed that performing 10 successive measurements at one point is sufficient for good repeatability. In order to achieve high repeatability be advised against selecting a small measuring aperture. Specifically defining the part of the body and the individual points of measurement is recommended depending on the purpose of the measurement and maintaining such an ambient temperature so as to avoid hampering the normal temperature of the skin's surface.

Keywords: human skin, skin colour, colorimetry, spectrophotometry, CIELAB colour space

1 Uvod

Koža je največji organ človeškega telesa [1], katerega barva je lahko za potrebe vsakodnevnega sporazumevanja opisana na podlagi vizualnega opazovanja. Na področju znanosti in različnih strokovnih panog, kot so npr. tekstilstvo [2], medicina, kozmetologija [3] in forenzika [4], pa se morajo strokovnjaki posluževati merjenja barve.

Za barvo kože je odgovorna zunanja plast kože, imenovana epidermis, kjer se nahajajo celice melanociti. Te proizvajajo pigment melanin, najpomembnejši pigment, ko govorimo o barvi kože [1]. Količina melanina je odvisna predvsem od genetskih, zunanjih (npr. UV-sevanje) ter endokrinih (npr. nosečnost, staranje) dejavnikov. Več melanina ko ima posameznik, temnejša bo njegova koža, in nasprotno [5]. Na barvo kože vpliva tudi hemoglobin, pigment v rdečih krvničkih, ki prenaša kisik v krvi. Tako oksigenirana kri daje koži rdečkasto barvo. Pomanjkanje hemoglobina in/ali pomanjkanje rdečih krvničk se kaže kot bledost kože, deoksigeniran hemoglobin pa povzroči moder odtенок [6]. Določeni dejavniki (npr. pregrevanje telesa, nenadne čustvene spremembe, telesna aktivnost) povzročijo večji pretok krvi ter posledično tudi intenziteto rdečega obarvanja kože [7]. Ker ima hemoglobin šibkejši efekt obarvanja kože kot melanin, so omenjene spremembe vidne predvsem pri posameznikih s svetlejšo kožo. Najšibkejši pigmenti v koži, karoteni, so odgovorni za rumeno-oranžen odtенок kože, ta je bolj intenziven pri ljudeh, ki uživajo veliko s karoteni bogate hrane. Pri ljudeh s temno kožo pogosto prevlada učinek pigmenta melanina in vpliv karotenov sploh ni opazen [6]. Za barvo je zelo pomembna tudi debelina kože; tanjša koža omogoča presevanje žil in tako poveča učinek hemoglobina ter zmanjša učinek melanina na barvo kože. Debelina kože je odvisna še od spola, starosti, dela telesa, izpostavljenosti UV-žarkom, uživanja določenih zdravil, vsebnosti maščob itd. [8, 9]. Vnetje oziroma poškodba jeter lahko

povzroči kopičenje pigmenta bilirubina in posledično rumeno obarvanje kože [7]. S starostjo se število melanocitov zmanjšuje, vendar preostali melanociti postajajo večji. Starejša koža je tanjša, bolj bleda in bolj prosojna [10]. K barvi kože pripomorejo tudi navade posameznika oziroma njegov življenjski slog, tako na primer pri kadilcih opazimo rumeno obarvanje kože, to je posledica poškodb, ki jih toksini povzročajo kožni beljakovini elastinu [11].

Razvoj merjenja barve kože se je začel z uporabo barvnih kart v 19. stoletju [12, 13] in nato potekal prek uporabe tintometra v 3. desetletju prejšnjega stoletja, do dokončne uveljavitve spektrofotometra s projektom Edwardsa in Duntleyja leta 1939 [14]. Mednarodna komisija za razsvetljavo, CIE (International Commission on Illumination), danes deli metode merjenja barve človeške kože na kontaktne in nekontaktne [15]. Za kontaktne metode je značilno, da je izbrano območje kože v neposrednem stiku z instrumentom. Meritev se izvede z uporabo svetlobe, katere vir je vgrajen v merilni instrument. Med omenjene metode štejemo merjenje z refleksijskim spektrofotometrom, kolorimetrom in meksametrom [15, 16]. Med nekontaktne metode merjenja barve človeške kože spadata merjenje s spektroradiometrom [17] in merjenje z uporabo sistema s kamero. Obe metodi zahtevata okolje z nadzorovano osvetlitvijo [15].

V tekstilstvu je barva kože pomemben dejavnik, ki med drugim vpliva na izbiro barve oblačila. Hsiao in sodelavci so v svoji študiji predstavili računalniški sistem, ki na podlagi izmerjene barve kože izbere najustreznejšo barvo izbranega kosa oblačila [2]. Nekateri avtorji so se ukvarjali s problematiko sproščanja formaldehida iz apretirane tkanine [18]. Kratkotrajna izpostavljenost formaldehidu lahko namreč povzroči kožne izpuščaje [18], katerih dermatopatološke značilnosti lahko vrednotimo z merjenjem barve kože [19]. Urbas in sodelavci so v svoji študiji proučevali UV zaščitne lastnosti PET-vzorcev tekstila, kjer so med drugim vrednotili pojav rdečice na koži kot posledice izpostavitve UV-sevanju [20]. Sprememba

barve oziroma rdečica je lahko tudi posledica uporabe mehčalnih sredstev pri pranju tkanine. Ta vpliv so proučevali na atopični koži [21] in koži dojenčkov [22]. V eni izmed raziskav so Maekawa in sodelavci kolorimetrično določali vpliv tankega sloja tkanine na zaznavanje barve kože [23]. Zeng in Luo sta v svoji raziskavi proučevala preferenčno barvo polti na digitalnih fotografijah [24], kar je pomembno pri upodabljanju modnih oblačil v tiskanih medijih. Pri tem gre namreč največkrat za propagando in pomembna je čim bolj ustrezna barvna upodobitev – tako oblačil, kot tudi barve kože.

V večini obstoječih študij s področja merjenja barve kože so rezultati podani v CIEL*a*b* koordinatah barvnega prostora CIELAB. Koordinata a* je ustrezen parameter za opisovanje rdečice kože in volumna krvi v koži. Vrednosti L* in b* pa sta dobri podlagi za oceno stopnje pigmentacije, vendar samo, če je volumen krvi v koži enak na vseh testiranih območjih [3]. Na podlagi vizualnega zaznavanja lahko sicer do neke mere sklepamo o vrednostih CIEL*a*b*, vendar je pri tem potrebna pazljivost. To so dokazali Yoshikawa in sodelavci, ki so v raziskavi na pripadnicah ženskega spola japonske narodnosti ugotovili, da je bila na koži prostovoljk z na videz bolj belim obrazom v ozkem intervalu izmerjena nižja vrednost L*, čeprav bi pričakovali ravno nasprotno [25].

Pri merjenju barve kože ostaja še veliko odprtih vprašanj, ta so v večini primerov povezana z dejavniki, ki različno intenzivno vplivajo na rezultate meritev. Največ je takih, ki neposredno določajo barvni ton kože, so odvisni zgolj od posameznika in jih ne moremo nadzorovati (debelina kože, spol in starost osebe [8], zdravstveno [26] in čustveno [7] stanje, življenjski slog, vsebnost pigmentov v koži [11]). Druga skupina dejavnikov se nanaša na parametre merjenja, ki so spremenljivi in prilagodljivi. V literaturi se veliko omenja vpliv različnih dejavnikov in pomanjkanja standardizacije pogojev merjenja. Pred meritvami se je treba odločiti za enega od tipov merilnega instrumenta [27] in velikost uporabljene merilne odprtine [28]. Upoštevati je treba intenziteto pritiska, ki ga instrument povzroča na kožo. Le-ta namreč lahko vpliva na vaskularni sistem in posledično na rdečico kože [27]. Na rezultate vplivata tudi temperatura okolja oziroma kože in izbrani del telesa, na katerem izvajamo meritve [27]. Nekateri avtorji omenjajo predhodno obdelavo kože (npr. z alkoholom za razmastitev) [29], ki je tudi eden od dejavnikov, ki jih je treba definirati pred meritvami.

Čeprav avtorji številne dejavnike vpliva omenjajo kot problematične in variabilne, nismo zasledili raziskave, v kateri bi sistematično proučili intenzitete vpliva posameznih dejavnikov. Potrebo po poglobljenih raziskavah na tem področju zaznava tudi CIE, pri kateri je bil ustanovljen CIE TC 1-92, z enim od ciljev, da se razišče vzroke za nezanesljivost pri merjenju barve kože ter oblikujejo priporočila za zagotavljanje zanesljivih meritev [15]. Zato je bil namen naše raziskave proučiti vpliv števila zaporednih meritev, izbora dela telesa, lokacije točke v določenem delu telesa, velikosti merilne odprtine ter temperature na barvo kože. Želeli smo ugotoviti, kolikšen vpliv ima sprememba določenega pogoja na spremembo barve kože in kako se vpliv nekaterih dejavnikov odraža pri različnih osebah. Želeli smo tudi oceniti primernost izbranih merilnih instrumentov ter ponovljivost rezultatov merjenja v odvisnosti od števila zaporednih meritev ter izbrane velikosti merilne odprtine. Cilj raziskave je bil prispevati svoj delež k reševanju problematike pri merjenju barve kože, določiti najustreznejše pogoje meritev ter postaviti smernice za nadaljnje delo.

Vpliv različnih dejavnikov smo analizirali na podlagi spektrofotometričnega vrednotenja barve kože po načrtnem spreminjanju določenih parametrov. Rezultate smo podajali v obliki refleksijskih vrednosti, koordinat CIEL*a*b*, barvnih razlik ΔE^*_{ab} , sprememb svetlosti ΔL^* , sprememb nasičenosti ΔC^*_{ab} ter sprememb barvnega tona ΔH^*_{ab} v barvnem prostoru CIELAB.

2 Materiali in metode

2.1 Oprema

V raziskavi smo uporabili dva spektrofotometra z različnimi karakteristikami – Eye-One (X-Rite, ZDA), v nadaljevanju i1, z mersko geometrijo 45/0 in Spectraflash SF600 (Datacolor International), v nadaljevanju SF600, z mersko geometrijo D/0. Za izračun podatkov CIEL*a*b* iz meritev, pridobljenih z i1, sta bila uporabljena 2° standardni barvnometrični opazovalec in standardna svetloba D65. Za izračun podatkov CIEL*a*b* iz meritev, pridobljenih s SF600, sta bila uporabljena 10° standardni barvnometrični opazovalec in standardna svetloba D65, zrcalna komponenta vključena, uporabljene pa so bile merilne odprtine različnih premerov (3 mm, 6,6 mm, 9 mm, 20 mm, 30 mm). Pri uporabi obeh

instrumentov je šlo za kontaktni način merjenja barve kože. Pri ugotavljanju vpliva temperature smo uporabili termoregulacijsko vodno kopel EcoLine 025 (Lauda, Nemčija).

2.2 Testne osebe in priprava kože

V raziskavi je sodelovalo skupaj šest oseb ženskega spola, bele rase, v starosti 21 (± 1) let. Koža merjenih mest pred meritvami ni bila dodatno obdelana.

2.3 Ugotavljanje vpliva števila zaporednih meritev na ponovljivost in izmerjeno barvo kože

Ponovljivost merjenja je bila ocenjena skladno z metodo za določanje kratkoročne ponovljivosti spektrofotometra. Izvedli smo določeno število zaporednih meritev vrednosti CIEL*a*b*, ne da bi pri tem merjeni del telesa premaknili ali ga odmaknili od merilne odprtine instrumenta. Povprečje izmerjenih vrednosti smo upoštevali kot standard, glede na katerega smo nato za vsako posamezno meritev izračunali barvno razliko po osnovni enačbi CIELAB za izračun barvnih razlik (enačba 1). Kot merilo za ponovljivost merjenja smo vzeli povprečje omenjenih barvnih razlik in največjo od posameznih barvnih razlik. Večja ko je povprečna barvna razlika, bolj so rezultati posameznih meritev razpršeni in tem slabša je ponovljivost merjenja. Velika maksimalna barvna razlika med rezultati posameznih meritev in povprečjem (L^* , a^* , b^*) izmerjenih barv je tudi indikator slabše ponovljivosti merjenja.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}, \quad (1)$$

Ponovljivost meritev smo v prvi fazi proučevali z uporabo spektrofotometra SF600. Primerjali smo rezultate povprečne barvne razlike in največje barvne razlike za 10 oziroma 20 zaporednih meritev na notranji strani podlakti ene osebe pri uporabi različnih velikosti merilnih odprtin (3 mm, 6,6 mm, 9 mm, 20 mm, 30 mm). V nadaljevanju smo rezultate primerjali še s povprečno barvno razliko in največjo barvno razliko 10 zaporednih meritev na notranji strani podlakti ene osebe, izvedenih s spektrofotometrom i1, ki ima stalno velikost merilne odprtine 4 mm.

Vpliv števila meritev na izmerjeno barvo kože smo proučili s primerjavo komponent CIEL*a*b* izmerjenih točk za 10 in 20 zaporednih meritev, izvedenih s spektrofotometrom SF600. Pri tem smo uporabili različne velikosti merilnih odprtin (3 mm, 6,6 mm, 9 mm, 20 mm, 30 mm).

2.4 Ugotavljanje vpliva velikosti merilne odprtine na ponovljivost meritev in izmerjeno barvo kože

Vpliv velikosti merilne odprtine na ponovljivost meritev in izmerjeno barvo kože je bil proučevan z uporabo spektrofotometra SF600, ki omogoča uporabo petih različno velikih merilnih odprtin: 3 mm, 6,6 mm, 9 mm, 20 mm in 30 mm. Z vsako merilno odprtino smo izvedli 10 zaporednih meritev na notranji strani podlakti ene osebe in primerjali ponovljivost meritev ter koordinate CIEL*a*b* izmerjenih mest. Meritve smo izvedli pri sobni temperaturi.

2.5 Ugotavljanje vpliva dela telesa na barvo kože

Vpliv dela telesa na barvo kože smo proučevali z uporabo spektrofotometra i1. V analizo smo vključili celotno območje roke ene osebe, na katerem smo na naključnih točkah posameznih predelov izvedli 10 zaporednih meritev in primerjali povprečne vrednosti refleksij ter vrednosti CIEL*a*b* le-teh.

2.6 Ugotavljanje vpliva lokacije merilnega mesta na določenem delu telesa

Raznolikost barve na določenem delu telesa je bila proučevana na notranji strani podlakti petih oseb. Meritve so se izvajale s spektrofotometrom SF600 pri stalni velikosti merilne odprtine 20 mm. Izvedli smo 10 zaporednih meritev v treh različnih točkah notranje strani podlakti (skrajno pri zapestju, skrajno pod komolcem in na sredini), primerjali vrednosti CIEL*a*b* posameznih meritev ter na podlagi teh izračunali barvne razlike z uporabo osnovne enačbe CIELAB za izračun barvnih razlik (enačba 1).

2.7 Ugotavljanje vpliva temperature

Pri proučevanju vpliva spremembe temperature kože na barvo le-te smo uporabili spektrofotometer i1 in termoregulacijsko vodno kopel EcoLine 025 (Lauda, Nemčija). Meritve so se izvajale na stalni točki notranje strani podlakti. Najprej smo s poskusom na eni osebi določili ustrezen čas termostatiranja. Pri temperaturah 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C in 40 °C smo roko testirane osebe do komolca potopili v vodno kopel za različno dolge časovne intervale: 1 min, 2 min, 3 min in 5 min. Na podlagi tega smo določili ustrezen časovni interval termostatiranja, ki je bil 2 min. Naprej so se izvajale meritve na šestih testnih osebah. Pri naštetih temperaturah smo roko posamezne testne osebe potopili v vodno kopel za 2 minuti,

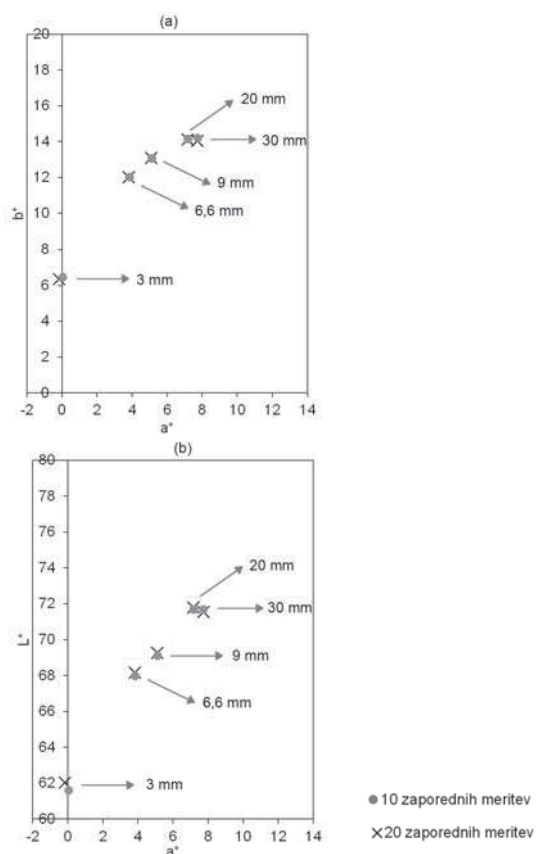
testno mesto rahlo posušili s papirnati brisačami ter izvedli 10 zaporednih meritev v isti točki. Analizirali smo povprečne vrednosti CIEL*a*b* v odvisnosti od temperature in z uporabo osnovne enačbe CIE-LAB za izračun barvnih razlik (enačba 1) izračunali barvne razlike pri posameznih temperaturah glede na stanje po termostataranju pri 35 °C. Prav tako smo za določene temperature podali spremembe svetlosti, nasičenosti in barvnega tona v primerjavi s stanjem po termostataranju pri 35 °C.

3 Rezultati z razpravo

3.1 Vpliv števila zaporednih meritev in vpliv velikosti merilne odprtine na ponovljivost meritev in izmerjeno barvo kože

V preglednici 1 so s povprečno barvno razliko ΔE^*_{ab} in največjo barvno razliko ΔE^*_{ab} predstavljeni raztrosi rezultatov meritev, izvedeni s spektrofotometrom SF600 in i1, ki smo jih upoštevali pri določanju vpliva števila zaporednih meritev in velikosti merilne odprtine na ponovljivost merjenja. Na sliki 1 so z diagramoma v ravninah a*b* in a*L* barvnega prostora CIELAB prikazane povprečne barve merjenih mest v odvisnosti od števila zaporednih meritev in velikosti merilne odprtine.

Koža ima nehomogeno površino, zato je za zagotavljanje točnosti meritev potrebno večje število zaporednih meritev. Optimalno število ponovitev mora biti dovolj veliko za zagotavljanje zanesljivega rezultata in hkrati dovolj majhno, saj večje število meritev zahteva daljši čas merjenja v eni točki, v katerem lahko pride do določenih neželenih vplivov (npr. distrakcije, delovanje živčnega sistema itd.). Primerjali smo povprečne oziroma največje barvne razlike



Slika 1: Povprečne barve rezultatov merjenja barve kože, predstavljene v (a) ravnini a*b* in (b) ravnini a*L* barvnega prostora CIELAB pri uporabi merilnih odprtin različnih velikosti po 10 in 20 zaporednih ponovitvah meritev

Figure 1: Average colours of the results of the skin colour measurements, shown in the (a) a*b* and (b) a*L* plane of the CIELAB colour space, by using different sizes of measuring apertures, after 10 and 20 consecutive measurements

Preglednica 1: Povprečna in največja barvna razlika (ΔE^*_{ab}) za 10 in 20 zaporednih meritev, instrumenta: SF600 ter i1; velikost merilne odprtine: 3 mm, 6,6 mm, 9 mm, 20 mm ali 30 mm (SF600) ter 4 mm (i1)

Table 1: Average and maximum colour difference (ΔE^*_{ab}) after 10 and 20 consecutive measurements, instruments: SF600 and i1; the sizes of the measuring apertures: 3, 6.6, 9, 20 or 30mm (SF600) and 4mm (i1)

Instrument	Velikost merilne odprtine (mm)	10 meritev, povprečna ΔE^*_{ab}	10 meritev, največja ΔE^*_{ab}	20 meritev, povprečna ΔE^*_{ab}	20 meritev, največja ΔE^*_{ab}
SF600	3	0,58	1,26	0,58	1,42
	6,6	0,20	0,34	0,27	0,59
	9	0,26	0,50	0,30	0,63
	20	0,24	0,45	0,24	0,52
	30	0,29	0,46	0,32	0,61
i1	4	0,12	0,29		

za 10 in 20 zaporednih meritev. Iz preglednice 1 je razvidno, da se po 20 zaporednih meritvah pri merilnih odprtinah vseh velikosti pojavi večje odstopanje ΔE^*_{ab} , kar pomeni manjšo ponovljivost meritev. Čas izvajanja 20 meritev je bil očitno predolg, več možnosti je bilo za vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov, ki so negativno vplivali na konstantnost meritev. Če želimo doseči dobro ponovljivost meritev, zadošča le 10 zaporednih meritev, povečevanje števila ponovitev je nesmiselno. Na samo izmerjeno barvo kože število zaporednih meritev ni bistveno vplivalo, kar je razvidno iz slike 1. Povprečne barvne vrednosti 10 in 20 zaporednih meritev v isti točki se skoraj niso razlikovale, kar pomeni, da je bila izmerjena barva približno enaka. Na podlagi ugotovljenega smo tako v vseh nadaljnjih postopkih vedno izvedli 10 zaporednih meritev.

Če analiziramo vpliv velikosti merilne odprtine na ponovljivost 10 zaporednih meritev, izvedenih s SF600, je iz preglednice 1 razvidno, da je le-ta najboljša pri uporabi merilne odprtine v velikosti 6,6 mm. Primerljivo ponovljivost je zagotovila tudi uporaba odprtin, s premerom 9, 20 in 30 mm. Najslabšo ponovljivost smo dosegli z uporabo merilne odprtine 3 mm, saj je pri zelo majhnem področju merjenja povprečna barvna vrednost podana na podlagi meritev v manj točkah. Tudi morebitne spremembe stanja kože med izvajanjem meritev pomenijo večji delež spremenjene površine glede na celotno površino in tako hitro zmotijo meritev ter povzročijo odstopanje. Kot je razvidno iz preglednice 1, je visoko ponovljivost izkazal tudi spektrofotometer i1 s stalnim premerom merilne odprtine 4 mm. Rezultati, dobljeni s tem instrumentom, dosegajo celo boljše ponovljivost kot pri uporabi spektrofotometra SF600. Neposredno primerjavo omejuje dejstvo, da gre za dva povsem različna instrumenta. Poleg tega, da imata instrumenta različni merski geometriji, je spektrofotometer i1 prenosni instrument, medtem ko je spektrofotometer SF600 stacionarni instrument, in temu je treba prilagoditi preiskovano površino. Tako sta se pri obeh instrumentih razlikovala položaja preiskovanega dela telesa, v tem primeru roke. Če želimo zagotoviti čim višjo ponovljivost meritev, na podlagi naših meritev odsvetujemo uporabo najmanjše merilne odprtine.

Ker smo se posluževali kontaktnih metod merjenja barve kože, je med merjenjem na kožo deloval določen pritisk. Pri SF600 je bil ta pritisk zaradi narave instrumenta relativno stalen, pri i1 pa odvisen od

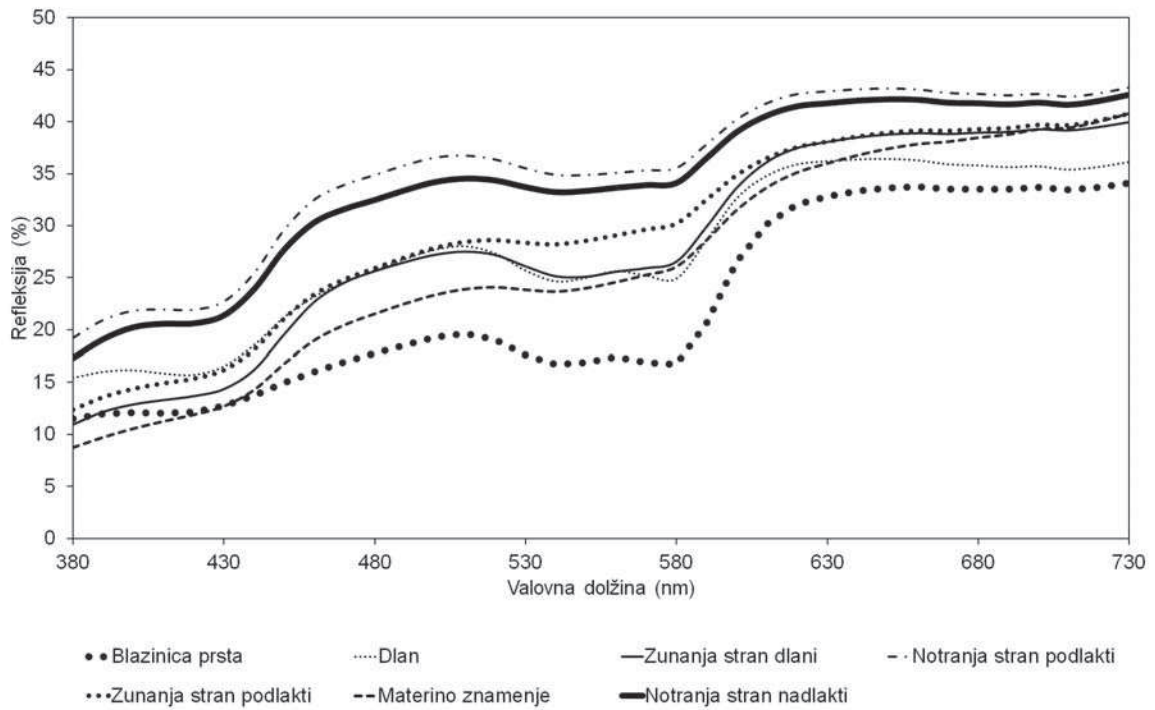
sile, s katero je izvajalec meritev deloval na preiskovano mesto. Fizični kontakt med instrumentom in kožo naj bi zaradi rahle venske kongestije povečal vrednosti a^* ter zmanjšal vrednosti L^* , nekateri avtorji pa podajajo ravno nasprotno rezultate, ki so verjetno posledica razlik v intenziteti pritiska [27]. Dejstvo je, da lahko pritisk, ki ga na koži ustvari instrument, vpliva na izmerjeno barvo kože in posledično na ponovljivost rezultatov. Da bi se izognili vplivu tega pojava, CIE priporoča proučevanje ponovljivosti uporabljenih instrumentov [15], kar smo v raziskavi tudi storili in ustrezno ponovljivost zagotovili z izvajanjem primerne števila ponovitev in izogibanjem najmanjšim merilnim odprtina.

Velikost merilne odprtine močno vpliva tudi na samo izmerjeno barvo kože, kar je razvidno iz slike 1. Točke merjenja z različnimi merilnimi odprtina sicer zaradi narave instrumenta nismo mogli docela poenotiti, vendar pa je bilo merjeno območje vseeno zelo ozko, zato lahko razlike v barvnih vrednostih pripišemo vplivu velikosti merilne odprtine. Upoštevati je treba tudi že omenjen vpliv pritiska, s katerim je instrument deloval na kožo. Pri najmanjši velikosti merilne odprtine (3 mm) je imela izmerjena barva vse posamezne vrednosti CIEL*a*b* najnižje, z večanjem velikosti merilne odprtine do 20 mm pa so vse tri vrednosti naraščale. Merjenje z merilno odprtino v velikosti 30 mm je podalo podobne vrednosti kot pri 20 mm odprtini, rahlo je bila višja le vrednost komponente a^* . Naši rezultati so v skladu z ugotovitvami nekaterih avtorjev, ki navajajo, da se pri uporabi manjših merilnih odprtin rezultati barvnih vrednosti premaknejo proti krajšim valovnim dolžinam, saj se svetloba daljših valovnih dolžin odbije zunaj merilne odprtine [28]. Ti avtorji svetujejo uporabo čim večje merilne odprtine [30, 28].

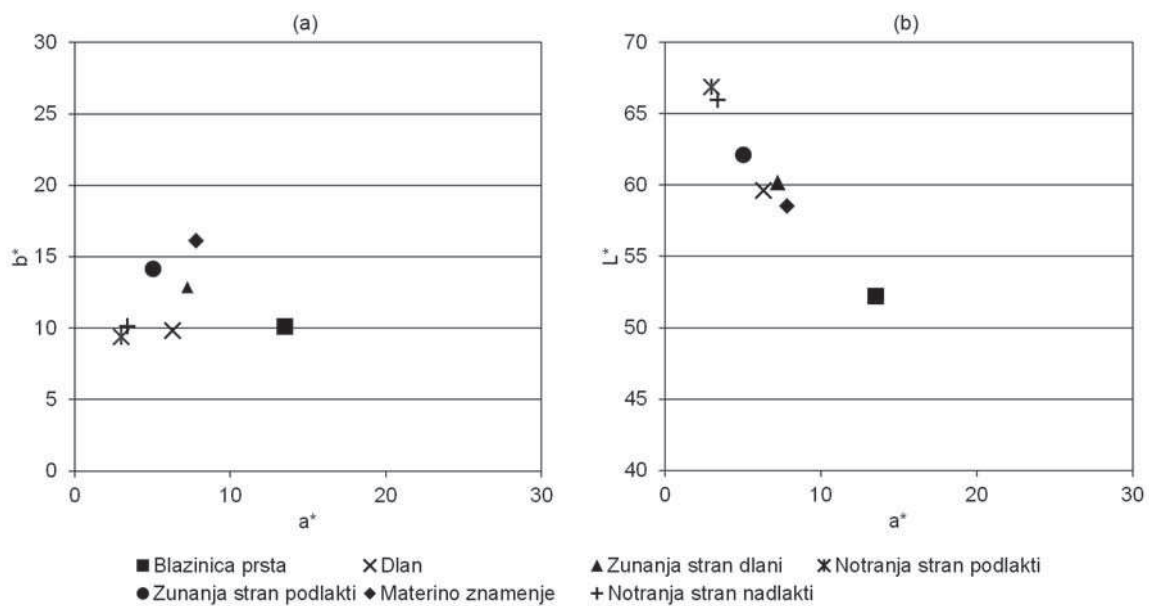
3.2 Vpliv dela telesa na barvo kože

Na sliki 2 je prikazana primerjava refleksijskih spektrov, ki so rezultat meritev barve kože v naključnih točkah različnih delov telesa ene osebe na območju roke. Na sliki 3 so prikazane barve merjenih območij v ravnini a^*b^* oziroma a^*L^* barvnega prostora CIELAB.

Iz slike 2 je razvidno, da so oblike refleksijskih spektrov v točkah na različnih predelih roke precej podobne, iz česar lahko sklepamo, da je barvni ton kože bolj ali manj stalen. To potrjuje tudi slika 3a, iz katere lahko razberemo podobno vrednost barvnega



Slika 2: Refleksijski spektri različnih delov telesa v predelu roke
 Figure 2: Reflection spectra from different parts of the body within the arm area



Slika 3: Prikaz barve kože z različnih delov roke v (a) ravnini a^*b^* in (b) ravnini a^*L^* barvnega prostora CIELAB
 Figure 3: Display of the skin colours from different parts of the arm area in the (a) a^*b^* and (b) a^*L^* plane of the CIELAB colour space

kota za šest od sedmih merjenih točk, le pri eni točki je opaziti odstopanje. Refleksijske krivulje se razlikujejo v položaju glede na navpično os, kar nakazuje relativno širok spekter svetlosti oziroma temnosti posameznih barv. Najtemnejše območje med merjenimi je bila blazinica prsta, ta del je glede na barvne vrednosti odstopal tudi na slikah 3a in 3b. Najsvetlejše območje je bila notranja stran podlakti. Merili smo tudi območje materinega znamenja, kjer je povečana vsebnost pigmenta melanina. To območje glede na svetlost ni kazalo večjih odstopanj, smo pa na tem mestu izmerili najvišjo vrednost b^* . Rezultati torej dokazujejo, da pigment melanin ni edini dejavnik, ki vpliva na barvo nekega predela kože. To potrjujejo tudi rezultati študije, kjer so proučevali odvisnost vsebnosti melanina od dela telesa in so dokazali najmanjšo vrednost melanina na dlani [31]. Če bi bila temnost odvisna le od melanina, bi bila dlan najsvetlejša, vendar je iz slik 2 in 3b razvidno, da ni tako. Poleg melanina vplivajo na barvo kože še drugi dejavniki, kot je npr. rdečica kože oziroma vsebnost hemoglobina, ki tudi močno variira med različnimi deli telesa [32]. Zaradi variriranja vsebnosti hemoglobina in melanina med deli telesa, različne intenzitete izpostavljenosti soncu, jakosti poraščenosti ter debeline kože na različnih delih telesa in še številnih drugih dejavnikov, je razumljivo, da se barva kože na različnih delih telesa zelo razlikuje. Zato je treba pred meritvami natančno definirati namen in cilje meritev, poznati lastnosti posameznih delov telesa in v skladu s temi podatki tako premišljeno izbrati del telesa za merjenje (npr. če je naš cilj izbrati ustrezen odtenek pudra, bomo meritve izvedli na obrazu). V raziskavi smo se osredotočili na notranjo stran podlakti, saj smo želeli proučiti vpliv nekaterih zunanjih dejavnikov pri merjenju barve kože, medtem ko smo želeli izločiti ali minimizirati druge (notranje) dejavnike, npr. poraščenost, ki je zelo majhna na notranji strani podlakti.

3.3 Vpliv lokacije merilnega mesta na določenem delu telesa

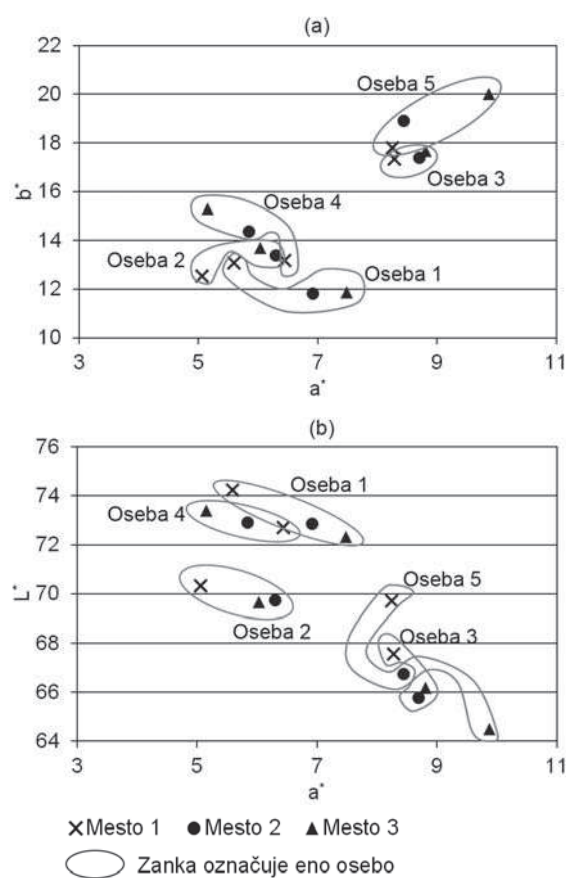
V preglednici 2 so prikazane barvne razlike med izmerjenimi barvami treh različnih mest na podlaktih petih oseb, na sliki 4 pa so prikazane izmerjene vrednosti barve kože omenjenih mest v ravninah a^*b^* in a^*L^* barvnega prostora CIELAB. Mesto, ki je najbližje zapestju, je označeno z »mesto 1«, med zapestjem in komolcem je »mesto 2«, najbližje komolcu pa je »mesto 3«. Za vsako osebo so

podane barvne razlike med mestoma 1 in 2 (ΔE^*_{ab12}), med mestoma 2 in 3 (ΔE^*_{ab23}) ter med mestoma 1 in 3 (ΔE^*_{ab13}) ter povprečna vrednost teh treh.

Preglednica 2: Barvne razlike med barvo treh različnih mest na podlakti petih oseb

Table 2: The colour differences between the colours of three different areas on the forearms of five people

Barvne razlike	Oseba				
	1	2	3	4	5
ΔE^*_{ab12}	2,29	1,61	1,84	1,34	3,16
ΔE^*_{ab23}	0,78	0,41	0,51	1,25	2,89
ΔE^*_{ab13}	2,94	1,65	1,52	2,57	5,89
povprečje ΔE^*_{ab}	2,00	1,22	1,29	1,72	3,98



*Slika 4: Prikaz barve kože treh mest podlakti petih oseb v (a) ravnini a^*b^* in (b) ravnini a^*L^* barvnega prostora CIELAB*

*Figure 4: Display of the skin colours of three forearm areas of five people in the (a) a^*b^* and (b) a^*L^* plane of the CIELAB colour space*

Na podlagi meritev smo želeli proučiti barvne razlike na enem delu telesa ter ugotoviti, kako se le-te razlikujejo med posamezniki. Pričakovati je bilo, da se bo pokazal vzorec velikosti barvnih razlik med mesti 1 in 2, 2 in 3 ter 1 in 3. Glede na to, da sta mesti 1 in 3 najbolj oddaljeni, smo pričakovali, da bo barvna razlika med njima največja. Iz preglednice 2 je razvidno, da se je to izkazalo za resnično pri štirih osebah, pri eni pa je bila barvna razlika med mestoma 1 in 2 večja od tiste med mestoma 1 in 3. Presemetljivo so razlike med mestoma 2 in 3 pri vseh osebah najmanjše v primerjavi z mestoma 1 in 2 ter 1 in 3. Razlog je najverjetneje izrazitejše presevanje krvnih žil skozi kožo, ki je bliže zapestju. Posledično je barvno odstopanje večje, kot so večje tudi barvne razlike med paroma mest, od katerih se eno nahaja na zapestju.

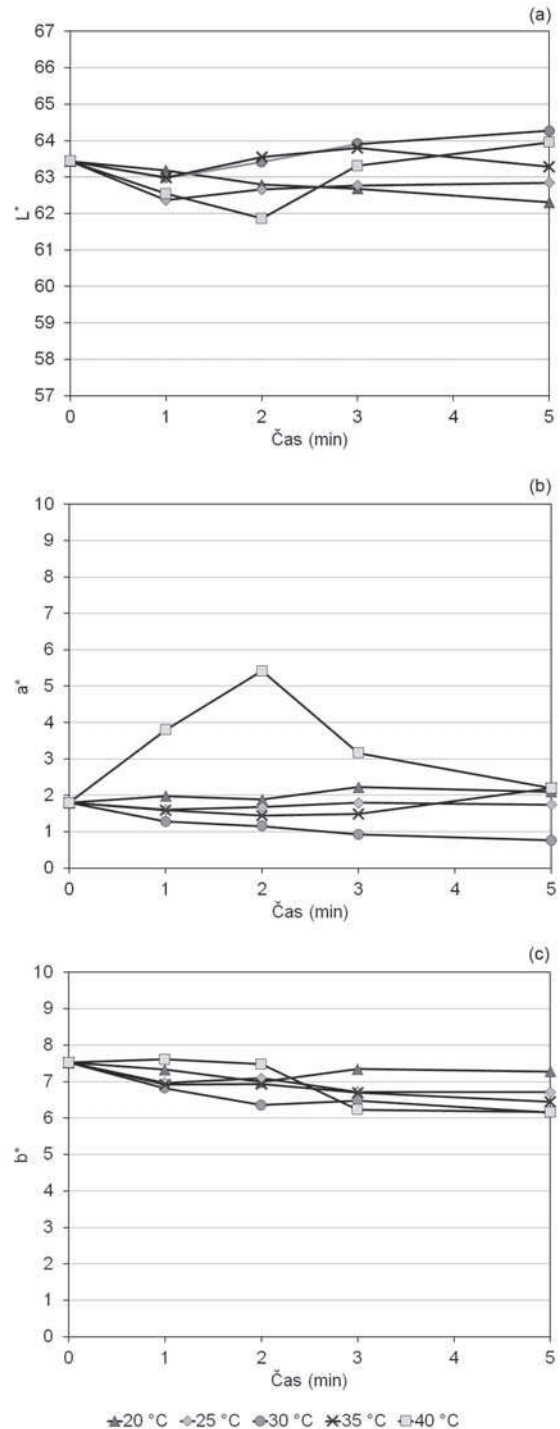
Povprečna vrednost barvnih razlik vseh mogočih parov treh mest je bila pri štirih ljudeh v okviru 1,2 do 2,0, pri čemer gre za relativno majhne barvne razlike, sploh v primerjavi z barvnimi razlikami zaporednih meritev v eni točki, ki znašajo med 0,2 in 1,5 (preglednica 1, SF600). Vendar je treba poudariti, da so v določenih primerih odstopanja v barvi različnih mest enega dela telesa pri eni osebi večja kot med različnimi osebami (slika 4).

Iz rezultatov je razvidno, da definiranje posameznega dela telesa ne zadošča, natančno je treba opredeliti tudi točko merjenja na nekem območju. Pri tem imajo že majhne razdalje velik pomen, saj se lahko pojavljajo krvne žile, dlake, pigmentna znamenja in drugi elementi, ki močno spremenijo barvo in povzročijo velike barvne razlike, ki bi bile lahko zmotno pripisane nekim kožnim spremembam, v resnici bi šlo zgolj za nenatančno izbiro mesta meritve. Dvomljive so tudi primerjalne meritve med osebami, težko je namreč definirati neko točko na delu telesa za vsako osebo tako, da bodo rezultati izvedenih meritev primerljivi med seboj. Zato tukaj predlagamo še nadaljnje raziskave in postavitev natančnih smernic, ki bi omogočile poenotenje pogojev meritev glede na namen raziskave.

3.4 Vpliv temperature na barvo kože

Na sliki 5 so prikazane odvisnosti merjenih vrednosti CIEL*a*b* preiskovanega mesta na podlakti od časa izpostavitve vodni kopeli pri določeni temperaturi.

Tako smo želeli določiti primeren čas izpostavitve kože vodni kopeli za nadaljnje raziskave. Zanimalo



Slika 5: Vrednosti (a) L^* , (b) a^* in (c) b^* v odvisnosti od časa izpostavitve kože vodni kopeli določene temperature

Figure 5: The (a) L^* , (b) a^* and (c) b^* values as a function of time of exposure of the skin to the water bath with a specific temperature

nas je, kako se vrednosti CIEL*a*b* spreminjajo v odvisnosti časa izpostavitve (1–5 minut) pri določeni temperaturi. Najkrajši čas izpostavitve, tj. 1 minuta, se je izkazal za prekratkega, saj še ne vpliva na barvo kože v dovolj veliki meri, da bi lahko govorili o vplivu temperature na barvo kože. Najzanimivejše dogajanje opazimo med časi izpostavitve 2 in 3 min, ko se mehanizmi v telesu začnejo intenzivno odzivati na dražljaj spremenjene temperature. Posledično je tudi sprememba barve v tem območju najizrazitejša. Pri časih izpostavitve nad 3 min se dogajanje v koži zopet umiri, saj se organizem v tem času že ustrezno prilagodi spremenjeni temperaturi okolja. Barva kože se začne stabilizirati in če bi merili tudi pri daljših časih izpostavitve (npr. do 20 min), pričakujemo, da bi se vrednosti CIEL*a*b* pri določenem času ustalile in se ne bi več spreminjale. Če bi bil čas izpostavitve pri naši raziskavi predolg, bi se s tem do neke mere znižala intenziteta vpliva temperature na barvo kože, kar pa ni bilo v skladu z našim namenom. Zato smo izbrali čas izpostavitve 2 minuti, saj je v tem območju sprememba barve najbolj intenzivna in vpliv temperature največji. To nam je

omogočilo lažje proučevanje vpliva temperature na barvo kože.

Ko smo določili ustrezen časovni interval izpostavitve (2 minuti) vodni kopeli določene temperature, smo na šestih osebah proučili vpliv temperature kože na izmerjeno barvo le-te. Na sliki 6 so prikazane odvisnosti vrednosti CIEL*a*b* od temperature, v preglednici 3 pa barvne razlike ΔE^*_{ab} in razlike v svetlosti (ΔL^*), nasičenosti (ΔC^*_{ab}) in barvnem tonu (ΔH^*_{ab}) za posamezne temperature v primerjavi s stanjem po termostatiranju pri 35 °C.

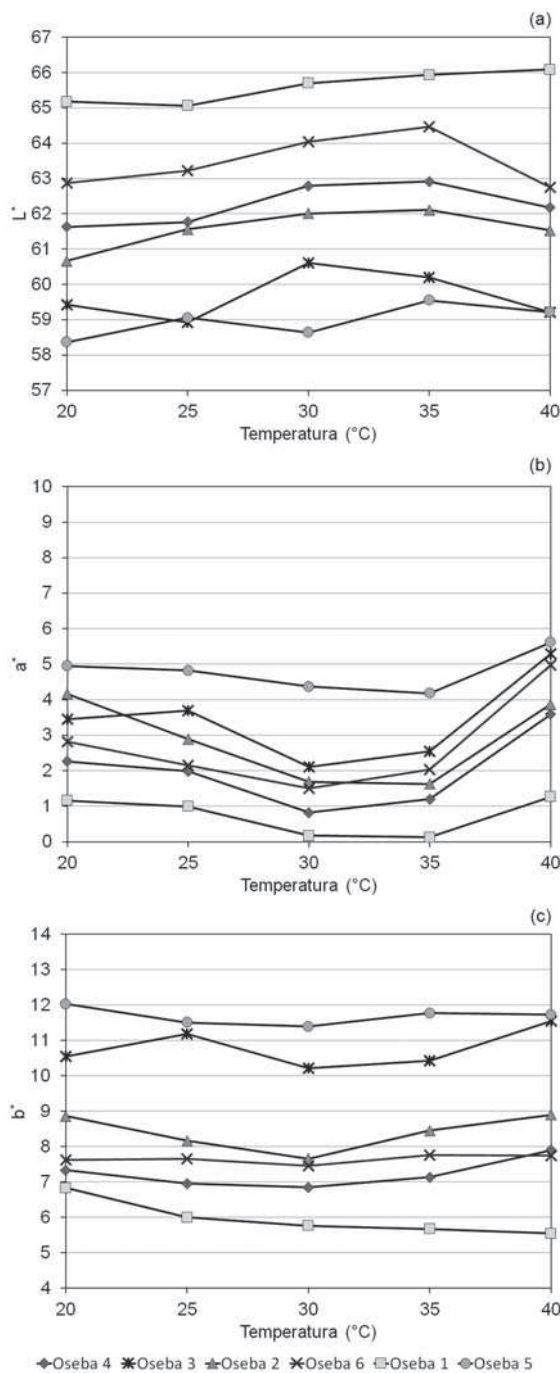
Kot je razvidno iz slike 6a, sprememba temperature na svetlost kože vpliva različno močno pri različnih posameznikih. V skupini šestih oseb je opaziti podobne spremembe vrednosti L^* pri štirih osebah. V tem primeru krivulja L^* doseže vrh pri 30 °C oziroma 35 °C. Tu je bila torej koža najsvetlejša. Temperatura površine človeške kože znaša med 32 in 35 °C pri oblečenem človeku, v okolju s temperaturo 15–20 °C [33], in na podlagi tega bi lahko glede na omenjene štiri osebe rekli, da je koža najsvetlejša pri »normalnih« razmerah, torej ko je temperatura vodne kopeli podobna temperaturi površine

*Preglednica 3: Sprememba barve kože (ΔE^*_{ab}), sprememba svetlosti (ΔL^*), sprememba nasičenosti (ΔC^*_{ab}) in sprememba barvnega tona (ΔH^*_{ab}) v odvisnosti od temperature v primerjavi s stanjem po termostatiranju pri 35 °C*

*Table 3: Skin colour difference (ΔE^*_{ab}), lightness difference (ΔL^*), chroma difference (ΔC^*_{ab}) and hue difference (ΔH^*_{ab}), depending on the temperature, compared with the condition after thermostating at 35°C*

Temperatura (°C)	Barvne razlike	Oseba					
		1	2	3	4	5	6
20	ΔE^*_{ab}	1,73	2,95	1,19	1,67	1,43	1,78
	ΔL^*	-0,76	-1,44	-0,78	-1,28	-1,18	-1,60
	ΔC^*_{ab}	1,25	1,19	0,36	0,44	0,51	0,10
	ΔH^*_{ab}	0,92	2,28	0,82	0,98	0,63	0,77
25	ΔE^*_{ab}	1,28	1,41	1,87	1,4	0,85	1,26
	ΔL^*	-0,87	-0,55	-1,28	-1,15	-0,49	-1,25
	ΔC^*_{ab}	0,41	0,05	1,04	0,00	-0,02	-0,07
	ΔH^*_{ab}	0,84	1,30	0,88	0,80	0,69	0,14
30	ΔE^*_{ab}	0,26	0,80	0,63	0,49	1,01	0,73
	ΔL^*	-0,24	-0,10	0,40	-0,12	-0,91	-0,42
	ΔC^*_{ab}	0,09	-0,76	-0,30	-0,34	-0,29	-0,41
	ΔH^*_{ab}	0,04	0,23	0,38	0,33	0,33	0,43
40	ΔE^*_{ab}	1,16	2,36	3,12	2,61	1,47	3,41
	ΔL^*	0,15	-0,57	-0,99	-0,74	-0,33	-1,71
	ΔC^*_{ab}	0,01	1,10	1,97	1,44	0,50	1,19
	ΔH^*_{ab}	1,15	2,01	2,21	2,05	1,34	2,70

kože. Pri višjih in nižjih temperaturah, ki jih koža ni vajena, pride do sprememb v organizmu ter posledične spremembe barve in manjše svetlosti oz.



Slika 6: Vrednosti (a) L^* , (b) a^* in (c) b^* v odvisnosti od temperature za kožo podlakti šestih oseb

Figure 6: The (a) L^* , (b) a^* and (c) b^* values as a function of temperature for the skin of the forearms of six people

vrednosti L^* . Pri eni osebi je bilo opaziti omenjeni vrh pri 35 °C, vendar tudi še en vrh pri temperaturi 25 °C. Vzrok je verjetno v naključnih mehanizmih kože oz. kožnih struktur, ki niso v celoti odvisni od temperature okolja in segajo izven obsega proučevanja naše raziskave. Pri osebi št. 1 je prišlo do največje izjeme, saj ne moremo govoriti o vrhu, temveč zgolj o naraščanju vrednosti v intervalu 25–40 °C. Mogoča razlaga bi bila, da je bila med merjenjem telesna temperatura osebe nekoliko višja kot pri drugih in se je vrh zamaknil, ali pa splošna majhna občutljivost na visoke temperature, ki se med osebami razlikuje.

Na sliki 6b je prikazana odvisnost parametra a^* od temperature, ki izkazuje podoben vzorec pri vseh testnih osebah. Pri temperaturah 30 °C oziroma 35 °C so vrednosti najnižje, torej je rdečica pri »normalnih« razmerah najmanjša. Pri višjih in nižjih temperaturah od »normalne« se vrednost a^* poveča. Za rdečico pri visokih temperaturah je vzrok v razširitvi krvnih žil oz. vazodilataciji, ki predstavlja odziv telesa na povišano temperaturo, da uravna telesno toploto [34]. Pri nizkih temperaturah pride do krčenja krvnih žil oz. vazokonstrikcije, vendar nenadna ohladitev tkiv sproži motnje v prevodnosti živčevja, kar ima zopet za posledico vazodilatacijo [35] in posledično rdečico.

Kot je razvidno iz slike 6c, na vrednost b^* sprememba temperature ne vpliva bistveno oziroma iz rezultatov ne moremo posplošiti nekega vzorca sprememb. Rahlo izstopa le krivulja osebe št. 3, ki pa je bila posebnost tudi pri parametrih a^* in L^* , iz česar sklepamo, da so ta odstopanja posledica nekaterih individualnih lastnosti, morda v povezavi z zdravjem, kožo, občutljivosti na spremembo temperature itd. Na podlagi meritev parametrov $CIE L^*a^*b^*$ pri različnih temperaturah lahko sklepamo, da na meritve oziroma določanje barve kože pomembno vpliva tudi temperatura. Zato je treba pri merjenju natančno definirati temperaturo okolja ter zagotoviti stalne razmere skozi celoten postopek meritev.

V preglednici 3 so navedene vrednosti barvnih razlik ΔE^*_{ab} , spremembe svetlosti ΔL^* , nasičenosti ΔC^*_{ab} ter barvnega tona ΔH^*_{ab} v odvisnosti od temperature glede na stanje po termostatiranju pri 35 °C. Razvidno je, da so barvne razlike največje pri temperaturah 20 °C in 40 °C. Ti dve vrednosti pomenita največje odstopanje od normalne temperature površine kože, zato se telo nanju intenzivno odzove, kar ima za posledico spremembo barve kože.

Temperatura 25 °C pomeni že manj izrazito odstopanje od normalnih razmer, zato so barvne razlike tu manjše. Najbližje normalni temperaturi kože je temperatura 30 °C, ki ne sproži pretiranega odziva v telesu in so zato barvne razlike pri tej temperaturi najmanjše. Na podlagi naših meritev lahko sklepamo, da se sprememba barve kože, ki je posledica spremenjene temperature okolja, pri temperaturah, ki so nižje od običajne telesne temperature, odraža pretežno kot sprememba svetlosti. V večini primerov je vrednost ΔL^* negativna, torej postane koža rahlo temnejša. Drugačen trend je opaziti pri temperaturi 40 °C, kjer se barvna razlika odraža pretežno kot sprememba v barvnem tonu kože.

Na podlagi rezultatov svetujemo temperaturo okolja, ki čim manj moti normalno temperaturo površine kože.

4 Sklepi

Iz rezultatov raziskave je razvidno, da sta spektrofotometra Spectraflash SF600 in Eye-One ustrezna za merjenje barve kože. Izmerjene vrednosti CIEL*a*b* se gibljejo v podobnem območju kot v predhodno izvedenih študijah, instrumenta pa sta (z izjemo merjenja z najmanjšo merilno odprtino na SF600) izkazala ustrezno ponovljivost rezultatov merjenja ter veliko mero občutljivosti na spremembe izbranih dejavnikov.

Število zaporednih meritev v eni točki ne vpliva bistveno na izmerjeno barvo kože. Pri proučevanju ponovljivosti meritev pa smo ugotovili, da izvajanje 10 zaporednih meritev v eni točki zadošča za dobro ponovljivost. Izvajanje več meritev ni smiselno, daljši čas merjenja namreč pomeni več možnosti za vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov, ki motijo ponovljivost meritev.

Velikost merilne odprtine instrumenta močno vpliva na izmerjeno barvo kože, zato je treba izbiro merilne odprtine poenotiti za namen celotne analize oziroma raziskave. Če je cilj proučevanja visoka ponovljivost rezultatov, odsvetujemo izbiro manjših merilnih odprtin.

Razlike med različnimi deli telesa, v našem primeru na območju roke, so velike, vendar je oblika refleksijskega spektra podobna v vseh točkah merjenja. Najtemnejši predeli so poleg melanina odvisni še od drugih dejavnikov. Pred merjenjem je treba glede

na namen ustrezno definirati del telesa, kjer se bodo meritve izvajale.

Barvne razlike med različnimi lokacijami točk na definiranem delu telesa, konkretno podlakti, so pri večini oseb majhne, vendar v določenih primerih vseeno večje od razlik med osebami. Zato je treba pred izvedbo meritev natančno definirati točko merjenja na določenem delu telesa.

Temperatura površine kože je povezana s temperaturo okolja, zato svetujemo tako temperaturo okolja, ki čim manj moti normalno temperaturo površine kože. Pri tej temperaturi je namreč koža najsvetlejša in najmanj rdeča (najvišja vrednost L^* in najnižja vrednost a^*). Komponenta b^* se v odvisnosti od temperature bistveno ne spreminja.

Pridobljene ugotovitve so lahko smernice za nadaljnje raziskave pri merjenju barve kože.

Viri

1. Skin problems & treatments health center [dostopno na daljavo], WebMD [citirano 15. 9. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.webmd.com/skin-problems-and-treatments/picture-of-the-skin>>.
2. HSIAO, Shih-Wen, CHIU, Fu-Yuan, HSU, Hsin-Yi. A computer-assisted colour selection system based on aesthetic measure for colour harmony and fuzzy logic theory. *COLOR research and application.*, 2008, **33**(5), 411–423, doi: 10.1002/col.20417.
3. TAKIWAKI, Hirosugu. Measurement of skin color : practical application and theoretical considerations. *The Journal of Medical Investigation*, 1998, **44**(3–4), 121–126.
4. SOMMERS, Marilyn S., FARGO, Jamison. D., BAKER, Rachel B., FISHER, Bonnie S, BUSCHUR, Carol, ZINK, Therese M. Health disparities in the forensic sexual assault examination related to skin color. *Journal of Forensic Nursing* 2009, **5**(4), 191–200, doi:10.1111/j.1939-3938.2009.01054.x.
5. COSTIN, Gertrude-E., HEARING, Vincent J. Human skin pigmentation: melanocytes modulate skin color in response to stress. *The FASEB Journal*, 2007, **21**(4), 976–994, doi: 10.1096/fj.06-6649rev.
6. The skin – Skin color [dostopno na daljavo], *The New International Standard Medical & Health Encyclopedia* [citirano 16. 9. 2014].

- Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.faqs.org/health-encyc/Skin-Hair-and-Teeth/The-Skin-Skin-color.html>>.
7. Skin color [dostopno na daljavo], *Physioweb* [citirano: 15. 9. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.physioweb.org/integumentary/skin_color.html>.
 8. AMIRLAK, Bardia. *Skin anatomy* [dostopno na daljavo]. Medscape, 2013 [citirano 15. 9. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://emedicine.medscape.com/article/1294744-overview>>.
 9. LOPEZ, Hector, BEER, Janusz Z., MILLER, Sharon A., ZMUDZKA, Barbara Z. Ultrasound measurements of skin thickness after UV exposure: a feasibility study. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2004, **73**(3), 123–132, doi: 10.1016/j.jphotobiol.2003.11.004.
 10. Aging changes in skin [dostopno na daljavo], *MedlinePlus: Trusted Health Information for You* [citirano 16. 9. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/004014.htm>>.
 11. HOWARD, Diana. *Structural changes associated with aging skin* [dostopno na daljavo], The International Dermal Institute [citirano 15. 9. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.dermalinstitute.com/us/library/11_article_Structural_Changes_Associated_with_Aging_Skin.html>.
 12. BROCA, Paul. *Instructions générales pour les recherches anthropologiques à faire sur le vivant*. Seconde édition, Paris, 1879, 289 p.
 13. JABLONSKI, Nina G. *Living Color: The Biological and Social Meaning of Skin Color*. Berkeley: University of California, 2012, p. 82.
 14. BUCKLEY, William, R., GRUM, Frank. The measurement of skin color, spectrophotometric technique. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, 1964, **5**, 79–85.
 15. Skin colour database [dostopno na daljavo], CIE, 2012, obnovljeno 5. 11. 2012 [citirano 16. 9. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://files.cie.co.at/699_Report%20for%20CIE%20R1-56.pdf>.
 16. PARK, Eun Sang, NA, Jung Im, KIM, Seon Ok, HUH, Chang Hun, YOUN, Sang Woong, PARK, Kyoung Chan. Application of a pigment measuring device – Mexameter® – for the differential diagnosis of vitiligo and nevus depigmentosus. *Skin Research and Technology*, 2006, **12**, 298–302.
 17. LAHTI, A., KOPOLA, H., HARILA, A. MYLLYLÄ, R., HANNUKSELA, M. Assessment of skin erythema by eye, laser Doppler flowmeter, spectroradiometer, two-channel erythema meter and Minolta chroma meter. *Archives of Dermatological Research*, 1993, **285**(5), 278–282.
 18. VONČINA, Bojana, MAJCEN, Nataša, MAJCEN LE MARECHAL, Alenka, BRODNJAK-VONČINA, Darinka, BEZEK, Dominika. Določanje prostega formaldehida na bombažnih tekstilnih substratih s pomočjo HPLC. *Tekstilec*, 2003, **46**(9/10), 269–273.
 19. AHN, Hyo-Hyun, KIM, Dai-Hyun, OH, Ga-Na, CHOI, Jae-Eun, KIM, Jong-Yeob, SEO, Soo-Hong, KYE, Young-Chul. The relationship between dermatopathologic features and the color of skin lesion in various rashes. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2013, **68**(4), AB90, doi: 10.1016/j.jaad.2012.12.372.
 20. URBAS, Raša, SLUGA, Franci, MILJKOVIĆ, Jovan, BARTENJEV, Igor. Comparison of in vitro and in vivo ultraviolet protective properties of PET textile samples. *Acta dermatovenerologica Alpina, Panonica et Adriatica*, 2012, **21**(1), 11–14.
 21. HERMANN, J. F., GOFFIN, V., ARRESE, J. E., RODRIGUEZ, C. PIÉRARD, G. E. Beneficial effects of softened fabrics on atopic skin. *Dermatology*, 2001, **202**(2), 167–170, doi: 10.1159/000051627.
 22. PIÉRARD, G. E., ARRESE, J. E., DOWLATI, A., DASKALEROS, P. A., RODRIGUEZ, C. Effects of softened and unsoftened fabrics on infant skin. *International Journal of Dermatology*, 1994, **33**(2), 138–141.
 23. MAEKAWA, Ikuko, GUNJI, Toshihiro, TSUBOI, Tsuneyo. How the human skin color is perceived through a thin fabric? *Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses*, 1983, **24**, 156–162, doi: 10.11419/senshoshi1960.24.156.
 24. ZENG, Huanzhao, LUO, Ronnier. Colour and tolerance of preferred skin colours on digital photographic images. *COLOR Research and Application*, 2013, **38**(1), 30–45, doi: 10.1002/col.20696.
 25. YOSHIKAWA, Hironobu, KIKUCHI, Kumiko, YAGUCHI, Hirohisa, MIZOKAMI, Yoko, TAKATA, Sadaki. Effect of chromatic components on facial skin whiteness. 284 COLOR research and application, 2012, **37**(4), 281–291, doi: 10.1002/col.20685.

26. Hyperpigmentation, hypopigmentation, and your skin [dostopno na daljavo], WebMD [citirano 15. 3. 2015]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.webmd.com/skin-problems-and-treatments/hyperpigmentation-hypopigmentation>>.
27. FULLERTON, A., FISCHER, T., LAHTI, A., WILHELM, K. P., TAKIWAKI, H., SERUP, J. Guidelines for measurement of skin colour and erythema. A report from the Standardization Group of the European Society of Contact Dermatitis. *Contact Dermatitis*, 1996, **35**(1), 1–10, doi: 10.1111/j.1600-0536.1996.tb02258.x.
28. TAKIWAKI, H., MIYAOKA, Y., SKREBOVA, N., KOHNO, H., ARASE, S. Skin reflectance-spectra and colour-value dependency on measuring-head aperture area in ordinary reflectance spectrophotometry and tristimulus colourimetry. *Skin Research and Technology*, 2002, **8**(2), 94–97, doi: 10.1034/j.1600-0846.2001.80206.x.
29. KALLA, A. K. Human skin colour, its genetics, variation and adaptation: a review. *Anthropologist*, 2007, posebna izdaja, (3), 209–214.
30. AGACHE, Piere in Humbert, Philippe., *Measuring the skin: non-invasive investigations, physiology, normal constants*. Springer, Berlin 2004, p. 36.
31. FIROOZ, Alireza, SADR, Bardia, BABAKO-OHI, Shahab, SARRAF-YAZDY, Maryam, FANIAN, Ferial, KAZEROUNI-TIMSAR, Ali, NASSIRI-KASHANI, Mansour, NAGHIZADEH, Mohammad Mehdi, DOWLATI, Yahya. Variation of biophysical parameters of the skin with age, gender, and body region. *Scientific World Journal*, 2012, **2012**, 1–5, doi: 10.1100/2012/386936.
32. THIBODEAU, Edward. A., D'AMBROSIO, Joseph. A. Measurement of lip and skin pigmentation using reflectance spectrophotometry. *European Journal of Oral Sciences*, 1997, **105**(4), 373–375, doi: 10.1111/j.1600-0722.1997.tb00255.x.
33. FREITAS, Robert A., Jr. Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities. Austin, TX: Landes Bioscience, 1999, 509 p.
34. Thermoregulation [dostopno na daljavo], Wikipedia, the free encyclopedia [citirano 19. 5. 2015]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation>>.
35. SHEPHERD, John T., RUSCH, Nancy, J., VAN-HOUTTE, Paul, M. Effect of cold on the blood vessel wall. *General Pharmacology: The Vascular System*, 1983, **14**(1), 61–64, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0306-3623\(83\)90064-2](http://dx.doi.org/10.1016/0306-3623(83)90064-2).