

Merjenje mogočega in nemogočega

Gregor Geršak, Janko Drnovšek

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

Povzetek. Danes v velikem obsegu ter pogosto zelo točno merimo pojave in stvari, za katere nekoč ni bilo pričakovati, da bodo v prihodnosti postale merljive. Podobno pa se tudi danes soočamo z zelo primerljivo dilemo kot nekoč. To, kar je danes nemerljivo, bo namreč v prihodnosti morda postalo merljivo. In kot je bilo nekoč težko verjeti, da bomo opazovali aktivnost možganov, merili utrip srca na daljavo, merili koncentracije izdihanih plinov, si danes težko predstavljamo, da v prihodnosti ne bi mogli meriti bolečine, strahu, ugodja, zopnosti, revščine in drugih fizikalnih, psiholoških in socioloških veličin. Na splošno velja, da so merjenja osnova za dobro odločanje. Zato se pri merjenju česar koli, tudi tistega, kar je danes nemogoče, ne smemo spuščati na področje neeksaktnega in se moramo poskušati čim bolj držati znanstvenih metod in empiričnih dognanj. Merjenje nemogočega je logični nesmisel, ki velja v časovni dimenziji. Na splošno pa se znanost ne sprizani z dejstvom, da je nekaj, česar nekoč ni bilo mogoče meriti, danes mogoče izmeriti.

Prispevek razloži osnovne značilnosti merjenja kot fenomena, kjer s števkami opisujemo lastnosti nekega predmeta ali dogodka, opiše klasično meroslovje in zaključí s predstavitvijo najmlajšega področja merjenj, senzoričnega meroslovja.

Ključne besede: merjenja, metrologija, senzorično meroslovje, merilna negotovost, pogrešek

Measuring the possible and “impossible”

Nowadays, numerous phenomena, quantities and properties are measured, many of them considered immeasurable in the past. Nevertheless, the same dilemma is being often faced with also today. The today's immeasurables are likely to be measurable in the near future. As it was once difficult to believe that we will be able to measure our brain activity, gas concentrations in exhaled air or heart rate with no physical contact, it is now difficult to imagine the future without being able to measure pain, fear, well-being, annoyance, poorness, naturalness and other physical, psychological and sociological quantities. Accurate measurements being the basis for an optimal decision-making, it would be unacceptable to tolerate any non-exactness instead of embracing and employing advanced scientific methods and empirical reasoning. The paper presents the basic principles of measurement as a phenomenon numerically describing properties of an object, event or sensation. It explains the classical metrology and ends by presenting the sensory metrology, as the most recent measurement field.

Keywords: measurements, metrology, sensory metrology, measuring uncertainty, SI system of units

1 UVOD

Merjenja so osnova vsakršnega opazovanja sveta okoli nas in temelj našega vedenja o našem fizikalnem, kemijskem, biološkem in družbenem okolju.

Meroslovje je znanost in aktivnost, povezana z merjenjem. Vključuje teorijo merjenj, merilne enote in njihovo fizikalno realizacijo, karakteristike merilnih instrumentov, merilne postopke in metode ter osebe in organizacije, povezane z uvajanjem in razvojem merjenj.

2 MERJENJE MOGOČEGA

Metrologija kot znanost o merjenju in kot infrastrukturna disciplina je v Sloveniji dokumentirano prisotna že od časa cesarice Marije Terezije, pa čeprav sta bila njen osnovni namen pobiranje davkov in podpora poštenemu trgovanju (slika 1). Enako kot danes je bil tudi takratni razvoj evropsko primerljiv, saj smo na naših tleh zelo hitro sledili meroslovnemu napredku, navdahnjenemu s francosko revolucijo, uvedbo metrskega sistema in podpisom metrske konvencije leta 1875.



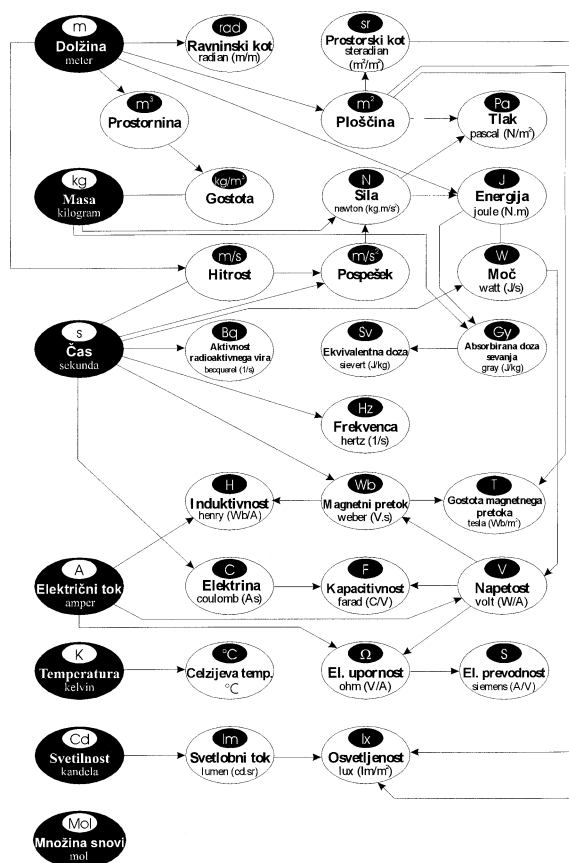
Slika 1: V svojem patentu o cementiranju iz leta 1777 je avstro-ogrska cesarica natančno odredila, kakšna merila se lahko uporabljajo ter kako in kje se overjajo. Tako je bil na ozemlju Slovenije že sto let pred podpisom Metrske konvencije urejen meroslovni sistem. Poleg mer in merskih enot je bilo poskrbljeno tudi za primerno kontrolo in označevanje plemenitih kovin.

Danes so merjenja prisotna povsod v našem vsakdanu doma (merilniki porabe električne energije in vode, bencinske črpalke, osebne tehtnice in merilniki krvnega tlaka) in v naših delovnih okoljih (merjenje učinkovitosti, primernosti delovnih razmer, zagotavljanje kakovosti izdelkov in storitev ter podobno). Za aktivnosti, ki so povezane z metrologijo, v razvitih industrijskih državah porabimo od tri do pet odstotkov bruto družbenega proizvoda. V srednje velikih razvitih državah prinašajo razlike pri točenju naftnih derivatov nekaj deset milijard dolarjev na leto. Druge zanimive primere vpliva merjenj in meroslovnega infrastrukture na družbo najdemo na primer v avtomobilski industriji, kjer nizke tolerance v dimenzijah motorja z notranjim zgorevanjem omogočajo večjo učinkovitost motorja, manjšo porabo goriva, manjše onesnaževanje okolja in podaljšanje življenjske dobe. Telekomunikacije in vesoljske raziskave zahtevajo izjemno točna merjenja dolžin in časa. V industrijskem okolju zagotavljanje kakovosti proizvodov zahteva ustrezne meritve ter ustrezne sledljive povezave za prepoznavanje referenc (merilni fizikalni etaloni), kar je določeno v mednarodnih standardih (na primer ISO 9000, ISO 14000, avtomobilski in medicinski standardi). Na področju zdravja neprimerna točnost opreme za radioterapijo lahko povzroči škodljiva sevanja oziroma ne doseže želenega učinka na rakaste tvorbe. V prehranski industriji uporabljajo točne senzorce za redno preverjanje vsebnosti sladkorja v sadju in tako določijo najprimernejši čas za pobiranje pridelka.

Danes uporabljamo mednarodni sistem enot SI, ki je sestavljen iz sedmih osnovnih enot in malo manj kot sto izpeljanih enot (slika 2). Izpeljane enote so merske enote, ki jih lahko izpeljemo s pomočjo osnovnih enot. Primer je izpeljana enota hitrost, ki je razmerje enote za dolžino in enote za čas.

Meriti pomeni s poskusom primerjati neznano veličino s primerno enoto, ki je definirana z dogovorom. Naloga nacionalnih metroloških institucij je, da priskrbijo etalone, s katerimi je enota uvedena v meritve. Danes etalone, za katere je dogovorjena mednarodno sprejeta definicija, pridobimo s serijo treh operacij – realizacijo, vzdrževanjem in diseminacijo etalona.

Definicija enote (tabela 2) je po navadi abstrakten opis fizikalne veličine z navedbo vseh njenih bistvenih lastnosti. Osnovna lastnost definicije je, da se s časom, novimi fizikalnimi in kemijskimi spoznanji in razvojem tehnike in tehnologije čim manj spreminja. Zato so definicije enot po navadi abstraktne in jih tako rekoč ni mogoče izvesti. Primer je enota za električni tok amper, ki je definiran kot konstantni enosmerni električni tok, ki v vakuumu pri prehodu skozi dva ravna, en meter oddaljena, neskončno dolga, vzporedna vodnika z zanemarljivo majhnim krožnim prerezo povzroča določeno silo. Pri tem je v realnosti nemogoče doseči popoln vakuum, popolnoma ravna vodnika, ki bi bila



Slika 2: Osnovne (v črnih elipsah) in nekatere izpeljane enote (bele elipse) mednarodnega sistema enot SI

neskončno dolga in imela poleg tega še zanemarljiv prerez. Podobno velja za osnovno enoto dolžine, meter, ki ima v definiciji vakuum, in sicer dogovorjeno hitrost svetlobe (tabela 2). Ker so definicije abstraktne, uporabljamo realizacijo enot. **Realizacija merskih enot** je praktična izvedba mednarodno dogovorjene abstraktne definicije enote. Tako je na primer električni tok realiziran s pomočjo Ohmovega zakona med kvantnim Hallovim pojavom, ki realizira električno upornost, in Josephsonovim spojem, ki realizira električno napetost. Realizacija metra se je s časom in definicijami spreminjala (slika 3, tabela 3). Naslednja operacija je **vzdrževanje merskih enot**, ki vključuje proces vzdrževanja rezultatov realizacije enote s primarnimi etaloni. Zadnja operacija je diseminacija merskih enot. **Diseminacija** je podajanje enote s sledljivostno verigo od primarne realizacije do uporabnika. V odvisnosti od narave veličine je lahko izvedena na številne načine, od prenosniškega etalona ali etalonskih instrumentov do prenosa signalov na daljavo.

Tabela 2: Trenutna definicija enot mednarodnega sistema enot SI

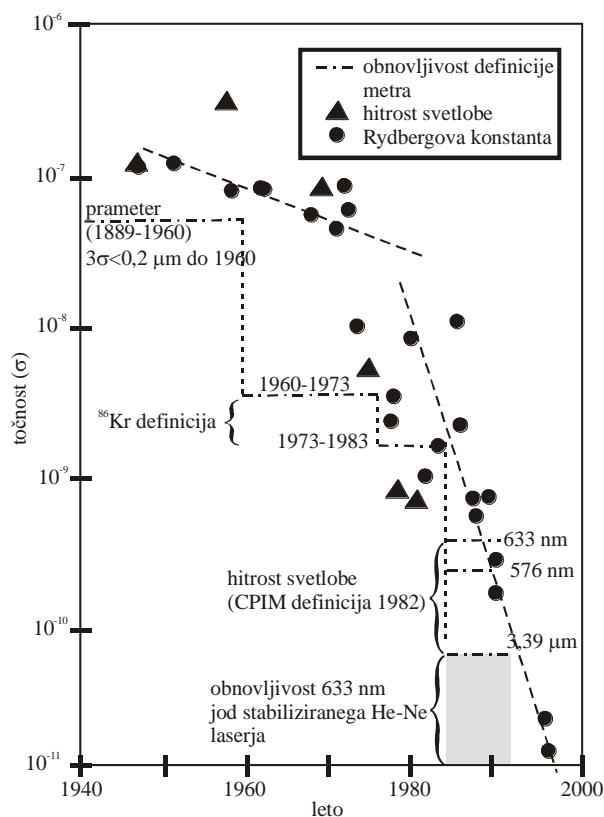
Veličina (enota)	Definicija enote
Dolžina (meter)	<i>Meter (m) je dolžina poti, ki jo prepotuje svetloba v vakuumu v času 1/299 792 458 sekunde.</i>
Masa (kilogram)	<i>Kilogram (kg) je enota za maso in ustreza masi mednarodnega prototipa kilograma.</i>
Čas (sekunda)	<i>Sekunda (s) je trajanje 9 192 631 770 period sevanja, ki ustreza prehodu med dvema hiperfinima nivojema cezijevega atoma 133 v osnovnem stanju pri temperaturi 0 K.</i>
Električni tok (amper)	<i>Amper (A) je konstantni enosmerni električni tok, ki v vakuumu pri prehodu skozi dva ravna, en meter oddaljena, neskončno dolga, vzporedna vodnika z zanemarljivo majhnim krožnim prerezom povzroča silo 2×10^{-7} N/m.</i>
Termodin. temperatura (kelvin)	<i>Kelvin (K) je enota termodinamične temperature, ki je enaka 1/273,16 delu termodinamične temperature trojne točke vode.</i>
Množina snovi (mol)	<i>Mol (mol) je množina snovi sistema, ki vsebuje toliko elementarnih enot, kolikor je atomov v 0,012 kg ogljika ¹²C. Ogljik mora biti v nevezanem stanju, v mirovanju in v osnovnem stanju. Kadar uporabljamo enoto mol, morajo biti elementarne enote točno označene ter so lahko atomi, molekule, ioni, elektroni ali drugi delci ali skupine delcev.</i>
Svetilnost (kandela)	<i>Kandela (cd) je svetilnost vira sevanja, ki v določeno smer oddaja monokromatsko sevanje s frekvenco 540 THz in ima v tej smeri energijsko jakost sevanja 1/683 vatov na steradian.</i>

Z razvojem sistema definicije osnovnih enot SI sistema so čedalje bolj utemeljene na osnovnih fizikalnih konstantah. Hkrati je čedalje manj osnovnih enot definiranih s fizičnim telesom – artefaktom. Trenutno je tako definiran samo še kilogram, vendar ga nova znanstvena spoznanja in nove tehnološke zmogljivosti že skušajo na novo definirati prek dveh osnovnih fizikalnih konstant – Planckove konstante h (poskusi z vatnimi tehtnicami) in Avogadrovega števila N_A (Avogadrov projekt). Podobno bo nova definicija kelvina (v letu 2018) temeljila na Boltzmannovi konstanti. Na sliki 4 so

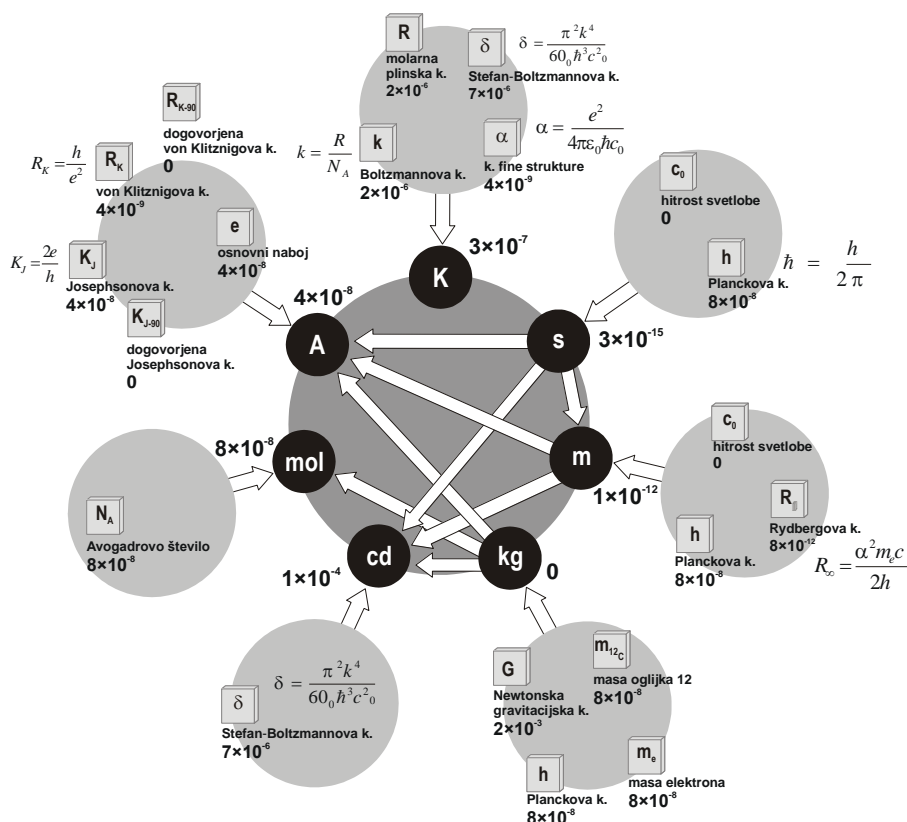
prikazane osnovne enote SI sistema z negotovostmi trenutne realizacije in povezavami na osnovne atomske in fizikalne konstante s trenutnimi negotovostmi.

Tabela 3: Zgodovinski razvoj realizacije enote za dolžino [1]

Datum	Definicija metra	Negotovost realizacije v odvisnosti od definicije obdobja
1791	Četrtnina poldnevnik Zemlje	0,06 mm
1889	Mednarodni prototip metra	0,002 mm
1960	Kriptonova svetilka	0,000 007 mm
1983	Hitrost svetlobe	0,000 000 7 mm
danes	Hitrost svetlobe z izboljšano točnostjo He-Ne laserja	0,000 000 02 mm



Slika 3: Zgodovinsko spreminjanje relativne negotovosti realizacije metra v odvisnosti od definicije metra [2, 20]



Slika 4: Osnovne enote SI sistema z negotovostmi trenutne realizacije in povezavami na osnovne atomske in fizikalne konstante s trenutnimi negotovostmi. Časovna nestabilnost kilograma se izraža v treh preostalih fizikalnih veličinah, katerih definicije so vezane na kilogram. Vse vrednosti so iz leta 2007. Opomba – v letu 2019 so bile nekatere osnovne fizikalne enote na novo definirane. Nove definicije temeljijo izključno na fizikalnih in atomskih konstantah. S tem pariški prakilogram ni več del SI definicije mase.

3 MERJENJE NEMOGOČEGA

Klasično meroslovje se v z zadnjih letih zaradi potreb industrije in moderne človeške družbe čedalje bolj usmerja k individualizaciji in personalizaciji merilnih metod in merilnih instrumentov. Iz fizikalnih veličin, ki so bile zanimive na začetku industrijske revolucije, se je danes prek kemijskih in bioloških preusmerilo na fiziološke veličine. Nove oblike metrologije postajajo čedalje pomembnejša veja, ki inherentno vključuje interdisciplinarnost in multidisciplinarnost široke skupine znanstvenih ved, od naravoslovnih, tehničnih od družboslovnih in humanističnih.

Najmlajše področje meroslovja je senzorično meroslovje (ang. soft metrology, sensory metrology, perception-based metrology). Senzorično meroslovje je veda o merjenju, ki ne temelji samo na merjenju klasičnih fizikalno-kemičnih veličin, kot so tlak, sila, električni tok in molska masa, temveč vsebuje tudi veličine, ki so (še) brez referenčnih vrednosti, brez etalonov, brez skal in brez enot.

Senzorično meroslovje se ukvarja z merjenji psiholoških, socioloških, ekonomskih parametrov, kot so bolečina, strah, veselje, tesnoba, smrad, ugodje, revščina in socialni kapital. Je izrazito

multidisciplinarna znanost, saj v njem sodelujejo fiziki, psihologi, sociologi, inženirji, zdravniki, kemiki, arhitekti, ekonomisti in drugi, ki si izmenjujejo merilne metode in merilno instrumentacijo za doseg cilja – popolnega merilnega rezultata, to pomeni merilnega rezultata, opremljenega tudi s podatki o točnosti meritve (merilno negotovostjo).

V klasičnem meroslovju ali tradicionalni merilni tehniki človek po navadi nastopa zgolj kot upravljavec merilnega sistema – merilec. Njegov vpliv je večinoma omejen na spretnost pri ravnanju z instrumenti, s katerimi opravlja meritve, in interpretaciji rezultatov meritev, na primer pri določanju merilne negotovosti, ki je povezana z omejenim znanjem o meritvi.

Senzorično meroslovje pa se ukvarja z merjenji, odvisnimi od človeške zaznave in/ali tolmačenja. To vključuje zaznane lastnosti proizvodov in storitev, kot sta kakovost ali zaželenost, in družbene parametre, kot sta varnost in dobro počutje. Največji problem senzoričnega meroslovja je doseganje soglasja o tem, kako lahko generična meroslovna vprašanja, terminologijo in merilne metode, merilne negotovosti, odločanje in presojo vplivov uporabljamo pri merjenju z osebami. Na tem področju je meroslovje kljub velikemu potencialu za inovacije relativno slabo razvito, a sega

prek tradicionalnega fiziološkega meroslovja in se ukvarja tako z merjenjem vseh človeških čutov, kot tudi z duševnimi, vedenjskimi in kognitivnimi procesi. To je pomembno zlasti tam, kjer so ljudje in njihove zaznave pomemben sestavni del sistemov, npr. kjer sta zdravje in varnost človeka ogrožena.

Merjenje z osebami lahko na splošno razdelimo na dve veliki skupini; "merjenje človeka" in "človek kot merilni instrument" [3, 4]. Tako človek vstopi v merilni sistem v dveh zelo različnih kontekstih.

3.1 Merjenje človeka

Pri "merjenju človeka" je predmet meritve človek. Meritve v senzoričnem meroslovju segajo od merjenja dogajanja v človeku med dejavnostmi (npr. med delom, med branjem, pri miselnih dejavnostih, igranju računalniških igravic, poslušanju glasbe) do zaznavanja govornice telesa. Uporabljajo se računalniški vid, termografija, EKG, EMG, EEG, MEG, EDA, fMRI, fNIRS in druge naprave za merjenje fizioloških parametrov, kot so kardiovaskularna in elektrodermalna aktivnost, dihanje, gibanje zenice, razpoznavanje vzorcev, itd. [19–24]

Vendar fiziologija človeka leži na stičišču psihofizičnih, duševnih in vedenjskih funkcij organizma, pri čemer je čedalje bolj jasno, da obstoji tudi pomembno prepletanje vseh treh. Psihofizični, duševni in vedenjski procesi vplivajo na človekov odziv na različne dražljaje (npr. pri bolečini).

Posledično narašča tudi potreba po spremembi in nadgrajevanju klasičnega fiziološkega meroslovja. Na čedalje več reguliranih aktivnih področjih tradicionalni fiziološko zasnovani predpisi vedno pogosteje vključujejo človeške dejavnike, npr. kognitivne sposobnosti človeka, kar kaže, da je človeški odziv odvisen tudi od psihofizičnih, duševnih in vedenjskih procesov v kritičnem primeru.

Da se to doseže, je treba najprej opredeliti ustrezno primerne merjene veličine in nato zagotoviti, kadar je to mogoče, njihovo sledljivost na ustrezne enote SI sistema. V nekaterih primerih je treba razviti tudi smernice za oceno merilne negotovosti, npr. kadar so fiziološke veličine z različnih merilnih lestvic (na primer ordinalnega tipa) ali če so meritve kvalitativne in/ali multivariatne.

Elektrodermalna aktivnost kože (EDA) je ena najbolj splošno uporabljenih metod za opazovanje psihološkega stanja človeka prek aktivnosti človeške kože. Meri spremembo električnih lastnosti kože v obliki večje aktivnosti žlez znojnic. Klinično se uporablja v psihopatologiji, dermatologiji, nevrologiji za diagnoze in ovrednotenje terapij [5, 6, 7]. Prevodnost kože se po navadi meri med prstoma ene roke.

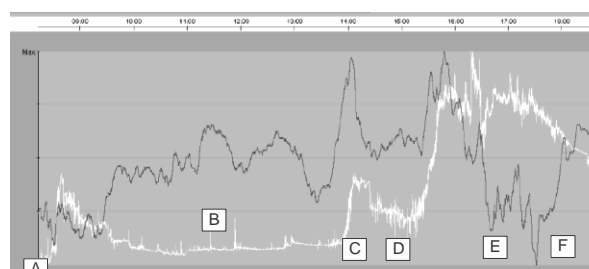
Ugotovljeno je bilo, da je, drugače kot pri dolgotrajnih termoregulacijskih spremembah v prekrvitvi kože zaradi hlajenja (vazokonstrikcija) in grejta (vazodilatacija), sprememba pretoka krvi zaradi

psihološkega dražljaja kratkotrajna (prikaz konkretne meritve vidimo na sliki 5). V topli osebi, ki ima tipično temperaturo prstov 33 °C, tako na primer nenaden dogodek povzroči vazokonstrikcijo v neporaščenem delu kože [8]. Temperatura se sicer po navadi meri na delih telesa z manjšo toplotno maso, na primer na konici prsta s pomočjo hitroodzivnega termometra.

Vrednost srčnega utripa in sprememba srčnega utripa sta parametra, ki sta korelirana s psihološkim stanjem opazovane osebe [9, 10, 11]. Eden osnovnih fizioloških parametrov, ki se močneje spreminjajo zaradi sprememb v psihološkem stanju opazovane osebe, je arterijski krvni tlak [12, 13]. Krvni tlak v psihofizioloških eksperimentih lahko merimo diskretno s pomočjo oscilometrije ali avskultatornih merjenj, zaradi hitrih sprememb pa je primernejše zvezno merjenje, predvsem neinvazivno [14].

Merjenje respiratorne frekvence je ena osnovnih psihofizioloških metod, ki omogočajo objektivno merjenje psihološkega stanja človeka [15, 16].

Med druge neinvazivne meritve uvrščamo različne oblike opazovanja možganov. Aktivnost možganov lahko opazujemo z metodami, ki merijo električni tok, ki se generira zaradi proženja nevronov, ali pa merijo magnetno polje, ki ga ta tok generira. Prvi tip metode je na primer elektroencefalografija (EEG), drugi pa njena magnetna različica magnetoencefalografija (MEG). Metode glede na parameter zaznavanja delimo na tiste, ki neposredno merijo elektromagnetno aktivnost sproženih nevronov, in tiste, ki posredno merijo aktivnost sproženih nevronov prek pretoka krvi. Po načinu delovanja delimo metode na pasivne in aktivne. Aktivne metode vplivajo na možgane in šele nato lahko izmerijo njihovo aktivnost (stimulacija z magnetnim poljem pri fMRI in MRI, injiciranje radioaktivnih organskih molekul pri PET), medtem ko pasivne le zaznavajo elektromagnetno aktivnost sproženih nevronov.



Slika 5: Prikaz temperature kože na nadlakti (temni signal) in prevodnosti kože na nadlakti (beli signal) v enem dnevu sedemletnega otroka. A – začetek pouka, B – pouk, C – odhod na kosilo, D – pouk, E – nogomet, F – gledališka predstava. Opazna je večja psihološka aktivnost ob začetku pouka, odhodu na kosilo in fizični aktivnosti (nogomet) ter umirjanje proti koncu dneva ob ogledu gledališke predstave.

3.2 Človek kot merilni instrument

Na področju »Človek kot merilni instrument« se namesto merilnih instrumentov in opreme za merjenje

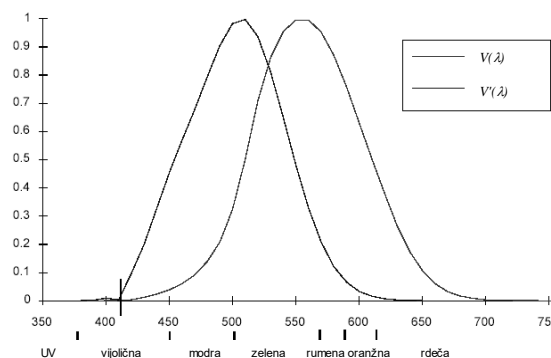
predmetov uporabljajo človeška čutila. Primeri takega senzoričnega merjenja so recimo merjenje kakovosti zraka v prostoru (dober zrak, slab zrak), merjenje občutka ugodja zaradi dotikanja različnih tekstur površin, merjenje naravnosti materialov (to je podobnosti z naravnimi materiali), merjenje pomirjevalnega učinka glasbe ...



Slika 6: Merjenje neznanega vonja s pomočjo človeka kot merilnega instrumenta [4]

Senzorično meroslovje se že v veliki meri uporablja na različnih znanstvenoraziskovalnih področjih, od ugotavljanja kakovosti oljčnega olja, merjenja hrustljivosti ocvrtega krompirčka, merjenja občutka svežine zaradi pitja obarvanih izotoničnih pijač, merjenja zaznane kakovosti zraka, merjenja občutkov pri zapiranju avtomobilskih vrat, merjenja stopnje pomirjenja zaradi zvočne kulise, merjenja zadovoljnosti kupcev ob hladilnih omarah v velikih supermarketih, merjenja čustvene vznburjenosti med igranjem računalniških iger, do ugotavljanja stopnje treme, bolečine ali psihološkega stresa.

Tako je na primer pri določanju zgornjih meja akustičnih signalov, ki so jim izpostavljeni ljudje, treba poleg nivojev zvoka, ki lahko fizično poškodujejo bobnič, upoštevati tudi zaznane raven akustičnih motenj. Sodni primeri, ki se ukvarjajo z okoljsko akustiko, pogosto poudarjajo, da zvok povzroča tudi psihološke motnje pri človeku (npr. zmanjšana sposobnost učenja pri pouku, slabše kognitivne sposobnosti) in ne samo fizioloških učinkov [3]. Podoben primer je vidno zaznavanje. Zgolj fizikalni opis človeškega očesa z zakoni optike ne more v celoti razložiti, zakaj je vid starejših ljudi zaznan kot boljši, kot v resnici je, ali pri bolnikih z umetnimi mrežnicami, ki vidijo jasne slike, čeprav z omejenim številom optičnih detektorjev.



Slika 7: Krivulja fiziološke občutljivosti človeškega očesa, ki jo opisujeta dve krivulji, ena za čepke, druga za paličice človeškega vidnega organa

Senzorično meroslovje pravzaprav ni nekaj novega. Vključevanje človekovih čutil v merjenja je potekalo že prej. Najbolj tipičen primer je merjenje glasnosti zvokov, kjer je poleg jakosti in frekvence zvoka pomembna tudi fiziološka občutljivost človeškega ušesa za zvoke. Še pomembnejša je vključitev fiziologije v klasično meroslovje, celo v realizacijo enote za svetilnost kandelo kot ene izmed osnovnih enot SI sistema. Tako imenovane fotometrične enote ne merijo izključno fizikalnih lastnosti svetlobe, ampak upoštevajo tudi fiziološko občutljivost človeškega organa za vid, ki je v veliki meri odvisna od posameznega človeka. Človeškemu očesu se rumena svetloba zdi svetlejša od rdeče ali modre, čeprav bi instrument, ki meri sevanje svetlobe (radiometer), izmeril enako svetilnost. Če želimo izmeriti, kako svetlo se zdi človeškemu očesu neko sevanje, potrebujemo instrumente, ki na različne valovne dolžine svetlobe reagirajo podobno kot človeško oko. Takšni instrumenti so fotometri in so zasnovani na fiziološki občutljivosti očesa (slika 7 prikazuje utežno funkcijo občutljivosti človeškega očesa za svetlobe različnih valovnih dolžin).

4 SKLEP

Znanost o merjenju obravnava tiste specifične elemente merjenj v splošnem pomenu, ki so pomembni, da lahko medsebojno primerjamo merilne rezultate. Večina merjenj, na primer primerjanja v regulacijskih zankah v tehničnih sistemih, izdajanje najrazličnejših računov na podlagi nečesa izmerjenega, medicinska diagnostika, nadzor okolja, trgovanje in primerjava znanstvenih rezultatov, je najpogosteje namenjena odločanju. Zato je treba znati točno in primerljivo podajati merilne rezultate. In ni dovolj, da je primerljivost zagotovljena zgolj lokalno, saj globalna razsežnost našega celotnega delovanja zahteva globalno primerljivost merilnih rezultatov.

Meroslovje se s tehnološkim razvojem razvija in premaguje nekdanje nepremagljive tehnične, fizikalne in kemijske ovire ter tako omogoča razvoj človeške

znanosti. Nove oblike merjenj, tiste, ki vključujejo tudi človeška čutila, po svoji vsebini niso dosti drugačne od merjenj fizikalnih in kemijskih veličin.

Vsem oblikam merjenja je skupno, da je zaključek merjenja popoln merilni rezultat. Popoln merilni rezultat pa ni sestavljen samo iz izmerjene vrednosti, ampak vsebuje tudi informacijo o tem, kako dobro smo le-to izmerili. Meritev je proces, v katerem se fizikalni veličini nekega objekta dodelita število in enota [17]. Vsaka meritev je izpostavljena negotovostim. Zato merjeni fizikalni veličini nikoli ni mogoče pripisati prave vrednosti z absolutno točnostjo. Vedno imamo opravka z merilno negotovostjo, ki je po definiciji tisti nenegativni parameter, ki opisuje raztros vrednosti veličine in ki ga pripisujemo merjencu [18].

Oba osnovna meroslovna parametra, merilno napako in merilno negotovost, tako lahko določimo po enakih principih pri vseh klasičnih, pa tudi senzoričnih meritvah.

LITERATURA

- [1] <http://www.npl.co.uk/npl/publications/length/>.
- [2] National Measurement System Fundation Programme 1998-2001, NPL, <http://www.dti.gov.uk/nms/prog/old/quantum.pdf>.
- [3] Measurements With Persons: Theory, Methods and Implementation Areas, Taylor&Francis Psychology Press, 2011.
- [4] L. R. Pendrill, R. Emardson, B. Berglund, M. Gröning, A. Höglund, A. Cancedda, Gabriele Quinti, F. Crenna, G. B. Rossi, J. Drnovšek, G. Geršak, G. van der Heijden, K. Kallinen, and N. Ravaja, Measurement with Persons: A European Network, Measure, vol. 5, no. 2, June 2010.
- [5] Z. Poh, N. C. Swenson, R. W. Picard, A Wearable Sensor fo Unobtrusive, Lon-Term Assessment of Electrodermal Actovity, IEEE Trans. Biomed. Eng. vol.57, no. 5, May 2010.
- [6] H. Pazderka-Robinson, J. W. Morrison, P. Flor-Henry, »Electrodermal dissociation of chronic fatigue and depression: evidence for distinct physiological mechanisms», International Journal of Psychophysiology, vol. 53, pp.171– 182, 2004.
- [7] D. C. Fowles, M. J. Christie, R. Edelberg, W. W. Grings, D. T. Lykken, P. H. Venables, Publication Recommendations for Electrodermal Measurements, Psychophysiology, vol. 18, no. 3, 1981.
- [8] A. Kistler, C. Mariauzouls, K. von Berlepsch, Fingertip temperature as an indicator of sympathetic resposes, International Journal of Psychophysiology 29 , 35–41, 1998.
- [9] N. Hjortskov, D. Rissen, A. K. Blangsted, N. Fallentin, U. Lundberg, K. Søgaard, The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work, Eur J Appl Physiol, vol. 92, 84–89, 2009.
- [10] R. McCraty, M. Atkinson, W. A. Tiller, G. Rein, A. D. Watkins, The effects of emotions on short-term power spectrum analysis of heart rate variability, American Journal of Cardiology, vol. 76, 1995.
- [11] Heart rate variability, Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, European Heart Journal, vol. 17, 354–381, 1996.
- [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, Circulation, vol. 94, 2768–2777, 1996.
- [13] 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, 887–891, 2000.
- [14] J. Ogorevc, A. Podlesek, G. Geršak, J. Drnovšek, The effect of mental stress on psychophysiological parameters, 2011 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA 2011), Proceedings, Bari, Italy, 642–645, 2011.
- [15] I. Homma, Y. Masaoka, Breathing rhythms and emotions, Exp Physiol 93.9, 1011–1021, 2008.
- [16] D. Novak, J. Zihelr, A. Olenšek, M. Milavec, J. Podobnik, M. Mihelj, M. Munih, “Psychophysiological Responses to Robotic Rehabilitation Tasks in Stroke”, IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering, vol. 18, no. 4, pp. 351–361, 2010.
- [17] International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM), JCGM 2008, <http://www.bipm.org> in SIST-V ISO/IEC Vodilo 99:2012 Mednarodni slovar za meroslovje - Osnovni in splošni koncepti ter z njimi povezani izrazi (VIM).
- [18] J. Drnovšek, J. Bojkovski, G. Geršak, I. Pušnik, D. Hudoklin, Metrologija, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2012.
- [19] J. Kranjec, S. Beguš, G. Geršak, J. Drnovšek, “Non-contact heart rate and heart rate variability measurements : a review”, Biomedical signal processing and control, 2014, vol. 13, 102–112.
- [20] G. Geršak, “Enostavni nizkocenovni merilniki prevodnosti kože”, Elektrotehniški vestnik, 2013, letn. 80, št. 1/2, 64–72.
- [21] N. Gržinič Freljih, G. Geršak, “Ovrednotenje merilne negotovosti v psihofizioloških meritvah”, Elektrotehniški vestnik, 2013, letn. 80, št. 3, str. 98–104.
- [22] G. Geršak, R. Tavčar, “Psychophysiological evaluation of a simple EEG device”, Elektrotehniški vestnik, 2015, letn. 82, št. 5, str. 277–280-
- [23] N. Gržinič Freljih, A. Podlesek, J. Babič, G. Geršak, “Evaluation of psychological effects on human postural stability”, Measurement, 2017, vol. 98, str. 98.
- [24] J. Kranjec, S. Beguš, G. Geršak, M. Šinkovec, J. Drnovšek, D. Hudoklin, “Design and clinical evaluation of a non-contact heart rate variability measuring device”, Sensors, 2017, vol. 17, no. 11, str. 1–18.

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 deluje na področju psihofizioloških merjenj in meroslovja biomedicinske instrumentacije s poudarkom na napravah za neinvazivno merjenje krvnega tlaka.

Janko Drnovšek je prejel naziv magister znanosti leta 1979 na Imperial College of Science and Technology of London in naziv doktorja znanosti leta 1986 na Univerzi v Ljubljani. Področja njegovega delovanja so teorija merjenja, merilne metode, merilna instrumentacija, standardizacija, akreditacija in evropska tehniška zakonodaja. Je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko, predstojnik Katedre za merjenja in Robotiko in vodja Laboratorija za metrologijo in kakovost na Fakulteti za elektrotehniko.