

Ovrednotenje merilne negotovosti v psihofizioloških meritvah

Nina Gržinič, Gregor Geršak

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: nina.grzinic@fe.uni-lj.si

Povzetek. Kadar obravnavamo psihofiziološke meritve, moramo pri teh poleg vseh vplivnih veličin in prispevkov negotovosti, ki vplivajo na meritev, upoštevati tudi dodatne negotovosti, povezane s psihofiziologijo merjene osebe. Na izmerjene vrednosti fizioloških spremenljivk lahko vpliva več dejavnikov, zaradi katerih meritve niso točne. Le z natančno analizo vseh negotovosti, ki nastopijo v merilnem procesu, in z analizo uporabljene opreme lahko pravilno ovrednotimo končni merilni rezultat, s tem pa omogočimo veljavnejše nadaljnje odločanje uporabnika meritev. Prispevek prek praktičnih primerov obravnava pomembnejše tipe negotovosti pri psihofizioloških meritvah in nakaže, da lahko tudi v kompleksnih, psihofizioloških merilnih procesih uporabljamo koncepte klasične metrologije.

Ključne besede: merilna negotovost, psihofiziološke meritve, biomedicinska in psihološka merilna instrumentacija

Evaluation of measurement uncertainty in the psychophysiological measurements

In addition to the influencing variables and contributions to uncertainties affecting the psychophysiological measurements, uncertainties related to psychophysiology of the measured person have also to be taken into account. The measured values of the physiological variables may be influenced by several factors affecting the accuracy of the measurements. By accurately analysing the uncertainties occurring in the measurement process as well as the used equipment, the final measurement results can be properly evaluated, thus enabling the measurements to be further used. In this paper, important types of the psychophysiological measurement uncertainties are presented through practical examples, suggesting that the concepts of the classical metrology can be used even in complex psychophysiological measurement processes.

1 UVOD

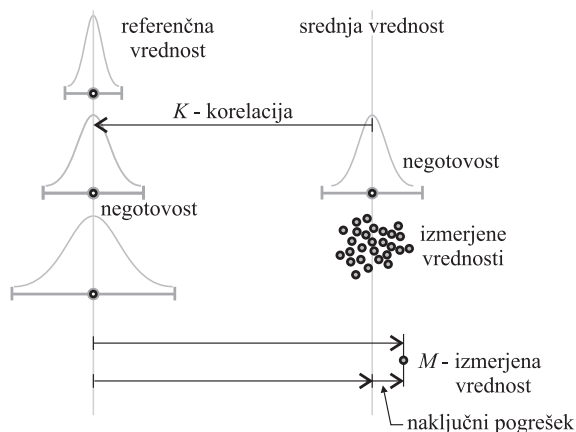
Merjeni fizikalni veličini nikoli ni mogoče enolično pripisati prave vrednosti. Zato uporabljamo koncept merilne negotovosti. Merilna negotovost je tisti podatek, ki nam poleg številske vrednosti merilnega rezultata pove, kako kakovostno smo ta rezultat izmerili. Merilna negotovost opisuje raztros izmerjenih vrednosti, ki jih lahko z določeno verjetnostjo pripišemo merjeni veličini. Kadar želimo izračunati merilno negotovost, moramo najprej poiskati vire negotovosti in nato oceniti vrednost posameznih vplivnih veličin, ki prispevajo k skupni negotovosti. Vrednotenje merilne negotovosti pri meritvah zahteva dobro poznavanje merilne opreme in postopka

merjenja. Posamezni prispevki k merilni negotovosti morajo biti izraženi v enaki obliki, imeti morajo enake enote in enako stopnjo zaupanja [1].

Pri fizioloških meritvah ima vlogo merjenja človek, merjene spremenljivke pa so npr. krvni tlak, srčni utrip, spremenljivost frekvence srčnega utripa, temperatura in električna prevodnost kože, frekvenca dihanja ipd. Za merjenje navedenih fizioloških spremenljivk uporabljamo biomedicinsko merilno instrumentacijo. V tem primeru na izmerjene vrednosti fizioloških spremenljivk lahko vpliva več dejavnikov, zaradi katerih meritve niso točne, njihov vpliv na izmerjeni rezultat pa je lahko različno velik ali pa ga ni. V praksi meritve niso izvedene v idealnih pogojih, zato nastopijo pogoški in negotovost (slika 1).

2 NAMEN DOLOČANJA MERILNE NEGOTOVOSTI V PSIHOFIZIOLOŠKIH MERITVAH

Pravilno ovrednotenje izvedene meritve je mogoče le z natančno analizo vseh negotovosti, ki nastanejo pri merilnem procesu, in analizo uporabljene opreme [1]. Namen določanja merilne negotovosti izmerjene vrednosti je omogočiti veljavnejše nadaljnje odločanje uporabnika meritev. V odvisnosti od izmerjene vrednosti se uporabnik meritve (kadar govorimo o psihofizioloških meritvah je to po navadi zdravnik) odloči za nadaljnje korake diagnosticiranja bolezni in zdravljenja.



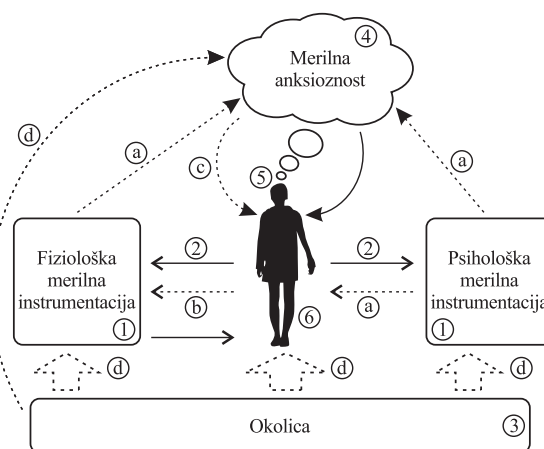
Slika 1: Osnovni parametri v procesu merjenja. Merilna negotovost meritve je sestavljena iz številnih prispevkov, ne samo iz ponovljivosti merjenja, ampak tudi iz naključnih pogreškov, korekcij in podobnega [2].

Izmerjene vrednosti psihofizioloških spremenljivk se kljub enakim merilnim pogojem razlikujejo med posameznimi udeleženci. S pravilnim ovrednotenjem in upoštevanjem merilnih negotovosti pri psihofizioloških meritvah lahko pridemo do koncepta personalizirane medicinske instrumentacije. V primerjavi s klasičnim merjenjem je taka instrumentacija merilni sistem, ki pri merjenju upošteva predhodno in trenutno fiziološko in psihološko stanje merjene osebe in zato omogoča zanesljivejše, natančnejše in veljavnejše rezultate psihofizioloških meritev.

3 PRISPEVKI K MERILNI NEGOTOVOSTI MERILNEGA REZULTATA

Merilna negotovost izmerjene vrednosti fizioloških in psiholoških spremenljivk je sestavljena iz več prispevkov: (i) določen del merilne napake je lahko posledica netočnosti in nenatančnosti merilnega instrumenta, staranja, obrabe, v nekaterih primerih problematičnega odčitavanja, ali je instrument vzdrževan (ali pri neinvazivnem merilniku krvnega tlaka pnevmatični sistemi puščajo, ali so elektrode merilnika prevodnosti kože čiste), kalibriran (ali je skala merilnika točna), pravilno uporabljen (ali meritev temperature kože izvajamo na ustreznem mestu, ali je bila za meritev krvnega tlaka uporabljena manšeta primerne velikosti ipd.); (ii) negotovost zaradi metode merjenja, vplivov okolice in pravilne uporabe instrumenta - ali je bila manšeta nameščena na primernem mestu, ali je položaj opazovane osebe primeren (manšeta v hidrostatični višini srca), ali sta bili temperatura in relativna vlaga okolice primerni, ali so prisotne mehanske vibracije zanemarljive ipd.; (iii) odkloni od pravega rezultata lahko nastanejo tudi zaradi fizikalnih vzrokov (npr. pri merjenju krvnega tlaka lahko merilnik z zažemanjem manšete vpliva na krvožilje osebe v smislu sprememb v dina-

miki fluidov (krvi) in posledično povzroči spremembo arterijskega krvnega tlaka); (iv) odkloni lahko pomenijo naravno variabilnost fizioloških spremenljivk (npr. temperatura telesa se v času spreminja); (v) rezultat meritve je odvisen od trenutnega psihofizičnega stanja udeleženca (ali je bil pred meritvijo fizično aktiven) in njegovih psiholoških značilnosti (kakšna je njegova anksioznost kot osebnostna poteza); (vi) nenazadnje pa je lahko odklon od pravega rezultata pogojen tudi z merilno anksioznostjo udeleženca, ki se zaveda, da je merjen (npr., ali je udeleženec zaradi vnaprejšnjih pričakovanj, morebitnih poznejših posledic rezultata/izmerjene vrednosti ali nagnjenosti k želenim vrednostim psihično napet, anksiozen) [3].



Slika 2: Vplivi in viri merilne negotovosti pri psihofiziološki meritvi.

Vplivi in viri merilne negotovosti pri psihofiziološki meritvi so prikazani na sliki 2. Puščice s prekinjeno črto prikazujejo dejavnike, ki vplivajo na psihofiziološko meritev, kot so:

- (a) vpliv nameščanja merilne instrumentacije, vrstni red meritev,
- (b) vpliv premikanja med meritvijo,
- (c) vpliv trenutnega psihološkega stanja merjene osebe (npr. osebnostne lastnosti udeleženca, doživljanje meritve in okolice, doživljanje psiholoških vprašalnikov in instrumentov),
- (d) vpliv okolice.

Puščice s polno črto nakazujejo vire merilne negotovosti, ki so posledica zgoraj navedenih vplivov:

- 1) negotovost merilnih instrumentov; fiziološke in psihološke merilne instrumentacije,
- 2) negotovost merilne metode,
- 3) negotovost zaradi vpliva okolice,
- 4) negotovost zaradi merilne anksioznosti,
- 5) negotovost zaradi psihofiziološkega stanja merjene osebe,
- 6) negotovost zaradi naravne variabilnosti psihofizioloških spremenljivk.

Za oceno negotovosti pri uporabi psiholoških merilnih instrumentov uporabljamo merske lastnosti psihometričnih metod, ki določajo kakovost merilne metode [4];

- objektivnost; ko je dobljeni rezultat odvisen samo od reakcije udeleženca (napaka zaradi izvajalca meritev),
- občutljivost; razlikovanje sistematične spremembe merjene lastnosti in zaznava razlike v odgovorih na različne dražljaje (občutljivost meritve je definirana z občutljivostnim (korelacijskim) koeficientom med izmerjeno veličino in vplivno veličino),
- zanesljivost; podobnost dobljenih rezultatov pri zaporednih meritvah iste lastnosti, ki v času ni spremenljiva (natančnost meritve - dobimo jo s ponovljivostjo meritve in standardni odklon izmerjenih vrednosti),
- veljavnost; dejansko merjenje želenega konstrukta, rezultati, na podlagi katerih lahko primerno sklepamo o merjeni veličini (točnost meritve).

4 OVREDNOTENJE MERILNE NEGOTOVOSTI NA KONKRETNIH PRIMERIH

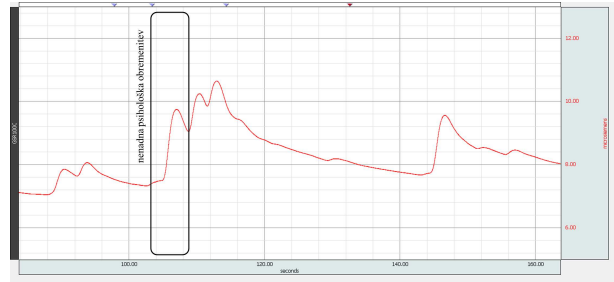
Ovrednotenje merilne negotovosti pri psihofizioloških meritvah zahteva dobro poznavanje uporabljene biomedicinske instrumentacije, protokolov meritev v fiziološkem in psihološkem delu ter procesa merjenja.

4.1 Negotovost uporabljenih merilnih instrumentov (u_{inst})

Podatke o negotovosti merilnih instrumentov za merjenje fizioloških spremenljivk navadno dobimo s kalibracijo in ovrednotenjem fiziološke merilne instrumentacije, v nekaterih primerih pa so lahko navedeni v specifikaciji instrumenta. Negotovost psihološke merilne instrumentacije določa zanesljivost merilnega instrumenta.

Kot primer lahko vzamemo merjenje prevodnosti kože z merilnim sistemom Biopac MP150. Prevodnost kože na blazinicah prstov se lahko zaradi psihološkega vpliva spremeni tudi za $2 \mu S$ (slika 3). Merilna negotovost merilnika, ki jo dobimo s kalibracijo z referenčnim multimetrom in posledično navezavo sledljivosti na etalone višjega reda, znaša $0,006 \mu S$ in je posledično ustrezna za opazovanje sprememb velikosti $2 \mu S$ [5].

Pri psihofizioloških merilnih procesih so pogosto uporabljeni tudi psihološki merilni instrumenti v obliki vprašalnikov, anket, intervjujev ipd. V teh primerih je treba upoštevati tudi podatke o njihovi veljavnosti. Če so uporabljeni strokovno validirani psihološki instrumenti, imajo ti večjo veljavnost oziroma manjšo merilno negotovost kot vprašalniki, ki jih priredimo sami za konkretno raziskavo in niso strokovno validirani.



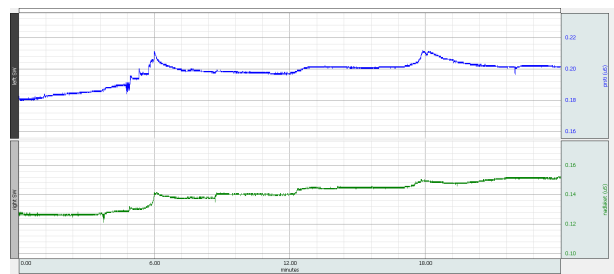
Slika 3: Merjenje prevodnosti kože ob proženju nenadne psihološke obremenitve.

4.2 Negotovost merilne metode (u_{met})

Ocene negotovosti, ki izhajajo iz merilne metode, po navadi pridobimo na podlagi podatkov iz objavljenih virov ali izkustveno. Viri merilne negotovosti so predvsem nepravilna sočasna uporaba več senzorjev biomedicinske instrumentacije, nepravilno nameščeni senzorstvi (npr. referenčna višina manšete, pozicija elektrod itd.), nepravilen položaj merjene osebe (prekrižane noge, nevravnano sedenje itd.). Na primer, če med merjenjem krvnega tlaka merjena oseba ni v ustreznem položaju, se lahko vrednost krvnega tlaka spremeni za 5 do 10 mmHg [6], kar doprinese k merilni negotovosti zaradi merilne metode.

Spremembe vrednosti izmerjenih fizioloških spremenljivk so lahko tudi posledica mehanskega ali elektromagnetnega vpliva merilnika na drug merilnik, ki je med meritvijo vključen v merilni proces. Za določanje mehanskih vplivov je treba prej narediti kontrolno meritev.

K negotovosti merilne metode pripomore tudi izbira mesta merjenja. Kot primer je na sliki 4 predstavljena meritev prevodnosti kože na prstih roke in na nadlakti. Spremembe vrednosti prevodnosti kože se sicer kažejo v istih trenutkih, napake pa nastanejo v amplitudi in tudi v absolutni izmerjeni vrednosti, ki je tedaj, ko merimo prevodnost kože na nadlakti, za $0,5 \mu S$ nižja kot če prevodnost kože merimo na prstih ene roke.



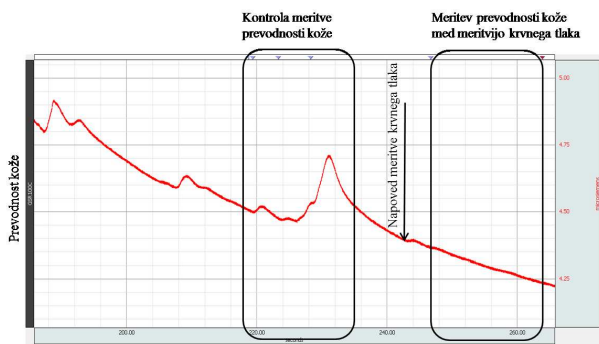
Slika 4: Merjenje prevodnosti kože na dveh različnih mestih - prstih leve roke (zgoraj) in na nadlakti leve roke (spodaj).

Kadar v merilnem procesu uporabljamo še psihološke merilne metode, je pomemben tudi vrstni red meritev oziroma oblika protokola zaporedja različnih faz meritev. Negotovost v tem primeru opisuje objektivnost psihofizikalne metode.

4.2.1 Kontrolne meritve: Pred ovrednotenjem negotovosti merilne metode je treba preveriti, ali je ocena negotovosti dejansko posledica predvidenega vpliva.

Primer 1: Vzrok za naglo povišanje vrednosti fiziološke spremenljivke, npr. prevodnosti kože ob napihovanju manšete merilnika krvnega tlaka, je lahko tudi medsebojni mehanski vpliv merilnikov zaradi spremembe v dinamiki krvnega obtoka. V takih primerih, ko ne poznamo dejanskega vzroka, je treba ta vpliv potrditi oziroma ovreči.

Tako meritev opravimo na psihološko čim manj obremenjeni osebi. Meritev izvedemo tako, da najprej nekaj časa spremljamo vrednost prevodnosti kože, vmes s fizičnim naporom preverimo odzivnost prevodnosti kože, nato pa v izbranem daljšem obdobju upadanja te vrednosti napovedano sprožimo meritev krvnega tlaka (torej napihovanje manšete, ki pomeni motnjo oziroma psihološko obremenitev in lahko povzroča psihološki odziv opazovane osebe) (slika 5).



Slika 5: Kontrola mehanskega vpliva na vrednost prevodnosti kože ob napihovanju manšete za merjenje krvnega tlaka.

Pri meritvi na sliki 5 je bila merjena oseba prej seznanjena z začetkom meritve krvnega tlaka. Tudi anksioznost zaradi meritve je lahko s tem izločena, saj je bila za to meritev izbrana oseba, ki je merjenja krvnega tlaka vajena. Kot je razvidno iz slike 5, v času napihovanja manšete vrednost prevodnosti kože še vedno upada oz. ne naraste, kot bi bilo pričakovano v primeru mehanskega vpliva. Zato lahko sklepamo, da dvig vrednosti prevodnosti kože v eksperimentu ni posledica mehanskega vpliva, saj bi se tako morala vrednost dvigniti tudi v tem primeru.

Primer 2: Preverimo lahko na primer tudi, ali bi v primerih dviga vrednosti prevodnosti kože šlo za posledico premika roke med merjenjem krvnega tlaka. To lahko preverimo z merjenjem prevodnosti kože ob izvajanju premikov roke različnih amplitud. Pri simu-

laciji premikov, podobnih premikom, ko merjena oseba zazna meritev krvnega tlaka, so spremembe vrednosti v intervalu $\pm 0,04 \mu S$, medtem ko so spremembe vrednosti prevodnosti kože v času napihovanja manšete v 10-krat večjem velikostnem razredu, okoli $0,3 \mu S$. Iz tega lahko sklepamo, da so spremembe vrednosti zaradi premikov zanemarljive.



Slika 6: Kontrolna meritev premika roke, na kateri so nameščene elektrode za merjenje prevodnosti kože: 1) premik roke, 2) striženje s prsti, na katerih so bile nameščene elektrode, 3) trzljaj z dvigom roke, 4) majhen trzljaj roke.

4.3 Negotovost zaradi vpliva okolice (u_{okol})

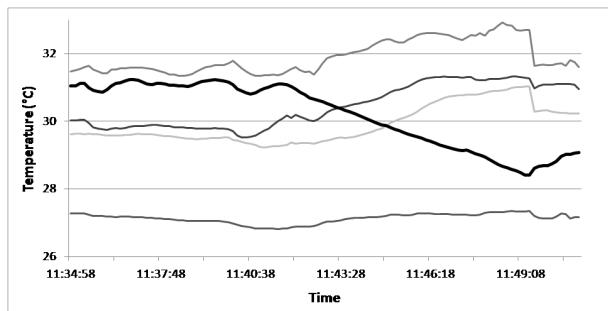
K merilni negotovosti pripomorejo tudi dejavniki iz okolice, ki vplivajo na merilno instrumentacijo (merilni pogrešek zaradi spremembe okoljskih pogojev, npr. temperature v prostoru, kjer se izvajajo meritve, ravno tako ob spremembi vlage ali zračnega tlaka v okolju) in merjeno osebo (na merjeno osebo lahko vplivajo hrup, vonj, tresljaji in podobni dejavniki, ki vplivajo na čutila, prisotnost drugih oseb v prostoru in podobno). Temperatura okolja vpliva na fiziologijo merjene osebe; zaradi nižje temperature v prostoru se na primer vrednost krvnega tlaka merjene osebe lahko zviša za 1,3 mmHg za sistolično in 0,6 mmHg za diastolično vrednost [7], [8].

Merilno negotovost zaradi vpliva okolice ocenjujemo z meritvijo, to je s parametrizacijo pogojev (npr. z izvajanjem enakih eksperimentov pri različnih temperaturah okolice), z znanjem iz izkušenj s podobnimi predhodnimi meritvam in s pomočjo psihometričnih metod (uporabimo vprašalnike in ustrezne postavke, ki merijo psihološki vpliv dejavnikov okolice) [9], [10].

4.4 Negotovost zaradi fizikalnih vzrokov (u_{fiz})

Kadar je v meritev vključen človek, se vpliv merilnega procesa lahko prenese tudi na fiziološke procese pri posamezniku, ki ima za posledico spremembo vrednosti fizioloških spremenljivk.

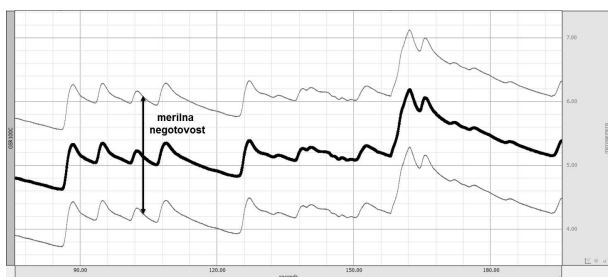
Kot primer lahko vzamemo stisk manšete merilnika krvnega tlaka. Ta lahko vpliva na vrednost krvnega tlaka samega ali pa tudi na vrednosti drugih v istem merilnem procesu merjenih fizioloških spremenljivk. Na sliki 7 je prikazan primer vpliva merjenja krvnega tlaka na vrednost temperature kože.



Slika 7: Temperatura kože na prstih roke med neinvazivnim merjenjem krvnega tlaka. V času zažemanja manšete na enem od prstov (na grafu je vrednost te temperature označena z odebeljeno črto) ima za posledico znižanje temperature [11].

4.5 Negotovost zaradi naravne variabilnosti psihofizioloških spremenljivk (u_{nvb})

Rezultat meritve psihofiziološke spremenljivke je zaradi naravne variabilnosti merjene osebe v različnih trenutkih merjenja pri enakih pogojih različen (slika 8).



Slika 8: Naravna variabilnost prevodnosti kože. Negotovost zaradi naravne variabilnosti v takem primeru doseže vrednosti do $1 \mu S$.

Negotovost merilnega rezultata v tem primeru izračunamo s standardnim odklonom po enačbi

$$u_{\text{repeatability}}(G_x) = \frac{s(G_x)}{\sqrt{N}}, \quad (1)$$

pri čemer je G_x merjena veličina, $s(G_x)$ standardni odklon in N število meritev ob predpostavki normalne porazdelitve.

5 NEGOTOVOST ZARADI BAZIČNEGA PSIHOFIZIOLOŠKEGA STANJA MERJENE OSEBE (u_{psih})

Vrednosti psihofizioloških spremenljivk merjene osebe ob njenem odzivu na merilno situacijo so odvisne tudi od bazične ravni psihofizioloških spremenljivk (tj. od stanja pred začetkom meritve; angl. base line vrednosti) pri tej osebi. Zato so pomembni podatki za ustrezno ovrednotenje rezultata take meritve tudi podatki o osebnostnih lastnostih (npr. anksioznosti kot osebnostni potezi) in podatki o vseh predhodnih dejavnostih merjene osebe

(npr., ali je dovolj naspana in spočita, ali je bila pred meritvami fizično neaktivna ipd.).

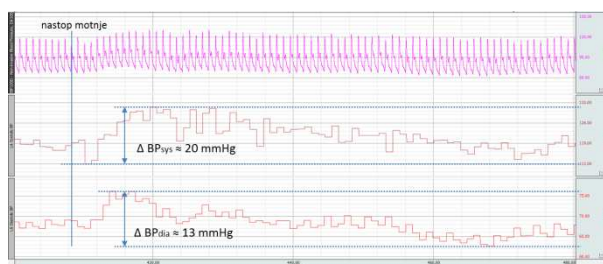
Nekaj raziskav poroča o psihološkem vplivu na spremembe različnih fizioloških spremenljivk, npr. srčni utrip, prevodnost in temperatura kože, krvni tlak itd., pri čemer so te raziskave usmerjene predvsem v spremljanje sprememb ob različnih miselnih nalogah, matematičnih testih ipd. [12], [13], [14]. Na merilni rezultat vplivajo tudi prisotnost drugih oseb v merilnem okolju, še najpogosteje se to odraža, kadar je meritev izvedena ob prisotnosti zdravnika. Številne raziskave so ugotovile, da se raven vzburjenosti pri posameznikih zaradi prisotnosti zdravnika zviša, kar se odraža v zvišanem krvnem tlaku [15], [16], [17], [18].

Pri merjenju krvnega tlaka je bilo npr. ugotovljeno, da lahko učinek bele halje vpliva na zvišanje krvnega tlaka tudi do 15 mmHg [19]. To pomeni, da pri poskusu, kjer nastopa tudi zdravnik, upoštevamo dodaten prispevek negotovosti zaradi strahu, v višini $15 \text{ mmHg}/\sqrt{3}$ če predpostavimo, da gre za negotovost tipa B oziroma predpostavimo pravokotno porazdelitev verjetnosti.

5.1 Negotovost zaradi merilne anksioznosti merjene osebe (u_{anx})

Anksioznost je odziv, ki organizem pripravi na spoprijemanje s prihodnjimi negativnimi dogodki. Anksioznost udeleženca meritve zaradi merjenja pa je stanje psihične napetosti zaradi izvajanja meritev oziroma sodelovanja v merilnem procesu, zaradi česar se lahko spremeni merilni rezultat [20].

Ocenjevanje psihološkega vpliva merilne naprave oziroma zavedanja postopka merjenja (slika 4) (ali merjeno osebo zvok zračne črpalke moti, ali jo moti dolžina merjenja, ali je udobno nameščena med meritvijo, ali je sproščena itd.) poteka z uporabo različnih psiholoških testov, ki merijo sproščenost, anksioznost, doživljanje in pričakovanja opazovane osebe. Psihološki testi sprožajo pri udeležencih različne odzive in lahko različno močno vplivajo na raven anksioznosti merjene osebe.



Slika 9: Vpliv motnje (meritev oziroma vpliv sodelovanja v merilnem procesu) na vrednost krvnega tlaka in časovna odvisnost zvezno merjenega krvnega tlaka merjene osebe (zgoraj zvezni arterijski tlak, na sredini sistolična vrednost in spodaj diastolična vrednost krvnega tlaka). V času nastopa motnje se je vrednost krvnega tlaka povečala za 15 mmHg za sistolično in za 8 mmHg za diastolično vrednost.

Prispevek k merilni negotovosti je v tem primeru odvisen od časa merjenja, od doživljanja v času nameščanja merilne instrumentacije in od števila sodelovanja pri meritvi. Treba je torej upoštevati in poskusiti oceniti vpliv zavedanja merjene osebe, da je merjena.

6 MERILNI REZULTAT PSIHOFIZIOLOŠKE MERITVE

Popolni merilni rezultat izmerjene vrednosti psihofiziološke spremenljivke z je

$$z_x \pm k u(z_x), \quad (2)$$

kjer je z_x izmerjena vrednost psihofiziološke spremenljivke, k razširitveni faktor (ki je običajno 2, če predpostavimo normalno porazdelitev meritev in je raven zaupanja 95-odstotna) in $u(z_x)$ merilna negotovost, s katero smo izmerili z_x [1].

Celotno merilno negotovost izmerjene vrednosti $u(z_x)$ tako izračunamo po spodnji enačbi

$$u(z_x) = \sqrt{u_{\text{inst}}^2 + u_{\text{met}}^2 + u_{\text{okol}}^2 + u_{\text{fiz}}^2 + u_{\text{nvb}}^2 + u_{\text{psih}}^2 + u_{\text{anx}}^2}. \quad (3)$$

Takšen izračun merilne negotovosti velja tedaj, ko so viri negotovosti med seboj neodvisni. Ker pa viri negotovosti pri psihofizioloških meritvah niso povsem neodvisni (pomemben je vrstni red nastopa posameznih delov meritev, način vključevanja psiholoških merilnih instrumentov, na ponovljivost rezultata vplivajo spremembe iz okolice ipd.), je v teh primerih treba upoštevati korelacijo med posameznimi prispevki:

$$u(z_x) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{i=j+1}^N c_i c_j r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)}, \quad (4)$$

pri čemer je relativna medsebojna odvisnost podana s koeficientom korelacije r (med -1 in +1), koeficiente občutljivosti c_i pa lahko izračunamo:

$$r = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i) u(x_j)}, \quad c_1 = \frac{\partial z}{\partial x_1} \dots \quad c_N = \frac{\partial z}{\partial x_N}. \quad (5)$$

7 ZAKLJUČEK

Pri navadnih fizikalnih meritvah se poizkuša pri ovrednotenju merilnega rezultata pridobiti seznam vseh pomembnih vplivnih veličin in prispevkov negotovosti, ki vplivajo na meritev. Enako velja, kadar obravnavamo psihofiziološke meritve, le da moramo pri teh upoštevati tudi negotovosti, povezane s fiziologijo in psihologijo merjenj.

Pomembno je, v kakšno merilno situacijo spravimo merjeno osebo, četudi sodeluje pri izvajanju povsem preprostih meritev. Namestitvev aparatur biomedicinske instrumentacije lahko vpliva na doživljanje eksperimentalne situacije in posledično na spremembe fizioloških procesov v telesu, ki niso zanemarljive.

V prispevku so navedeni pomembnejši prispevki negotovosti in praktični primeri posameznih prispevkov

pri psihofiziološki meritvi. Zavedati se moramo vseh mogočih vplivov na meritev in znati oceniti njihovo velikost, da bi ugotovili, ali in katere lahko zanemarimo pri določanju končnega rezultata. Upoštevati moramo tudi vse mogoče kombinacije vplivov in jih ustrezno obravnavati pri končnem izračunu.

Ob upoštevanju vseh naštetih postopkov lahko tako tudi pri psihofizioloških meritvah uporabljamo koncepte klasične metrologije in poleg izmerjene vrednosti določimo še merilno negotovost meritve.

LITERATURA

- [1] J. Drnovšek, J. Bojkovski, I. Pušnik, V. Batagelj, *Merilni sistemi 1 in 2*. Študijska skripta, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, str. 39–69, 2011.
- [2] J. Drnovšek, J. Bojkovski, G. Geršak, I. Pušnik, D. Hudoklin, *Metrologija*. Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, 2012.
- [3] N. Gržinič, G. Geršak, A. Podlesek, J. Drnovšek, Prispevki k merilni negotovosti v psihofizioloških meritvah. Zbornik 20. mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2012, Slovenija, zv. A, str. 315–318, 2012.
- [4] A. Podlesek, K. Brenk, *Osnove psihološkega merjenja: Psihofizikalna metodologija*; str. 10–13, 2009.
- [5] J. Ogorevc, G. Geršak, D. Novak, J. Drnovšek, *Metrological evaluation of skin conductance measurements*. Measurement, 2013.
- [6] R.T. Netea, J.W.M. Lenders, P. Smits, T. Thien, Both body and arm position significantly influence blood pressure measurement. *Journal of Human Hypertension* 17, pp. 459–462, 2003.
- [7] P.R. Woodhouse, K.T. Khaw, M. Plummer, Seasonal variation of blood pressure and its relationship to ambient temperature in an elderly population. *Journal of Hypertension*, November 1993.
- [8] M. Jehn, L.J. Appel, F.M. Sacks, E.R. Miller, The effect of ambient temperature and barometric pressure on ambulatory blood pressure variability, *American Journal of Hypertension*, June 2002, Volume 15, Issue 11, pp. 941–945.
- [9] P. Gomez, B. Danuser, Affective and physiological responses to environmental noises and music. *International Journal of Psychophysiology* 53, pp. 91–103, 2004.
- [10] N.S. Endler, G.L. Flett, S.D. Macrodimitris, K.M. Corace, N.L. Kocovsk, Separation, self-disclosure and social evaluation anxiety as facets of trait social anxiety. *European Journal of Personality*, no. 16, pp. 239–269, 2002.
- [11] J. Ogorevc, A. Podlesek, G. Geršak, J. Drnovšek, The effect of mental stress on psychophysiological parameters. *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications – MeMeA 2011*, Italy, pp. 642–645, 2011.
- [12] L.C. Becker, C.J. Pepine, R. Bonsall, J.D. Cohen, A.D. Goldberg, C. Coghlan, P.H. Stone, S. Forman, G. Knatterud, D.S. Sheps, P.G. Kaufmann, *Left ventricular, peripheral vascular and neurohumoral responses to mental stress in normal middle-aged men and women*. Reference Group for the Psychophysiological Investigations of Myocardial Ischemia (PIMI) Study, *Circulation*, Vol. 94, pp. 2768–2777, 1996.
- [13] J.P. Fauvel, C. Cerutti, P. Quelin, M. Laville, M.P. Gustin, C.Z. Paultre, M. Ducher, Mental stress-induced increase in blood pressure is not related to baroreflex sensitivity in middle-aged healthy men. *Hypertension*, Vol. 35, pp. 887–891, 2000.
- [14] J.P. Fauvel, P. Quelin, M. Ducher, H. Rakotomalala, M. Laville, *Perceived job stress but not individual cardiovascular reactivity to stress is related to higher blood pressure at work*. *Hypertension*, Vol. 38, pp. 71–75, 2001.
- [15] D. Hong, H. Su, J. Li, J. Xu, Q. Peng, Q. Yang, J. Wang, X. Cheng. The effect of physician presence on blood pressure. *Blood Press Monit* 2012; Vol. 17, No. 4, pp. 145–148.

- [16] E. Dolan, A. Stanton, N. Atkins, E. Den Hond, L. Thijs, P. McCormack, J. Staessen, E. O'Brien, Determinants of white-coat hypertension. *Blood Press Monit* 2004, Vol. 9, No. 6, pp. 307-309.
- [17] T.G. Pickering, G.D. James, C. Boddie, G.A. Harshfield, S. Blank, J.H. Laragh. How common is white coat hypertension? *JAMA* 1988 8; Vol. 259, No. 2, pp. 225-228.
- [18] D. Hong, H. Su, J. Li, J. Xu, Q. Peng, Q. Yang, J. Wang, X. Cheng, The effect of physician presence on blood pressure, *Blood Press Monitoring*, August 2012, Vol. 17, No. 4, pp. 145-148.
- [19] T.G. Pickering, D. Phil, G.D. James, C. Boddie, G.A. Harshfield, S. Blank, J.H. Laragh, How common is white coat hypertension?, *JAMA* 1988, Vol. 259, No. 2, pp. 225-228, 1988.
- [20] G. Geršak, N. Gržinič, J. Drnovšek, Merilna anksioznost v fizioloških meritvah, Zbornik 20. mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2011, Slovenija, zv. B, str. 482-485, 2011.

Nina Gržinič je študentka doktorskega študija na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer je diplomirala leta 2009. Zaposlena je v podjetju Covilus d. o. o., kjer vodi projekte iz kognitivnega vizualnega učenja. Njena raziskovalna področja zajemajo psihofiziološka merjenja.

Gregor Geršak je doktoriral leta 2003 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njegovo raziskovalno področje obsega teorijo merjenja, precizijsko merjenje gostote magnetnega pretoka, tlaka in termometrije. V zadnjih letih se osredotoča na meroslovje biomedicinske instrumentacije s poudarkom na napravah za neinvazivno merjenje krvnega tlaka in na psihofiziološka merjenja.