

Ispitivanje uređaja za mjerenje krvnog tlaka

Vujčuf, Domagoj

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:292472>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Domagoj Vujčuf

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec, dipl. ing.

Student:

Domagoj Vujčuf

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Posebne zasluge za uspjeh dajem dragome Bogu i na zrnu vjere koje me pratilo kroz čitavo vrijeme studiranja te zahvalnost na motivaciji u teškim periodima bez kojih ovo postignuće ne bi bilo toliko vrijedno.

Velike zahvale upućujem mentorici prof.dr.sc. Lovorki Grgec Bermanec kao i asistentima Alenu Jurišincu i Ivanu Matasu na savjetima, trudu i zalaganju u periodu stvaranja ovog diplomskog rada.

Velike zahvale ovim putem dajem svojoj obitelji na pruženoj podršci tijekom studiranja i na svim usponima i padovima koji su me vjerno pratili na ovom trnovitom putu. Također se zahvaljujem svim profesorima i prijateljima koji su me svojim nesebičnim savjetima pomagali u određenim situacijama, te svima onima koji su direktno ili indirektno utjecali na moj dolazak do cilja.

Domagoj Vujčuf



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Domagoj Vujčuf**

JMBAG: 0035206147

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ispitivanje uređaja za mjerenje krvnog tlaka**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Testing of blood pressure measuring devices**

Opis zadatka:

U ovom radu potrebno je opisati metode mjerenja krvnog tlaka te metode ispitivanja neinvazivnih mjerila krvnog tlaka. Usporediti postojeće pravilnike i upute, sastaviti mjernu liniju, provesti niz ispitivanja različitih tipova medicinskih tlakomjera te usporediti rezultate. U radu koristiti postojeću mjernu opremu Laboratorija za procesna mjerenja.

Potrebno je izraditi:

- Pregled metoda mjerenja krvnog tlaka.
- Pregled zakonske regulative za ispitivanje mjerila krvnog tlaka.
- Pregled metoda za ispitivanje uređaja za mjerenje krvnog tlaka.
- Projekt mjerne liniju za sljedivo ispitivanje.
- Opis postupka ispitivanja.
- Primjere ispitivanja medicinskih tlakomjera.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

19. siječnja 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Datum predaje rada:

23. ožujka 2023.

Predviđeni datumi obrane:

27.- 31. ožujka 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
1.1. Mjerenje tlaka	1
1.1.1. Definicija tlaka.....	1
1.1.2. Vrste tlakova i mjerne jedinice	2
1.2. Krvni tlak	3
1.2.1. Anatomija srčanog mišića čovjeka	5
1.2.2. Fiziologija srčanog mišića čovjeka	7
1.2.3. Patologija srčanog mišića.....	8
2. Metode mjerenja arterijskog krvnog tlaka.....	12
2.1. Invazivna metoda mjerenja krvnog tlaka	12
2.2. Neinvazivne metode mjerenja krvnog tlaka.....	15
2.2.1. Sfigmomanometar.....	15
2.2.2. Tehnika mjerenja krvnog tlaka	17
2.2.3. Auskultatorna metoda mjerenja krvnog tlaka	18
2.2.4. Palpacijska metoda mjerenja krvnog tlaka.....	20
2.2.5. Oscilometrijska metoda mjerenja krvnog tlaka	21
2.2.6. Najčešće pogreške u mjerenju krvnog tlaka	22
3. Pregled zakonske regulative za ispitivanje mjerila krvnog tlaka.....	25
3.1. OIML R 16-1 regulativa	25
3.1.1. Terminologija procedure OIML R 16-1	27
3.1.2. Opis kategorije instrumenta	28
3.1.3. Mjerni zahtjevi na uređaj	28
3.1.4. Tehnički zahtjevi.....	28
3.1.5. Mjeriteljski nadzor	30
3.1.6. Dodatak za ispitivanje mjerila za mjerenje krvnog tlaka prema OIML R 16-1..	31
3.2. OIML R 16-2 regulativa	32
3.2.1. Terminologija procedure OIML R 16-2	32
3.2.2. Metrički zahtjevi	32
3.2.3. Metrička kontrola.....	34
4. Postupak ispitivanja uređaja za mjerenje krvnog tlaka.....	35
4.1. Pregled dvaju osnovnih uređaja korištenih u svim mjernim linijama.....	35
4.1.1. Generator tlaka Druck DPI 615	35
4.1.2. Pretvornik tlaka Druck	37
4.1.3. Dokaz o mjernoj sljedivosti radnog etalona.....	38
4.2. Postupak ispitivanja sfigmomanometra s oprugom	41

4.2.1.	Opis spajanja ispitne linije sfigmomanometra s opružnim elementom	41
4.2.2.	Postupak ispitivanja sfigmomanometra s opružnim elementom.....	44
4.3.	Postupak ispitivanja automatskog sfigmomanometra.....	45
4.3.1.	Opis spajanja ispitne linije digitalnog sfigmomanometra.....	45
4.3.2.	Ispitna procedura automatskog sfigmomanometra	47
4.4.	Postupak ispitivanja živinog sfigmomanometra	48
4.4.1.	Opis spajanja ispitne linije živinog sfigmomanometra	48
4.4.2.	Ispitna procedura živinog sfigmomanometra.....	50
4.5.	Ispitivanje manžete živinog sfigmomanometra	51
4.5.1.	Opis spajanja ispitne linije	51
4.5.2.	Ispitna procedura za ispitivanje manžete	52
5.	Analiza rezultata ispitivanja sfigmomanometara.....	55
5.1.	Proračun procijenjene mjerne nesigurnosti.....	56
5.1.1.	Proširena mjerna nesigurnosti za mehanički sfigmomanometar s opružnim elementom.....	57
5.1.2.	Proširena mjerna nesigurnost za digitalni sfigmomanometar	59
5.1.3.	Proširena mjerna nesigurnost za živin sfigmomanometar	61
5.1.4.	Zajednički prikaz odstupanja svih ispitanih mjerila	64
6.	Zaključak	65
LITERATURA.....		66
PRILOZI.....		68

POPIS SLIKA

<i>Slika 1. Prikaz vrsta tlakova: pretlak, potlak i vakuum</i>	2
<i>Slika 2. Prikaz sistoličkog i dijastoličkog tlaka u kontinuiranom radu srca [12]</i>	4
<i>Slika 3. Pregled tlaka u glavnim arterijama u tijelu čovjeka [12]</i>	5
<i>Slika 4. Anatomija srčanog mišića čovjeka [13]</i>	6
<i>Slika 5. Faze sistole i dijastole u normalnom radu srca [14]</i>	7
<i>Slika 6. Kompenzacija srčanog mišića [15]</i>	9
<i>Slika 7. Klasifikacija krvnog tlaka [16]</i>	10
<i>Slika 8. Princip invazivnog mjerenja krvnog tlaka [17]</i>	13
<i>Slika 9. Prikaz zaslona invazivnog mjerenja krvnog tlaka [18]</i>	14
<i>Slika 10. Prikaz zračnog sfigmomanometra [19]</i>	16
<i>Slika 11. Pravilan položaj ruke za mjerenje krvnog tlaka [20]</i>	17
<i>Slika 12. Oprema za auskultatornu metodu mjerenja krvnog tlaka [21]</i>	18
<i>Slika 13. Procedura mjerenja tlaka auskultatornom metodom [22]</i>	19
<i>Slika 14. Prikaz mjerenja tlaka prema kontinuiranim sinusoidama krvnog tlaka [23]</i>	19
<i>Slika 15. Mjerenje krvnog tlaka palpacijskom metodom [24]</i>	20
<i>Slika 16. Oscilometrijska metoda mjerenja krvnog tlaka [25]</i>	21
<i>Slika 17. Dijelovi mehaničkog sfigmomanometra s manžetom [26]</i>	26
<i>Slika 18. Dijelovi živinog mehaničkog sfigmomanometra [27]</i>	27
<i>Slika 19. Izgled zračnog pokazivača za mjerenje krvnog tlaka [7]</i>	29
<i>Slika 20. Automatski sfigmomanometar [28]</i>	34
<i>Slika 21. Kalibrator tlaka Druck DPI 615</i>	36
<i>Slika 22. Pretvornik tlaka Druck (radni etalon)</i>	37
<i>Slika 23. Tlačna vaga (etalon)</i>	39
<i>Slika 24. Prikaz ispitivanog mehaničkog sfigmomanometra</i>	41
<i>Slika 25. Mjerna linija za ispitivanje sfigmomanometra s opružnim elementom</i>	42
<i>Slika 26. Shema spajanja sfigmomanometra s opružnim elementom</i>	43
<i>Slika 27. Mjerna linija s automatskim mjerilom tlaka</i>	46
<i>Slika 28. Shema spajanja digitalnog sfigmomanometra</i>	46
<i>Slika 29. Prikaz ispitne mjerne linije i skale živinog sfigmomanometra</i>	49
<i>Slika 30. Shema spajanja živinog sfigmomanometra</i>	49
<i>Slika 31. Prikaz ispitne linije za ispitivanje manžetom</i>	51
<i>Slika 32. Shematski prikaz spajanja manžete u ispitnu liniju</i>	52
<i>Slika 33. Detalj postavljanja manžete</i>	53
<i>Slika 34. ARTSANA proširena mjerna nesigurnost</i>	59
<i>Slika 35. Grafički prikaz proširene mjerne nesigurnosti (OMRON R6)</i>	61
<i>Slika 36. Proširena mjerna nesigurnost (RIESTER)</i>	63
<i>Slika 37. Prikaz odstupanja pojedinih mjerila</i>	64

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Prikaz različitih izvedenica tlaka</i>	<i>3</i>
<i>Tablica 2 . Najčešće pogreške mjerenja živinim sfigmomanometrom</i>	<i>22</i>
<i>Tablica 3. Pogreške u položaju ispitanika i njihov utjecaj na AT.....</i>	<i>23</i>
<i>Tablica 4. Preporučene veličine manžeta</i>	<i>24</i>
<i>Tablica 5. Tehničke specifikacije Druck DPI 615.....</i>	<i>35</i>
<i>Tablica 6. Tehnički podaci o pretvorniku tlaka (etalonu).....</i>	<i>38</i>
<i>Tablica 7. Tehnički podaci tlačne vage.....</i>	<i>38</i>
<i>Tablica 8. Rezultati mjerne sljedivosti ispitivanja pretvornika tlaka.....</i>	<i>40</i>
<i>Tablica 9. Tehnički podaci o sfigmomanometru s oprugom</i>	<i>43</i>
<i>Tablica 10. Ispitivanje sfigmomanometra s opružnim elementom</i>	<i>44</i>
<i>Tablica 11. Tahnički podaci automatskog sfigmomanometra</i>	<i>45</i>
<i>Tablica 12. Prikaz rezultata ispitivanja automatskog sfigmomanometra.....</i>	<i>47</i>
<i>Tablica 13. Tehnički podaci živinog sfigmomanometra.....</i>	<i>48</i>
<i>Tablica 14. Prikaz rezultata ispitivanja živinog sfigmomanometra.....</i>	<i>50</i>
<i>Tablica 15. Ispitivanje propuštanja manžete</i>	<i>53</i>
<i>Tablica 16. Proračun propuštanja manžete</i>	<i>54</i>
<i>Tablica 17. Osrednjene vrijednosti ispitnih vrijednosti krvnog tlaka.....</i>	<i>55</i>
<i>Tablica 18. Prikaz članova koji formiraju mjernu nesigurnost (ARTSANA)</i>	<i>57</i>
<i>Tablica 19. Rezultati proračuna mjerne nesigurnosti (ARTSANA)</i>	<i>58</i>
<i>Tablica 20. Prikaz članova koji formiraju mjernu nesigurnost (OMRON)</i>	<i>59</i>
<i>Tablica 21. Rezultati proračuna mjerne nesigurnosti (OMRON R6)</i>	<i>60</i>
<i>Tablica 22. Prikaz članova koji formiraju mjernu nesigurnost (Reister)</i>	<i>62</i>
<i>Tablica 23. Rezultati proračuna mjerne nesigurnosti (RIESTER).....</i>	<i>62</i>

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	m^2	površina
b'	mmHg	ponovljivost
dA	m^2	diferencijal površine
dF	Pa/m^2	diferencijal sile
e	mmHg	mjerna nesigurnost etalona
F	$N (Pa/m^2)$	sila
h	mmHg	histereza
k	-	faktor pokrivanja ($k=2$)
p_{ok}	mbar	tlak okoliša
$\bar{p}$	kPa (mmHg)	srednja vrijednost tlaka
p	kPa (mmHg)	tlak
Δp	kPa (mmHg)	razlika tlaka
p_t	kPa/min	gradijent tlaka
r	mmHg	rezolucija
RV	%rv	relativna vlažnost
t	$^{\circ}C$	temperatura
t_{ok}	$^{\circ}C$	temperatura okoline
u	mmHg	standardna mjerna nesigurnost
$u(up/down)$	mmHg	standardna mjerna nesigurnost očitavanja
$u(b')$	mmHg	standardna mjerna nesigurnost ponovljivosti
$u(e)$	mmHg	standardna mjerna nesigurnost etalona
$u(h)$	mmHg	standardna mjerna nesigurnost histereze
$u(r)$	mmHg	standardna mjerna nesigurnost rezolucije
U	mmHg	proširena mjerna nesigurnost

SAŽETAK

Tlak je jedna od najvažnijih složenih fizikalnih veličina u tehnici te se koristi u gotovo svim granama industrije. Također tlak kao takav nam je jako važna veličina kada govorimo o jednoj od glavnih vitalnih funkcija ljudskog organizma. U tom slučaju govorimo o krvnom tlaku s kojim se danas u vezu dovode mnogobrojna stanja organizma koja manje ili više značajno odstupaju od normalnih vrijednosti. Daljnjom analizom u ovom radu opisane su najvažnije metode mjerenja krvnog tlaka koje se danas koriste u modernoj medicini. Također, uz pregled metoda od velike važnosti je nadodati i naglasiti kako su način života i svakodnevne navike od signifikantne važnosti za održavanje normalnih vrijednosti krvnog tlaka. Kako je ovim radom obuhvaćen fundamentalni dio koji određuje stanje organizma modernog čovjeka, tako dolazimo i do važnosti mjerenja krvnog tlaka te osiguranje točnosti uređaja kojima se pribjegava u svrhu ispunjenja zadanih funkcija. Proceduralni dio ispitivanja uređaja za mjerenje krvnog tlaka opisan je međunarodnim regulativama OIML R 16-1 i OIML R 16-2 prema kojima je detaljno opisana procedura ispitivanja. Nakon opisanih procedura unutar ovog rada provedena su i ispitivanja uređaja za mjerenje krvnog tlaka. Ispitivanja su provedena u kontroliranim uvjetima Laboratorija za procesna mjerenja Fakulteta strojarstva i brodogradnje. Ispitani uređaji su dva mehanička sfigmomanometra od kojih je jedan s opružnim elementom (Artsana), a drugi (Riester) sadrži živu kao fluid za mjerenje krvnog tlaka. Treći ispitani uređaj je moderni digitalni sfigmomanometar proizvođača OMRON koji se postavlja na radijalnu arteriju zapešća prilikom mjerenja. Na kraju je ispitana i manžeta na propuštanje tlaka koja se koristi kao vitalan dio živinog sfigmomanometra. Nakon svih provedenih ispitivanja izveden je zaključak kojim je u potpunosti definiran ovaj diplomski rad.

Ključne riječi: tlak, krvni tlak, sfigmomanometar, ispitivanje, etalon, regulativa, procedura

SUMMARY

Pressure is one of the most important complex physical quantities in technology and is used in almost all branches of industry. Pressure as such is also a very important quantity for us when we talk about one of the main vital functions of the human organism. In this case, we are talking about blood pressure, which today is associated with numerous conditions of the organism that deviate more or less significantly from normal values. Further analysis in this thesis describes the most important blood pressure measurement methods that are used in modern medicine. Also, in addition to the review of methods, it is of great importance to add and emphasize that lifestyle and daily habits are of significant importance for maintaining normal blood pressure values. As this work covers the fundamental part that determines the state of the organism of the modern man, we also come to the importance of measuring blood pressure and ensuring the accuracy of the devices that are used for the purpose of fulfilling the given functions. The procedural part of testing blood pressure measurement devices is covered by international regulations OIML R 16-1 and OIML R 16-2, according to which the testing procedure is described in detail. After the procedures described in this thesis, tests of blood pressure measuring devices were also carried out. The tests were carried out in controlled conditions of the laboratory for process measurements of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture. The tested devices are two mechanical sphygmomanometers, one of which has a spring element (Artsana), and the other (Riester) contains mercury as a fluid for measuring blood pressure. The third tested device is a modern digital sphygmomanometer manufactured by OMRON, which is placed on the radial artery of the wrist during measurement. Finally, the pressure leakage cuff, which is used as a vital part of the mercury sphygmomanometer, was tested. After all the tests provided, a conclusion was drawn which fully defined this master thesis.

Key words: pressure, blood pressure, sphygmomanometer, testing, standard, regulation, procedure

1. UVOD

Od samih početaka čovječanstva pojavljuje se potreba za mjerenjem i iskazivanjem mjera kako bi se sporazumno moglo govoriti o istim brojčanim vrijednostima te pripadajućim mjernim jedinicama. Potreba iskazivanja mjera i samog postupka mjerenja pojavila se prvenstveno u građevini i arhitekturi u doba starih naroda i civilizacija. Drugi razlog potrebe mjeriteljstva je trgovanje dobara na tržnicama te mjerenje mase kao jedne od glavnih fizikalnih veličina današnjice. Ubrzanim napredovanjem čovječanstva u svim aspektima ojačalo je i područje razvitka tehnologije te primjene tehnike i raznih naprava. Samim time pojavila se i potreba za nekim novim (izvedenim) mjernim jedinicama koje su kroz vrijeme postale općeprihvaćene konvencijom radi lakšeg sporazumijevanja i trgovanja. Tako dolazimo postupno do mjerenja tlaka koja je također jedno od najvažnijih područja kada govorimo o razvoju tehnike i svih vrsta industrije. Nešto više o tlaku i mjerenju tlaka slijedu u nastavku. Budući da je tema ovog diplomskog rada mjerenje i umjeravanje mjerila krvnog tlaka u nastavku će biti naveden samo kratki teorijski uvod koji općenito definira tlak i pojam mjerenja tlaka, a u nastavku slijedu više o građi srca i krvnom tlaku.

1.1. Mjerenje tlaka

1.1.1. Definicija tlaka

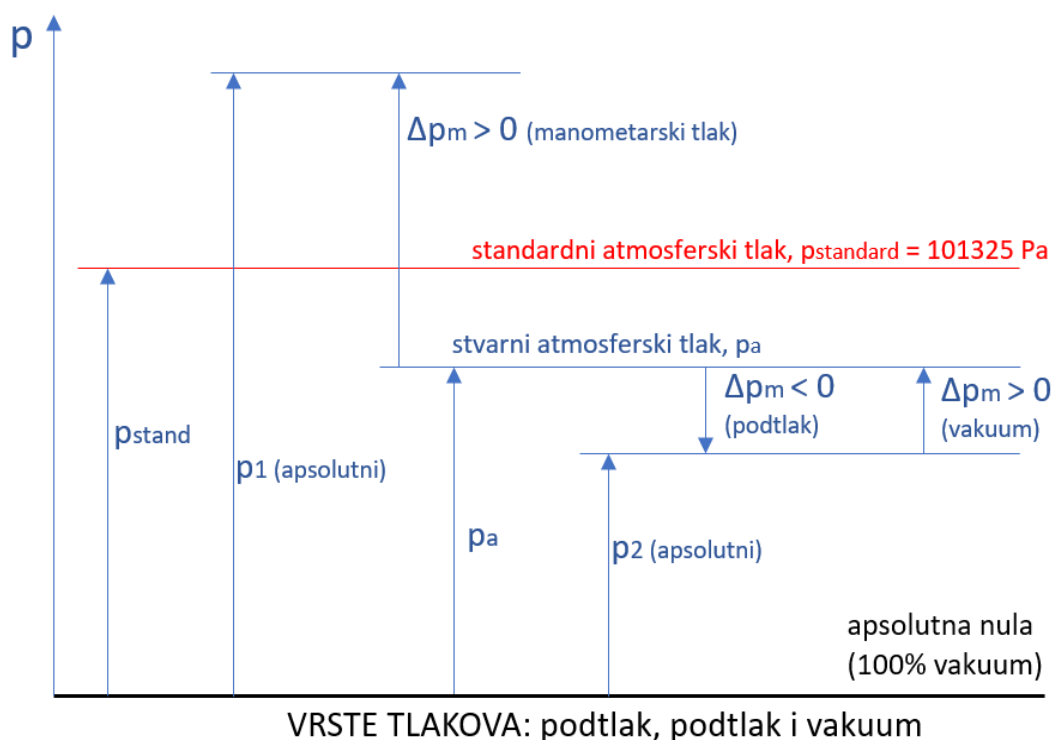
Tlak je fizikalna veličina koja opisuje djelovanje sile na jedinicu površine i mjeri se u pascalima (Pa). Fundamentalna definicija tlaka na atomskoj razini je zapravo broj čestica plina koje se nalaze u određenom volumenu i na taj način stvaraju određeni tlak na površinu stijenke prema kinetičkoj teoriji plinova (zakon idealnog plina). U matematičkom obliku formulacija tlaka sadrži diferencijal sile (dF) koja djeluje na diferencijal površine (dA) te iskazuje se slijedećom jednadžbom:

$$p = \frac{dF}{dA} \quad (1.1)$$

Na *Slici 1.* prikazano je djelovanje sile na površinu. Takvo djelovanje sile na određenu površinu naziva se tlak. Također mjerna jedinica Pascal, 1 Pa je ekvivalent djelovanja sile od 1 N na površinu od 1 m².

1.1.2. Vrste tlakova i mjerne jedinice

Također tlakove razlikujemo prema vrsti što tlak čini ujedno i vrlo široko primjenjivanom fizikalnom veličinom u modernoj tehnici i mjeriteljstvu. Tlak se najčešće klasificira prema iznosu odnosno veličini samog brojčanog podatka o tlaku. Prilikom toga postoje i konvencijom dogovorene mjerne jedinice pogodne za iskazivanje tlaka u određenim prilikama npr. u meteorologiji se tlak izražava u hektopaskalima (hPa) dok se u industriji tlak najčešće izražava u barima (bar). Jedna od životno važnih funkcija je i krvni tlak čija je najčešća mjerna jedinica je kilopaskal (kPa) ili milimetara živinog stupca (mmHg) na kojoj se i bazira ovaj diplomski rad kako je prikazano u nastavku. Budući da je Pascal (Pa) jedinica za tlak vrlo malog iznosa često se koristi njegova izvedenica većih vrijednosti radi lakšeg baratanja. Na *Slici 2.* dan je grafički prikaz vrsta i naziva tlakova u tehnici.



Slika 1. Prikaz vrsta tlakova: pretlak, potlak i vakuum

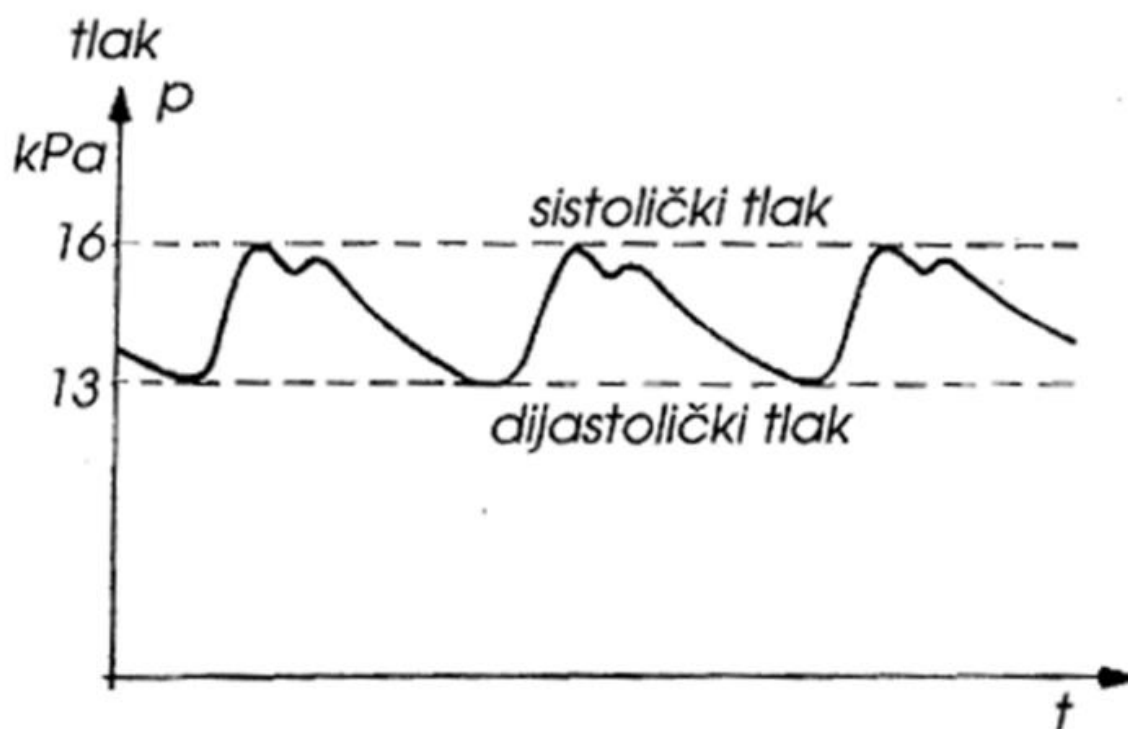
Kako je već ranije napomenuto, osnovna mjerna jedinica tlaka je Pascal (Pa), no ona je sama po sebi izuzetno mala te je stoga praktičnije kombinirati veće mjerne jedinice kako bi se dobilo na jednostavnosti iskazivanja izmjerenih vrijednosti. U *Tablica 1.* u nastavku dane su neke osnovne i najčešće korištene izvedenice mjernih jedinica i iskazivanja vrijednosti tlaka.

Tablica 1. Prikaz različitih izvedenica tlaka

	Pascal (Pa)	bar (bar)	standardna atmosfera (atm)
1 Pa	$\equiv 1 \text{ N/m}^2$	$= 10^{-5} \text{ bar}$	$\approx 9.8692 \cdot 10^{-6} \text{ atm}$
1 bar	$= 100\,000 \text{ Pa}$	$\equiv 10^6 \text{ din/cm}^2$	$\approx 0.98692 \text{ atm}$
1 at	$= 98\,066.5 \text{ Pa}$	$= 0.980665 \text{ bar}$	$\approx 0.96784 \text{ atm}$
1 atm	$= 101\,325 \text{ Pa}$	$= 1.01325 \text{ bar}$	$\equiv 101325 \text{ Pa}$
1 torr	$\approx 133.322 \text{ Pa}$	$\approx 1.3332 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$	$\approx 1.3185 \cdot 10^{-3} \text{ atm}$
1 psi	$\approx 6894.76 \text{ Pa}$	$\approx 68.948 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$	$\approx 68.046 \cdot 10^{-3} \text{ atm}$

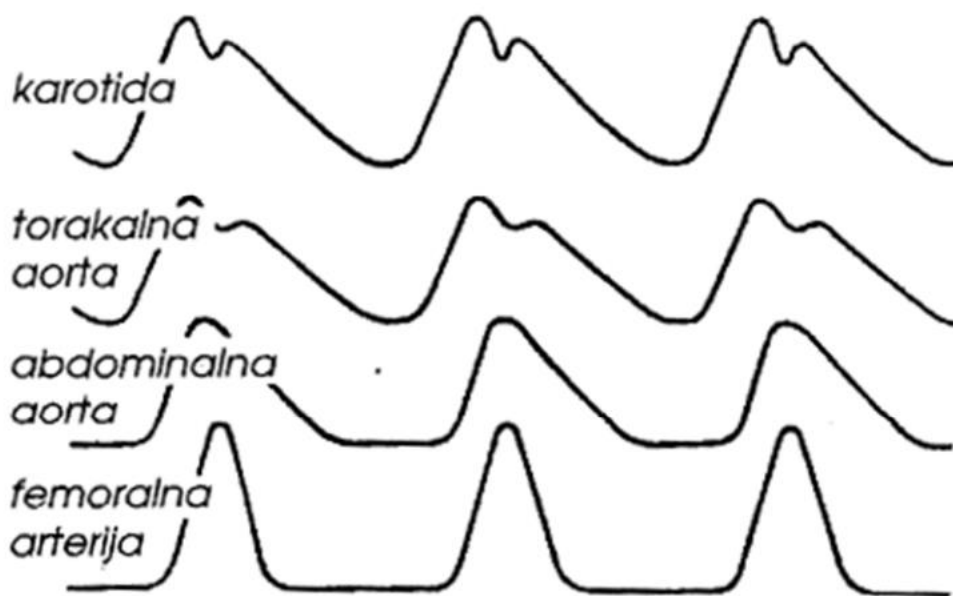
1.2. Krvni tlak

Budući da se nalazimo u okruženju gdje je tlak i njegovo djelovanje neizbježno, tako dolazimo i do potrebe za mjerenjem krvnog tlaka kao jedne od fundamentalno značajnih životnih funkcija. Krvni tlak je jedna od ključnih vitalnih funkcija svakog živog organizma, pa tako i ljudskog. Kod krvnog tlaka razlikujemo dvije vrijednosti, a to su sistolički i dijastolički. Sistolički tlak je po definiciji ostvarena sila na stijenke srčane aorte uslijed kontrakcije ventrikula i ispumpavanja krvi u istu. Dijastolički tlak ima manju vrijednost od sistoličkog i predstavlja zaostali tlak koji se postupno smanjuje prilikom opuštanja srčanog mišića prije novog ciklusa kontrakcije. Normalne vrijednosti sistoličnog (maksimalni) i dijastoličkog (minimalni) tlaka kod odraslih osoba se kreću oko 120/80 mmHg. Preventivnim mjerenjem krvnog tlaka lako možemo zaključiti u kakvom se stanju kardiovaskularni sustav i organizam nalazi. Također vidimo potencijalne probleme koji mogu nastati uslijed neuobičajeno niskih, odnosno visokih vrijednosti krvnog tlaka. Na *Slici 3.* prikazana je razlika između sistoličkog i dijastoličkog tlaka u kontinuiranom radu srca.



Slika 2. Prikaz sistoličkog i dijastoličkog tlaka u kontinuiranom radu srca [12]

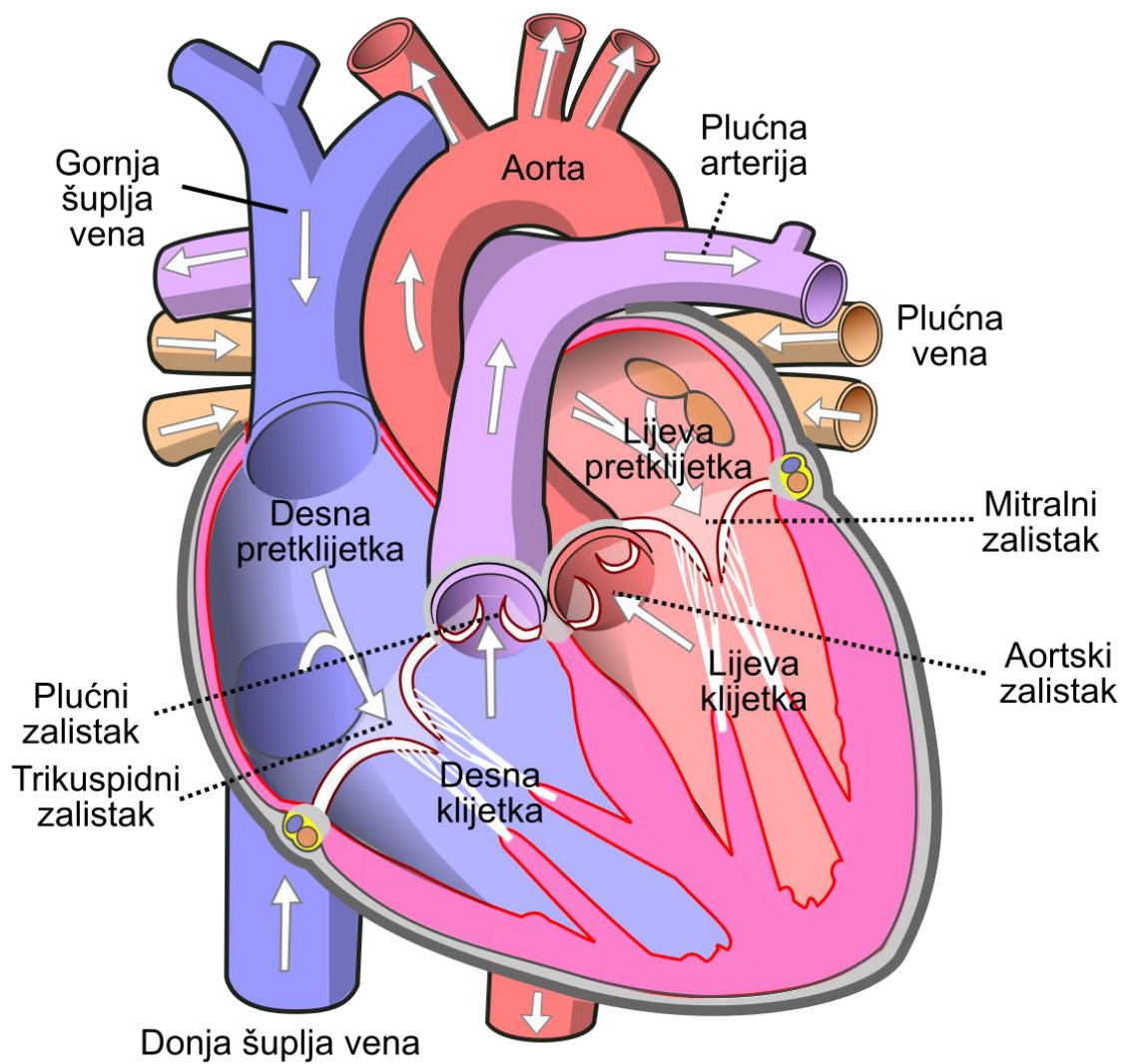
Nadalje, važno je napomenuti da valni oblik sistoličkog tlaka praćenog dijastoličkim nije istog oblika u različitim arterijama u tijelu. U nastavku na Slici 4. prikazani su valni oblici krvnih tlakova u glavnim arterijama u tijelu čovjeka.



Slika 3. Pregled tlaka u glavnim arterijama u tijelu čovjeka [12]

1.2.1. Anatomija srčanog mišića čovjeka

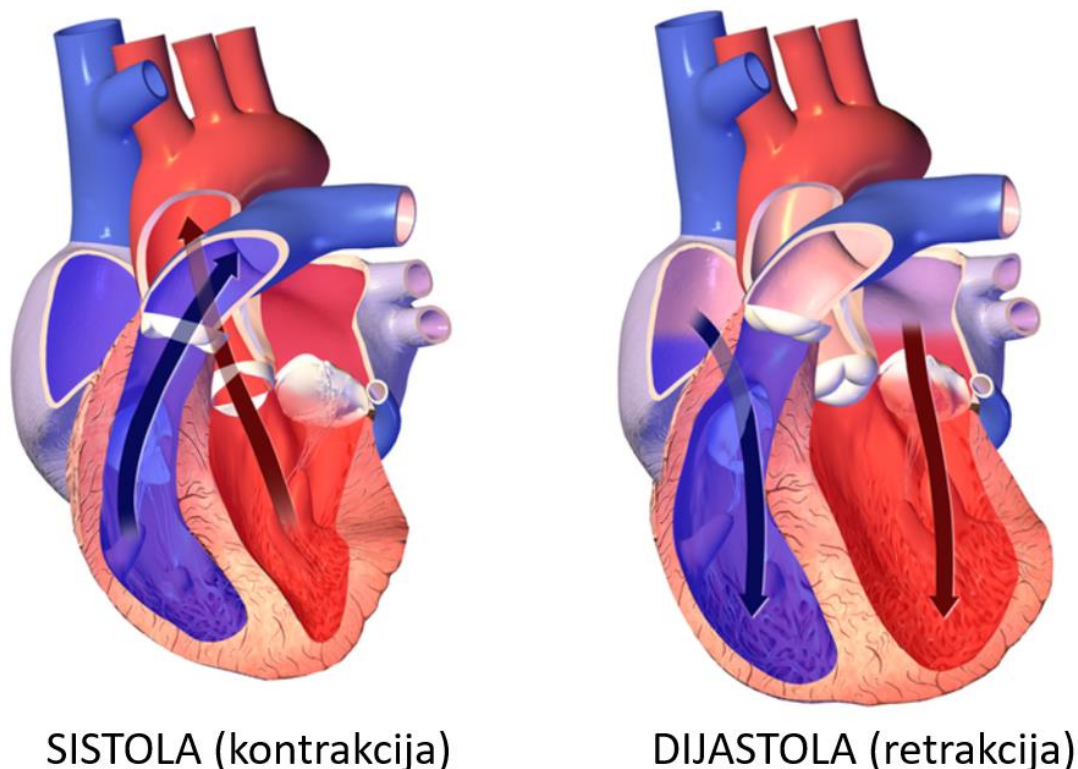
Kako je već i ranije rečeno srce je glavni organ bez kojeg čovjek ne bi bio na životu. Kod odraslog zdravog čovjeka srce je nešto veće od šake, a kod sportaša je ono znatno veće nego kod ostalih ljudi. Prosječna masa zdravog srca je između 200-300 grama. Budući da srce neprestano radi, ono u danu otkuca i do brojke od oko 100 000 puta. Volumenski protok krvi je na razini od oko 5 litara u minuti, dok je to na dnevnoj razini oko 7000 litara. Prema građi prosječnog čovjeka srce je smješteno unutar prsne šupljine pomaknuto malo ulijevo od centralne prsne kosti. Ljudsko srce je šuplji mišić i sastoji se od četiri šupljine, a to su dvije (lijeva i desna) pretklijetka i dvije (lijeva i desna) klijetke. Kako bi se odvojila venska od arterijske krvi srce ima mišićnu pregradu (septum) koja srce čini simetrično podijeljenim. U lijevoj i desnoj strani srca postoje srčani zalisci koji vrše ulogu ventila te kako se krv ne bi mogla vraćati u dio srca iz kojeg je upravo istisnuta. Nadalje, u desnoj polutci srca nalazi se trikuspidalna valvula, dok se u lijevoj polutci nalazi bikuspidalna (mitralna) valvula. Srčani zalisci također postoje u dijelu gdje krv struji u plućnu arteriju odnosno u mali krvotok. Zalisci postoje i u predjelu gdje krv u sistoličkoj fazi ciklusa istječe u aortu iz koje se dalje cijeli organizam napaja svježom krvi. Na Slici 5. prikazan je šuplji srčani mišić s njegovim glavnim dijelovima.



Slika 4. Anatomija srčanog mišića čovjeka [13]

1.2.2. Fiziologija srčanog mišića čovjeka

Srce je kod čovjeka kao i kod svakog živog bića glavni organ koji osigurava dotok svježe krvi u cjelokupni krvožilni sustav. U tijelu čovjeka razlikujemo dva osnovna krvotoka, a to su plućni (mali) i sustavni (veliki) krvotok. Funkcija malog ili plućnog krvotoka je isključivo izmjena ugljikova dioksida za svježi kisik. Takva vrsta cirkulacije ostvaruje se protokom krvi iz desne klijetke do pluća te nakon toga u lijevu pretklijetku. Cirkulacija krvi kroz sustavni (veliki) krvotok počinje iz lijeve klijetke i odvija se kroz glavnu aortu prema ostatku tijela. Pravilnim radom srca osigurava se dovod dovoljne količine svježe krvi obogaćene kisikom u sve dijelove tijela. U radu srca razlikujemo dva procesa, sistolu i dijastolu. Kontrakcijom klijetki (ventrikula) povećava se tlak uslijed čega dolazi do upumpavanja krvi u glavnu arteriju (aortu). Nakon istiskivanja krvi u aortu naglo opada tlak u klijetkama, što nije slučaj u arteriji u koju je krv istisnuta jer refluks sprječavaju semilunarni zalisci (tzv. valvule). Slika 5. prikazuje anatomiju srca te faze sistole i dijastole.



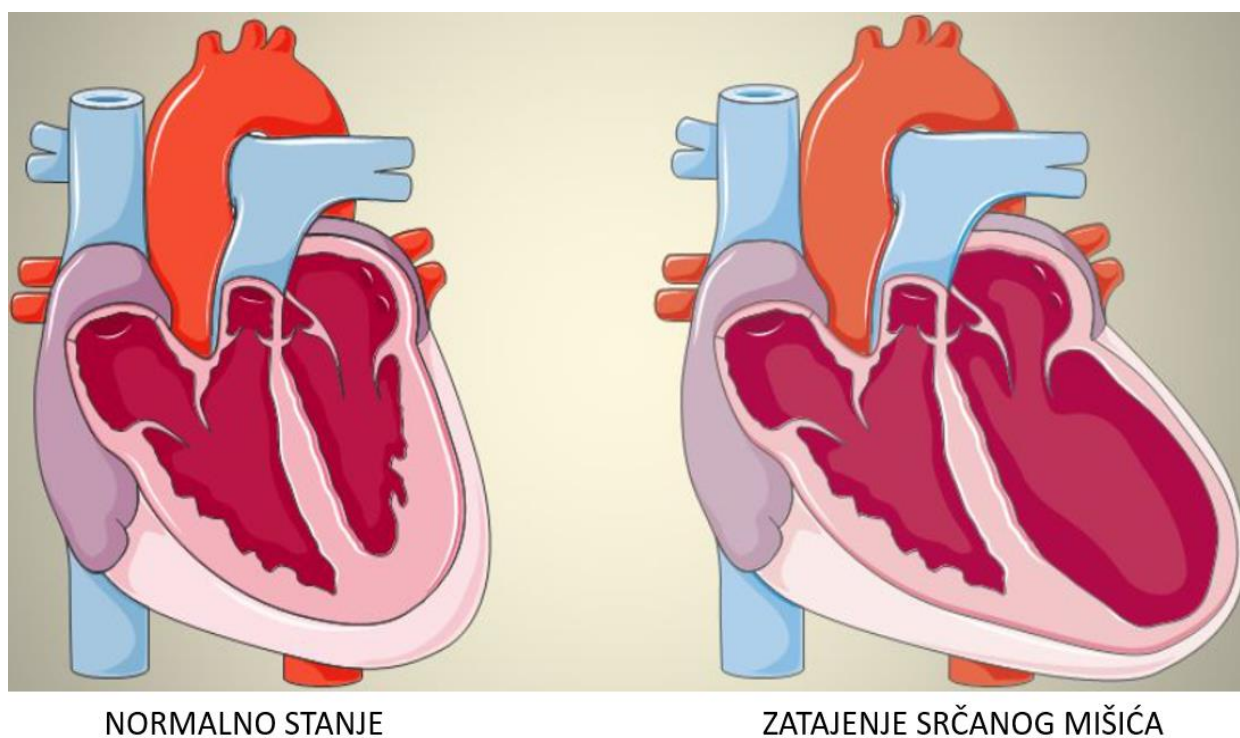
Slika 5. Faze sistole i dijastole u normalnom radu srca [14]

1.2.3. Patologija srčanog mišića

Patologija je znanstvena disciplina koja se bavi istraživanjem bolesti, promjenama na stanicama, tkivima i organima uslijed različitih oboljenja i posljedica istih. Patologija srca je grana patologije koja se bavi istraživanjem bolesti i uzročnika bolesti srca. U tu svrhu ovaj dio patologije je od izuzetne važnosti zbog napretka u pogledu otkrivanja novih znanja i tehnika kojima se pribjegava kako bi se moglo doskočiti problemima vezanima za poremećaju u radu srčanog mišića. U nastavku biti će opisani neki od najčešćih poremećaja u radu srca i svih krucijalnih dijelova srčanog mišića.

- Kompenzacija srčanog mišića

Kompenzacija srčanog mišića predstavlja takvu nepravilnost kod koje srce nije u mogućnosti opskrbiti organizam dovoljnom količinom svježih krvi pa se takva anomalija zove još i zatajenje srca. Glavna osobina kompenzacije srca je povećanje srčanog mišića u svrhu ispunjenja osnovnog zadatka u smislu opskrbe organizma svježom krvlju bogatom kisikom i hranjivim tvarima. Ovakva anomalija u radu popraćena je povećanjem frekvencije otkucaja, hipertrofijom (zadebljenje) stijenke srčanog mišića i dilatacijom srčanih šupljina. Osim što takav način rada znatno utječe na sam srčani mišić, također utječe i na cjelokupno funkcioniranje krvožilnog sustava. Takav poremećaj u radu u cjelini utječe i na krvni tlak koji u tom slučaju ne prati uobičajene vrijednosti kao kod zdravog čovjeka. *Slika 7.* prikazuje nepravilnost srca u pogledu povećanja (kompenzacije) srčanog mišića zbog nedostatne količine krvi koja opskrbljuje organizam svježom krvlju.



Slika 6. Kompenzacija srčanog mišića [15]

- Hipertenzija i hipotenzija

Hipertenzija i hipotenzija su stanja srca u kojem se javlja neuobičajeno povišeni (visoki) i neuobičajeno niski krvni tlak. Ako govorimo o hipertenziji tada je preduvjet za takvu dijagnozu vrijednost sistoličkog tlaka iznad 140 mmHg, dok je vrijednost dijastoličkog tlaka iznad 90 mmHg kroz duži vremenski period praćenja. S druge pak strane hipotenzija je stanje krvnog tlaka gdje je vrijednost sistoličkog tlaka ispod 90 mmHg, a vrijednost dijastoličkog tlaka ispod 60 mmHg. Hipertenzija je tzv. moderna pošast koja se sve češće pojavljuje s godinama zbog načina života. Uzrokuje brojne probleme koji se najčešće pokušavaju kontrolirati uzimanjem terapije za snižavanje tlaka i držanje pod kontrolom. Na Slici 8. dana je klasifikacija krvnog tlaka te pojedine nazive stanja u kojima se tijelo nalazi kada govorimo različitim vrijednostima tlaka od normalne.

KATEGORIJA	SISTOLIČKI TLAK (mmHg)	DIJASTOLIČKI TLAK (mmHg)
optimalan	manje od 120	manje od 80
normalan	120 - 129	80 - 84
visoko normalan	130 - 139	85 - 89
HIPERTENZIJA ILI POVIŠEN KRVNI TLAK		
stupanj I	140 - 159	90 - 99
stupanj II	160 - 179	100 - 109
stupanj III	180 i više	110 i više

Slika 7. Klasifikacija krvnog tlaka [16]

- Srčana aritmija

Srčana aritmija je specifičan poremećaj čija je glavna karakteristika neravnomjerno slanje impulsa koji su odgovorni za kontrakciju i odmor srca. Tako prema srčanoj aritmiji ti signali mogu biti prebrzi, prespori ili se pojavljivati u nepravilnim intervalima. Intervale sporih poremećaja u radu srca zovemo bradiaritmija i tu spada poremećaj u radu sinusnog čvora koji je zadužen za nastanak srčanih impulsa. Poremećaj sinusnog čvora često dovodi do atrioventrikularnog bloka zbog kojeg srčani impuls može potpuno izostati. S druge pak strane imamo ubrzani rad srca koje nazivamo tahiaritmijama koje se često javljaju kao iznenadni intervali s izrazito velikim brojem otkucaja (140-150 otkucaja/min).

- Perikarditis

Kod normalnog rada srčanog mišića srce je smješteno unutar ovojnice i pliva u tekućini koja osigurava minimalno trenje. Perikarditis predstavlja stanje upale srčane ovojnice koja je popraćena povećanim nakupljanjem tekućine između srca i srčane ovojnice. Posljedično perikarditis može nastati nakon infarkta miokarda, traume ili nekog metaboličkog poremećaja. Simptomi perikarditisa su slični uobičajenom infarktu i to su bol u prsištu, a sama bol se može produbljivati prilikom dubokih udisaja.

- Embolusi

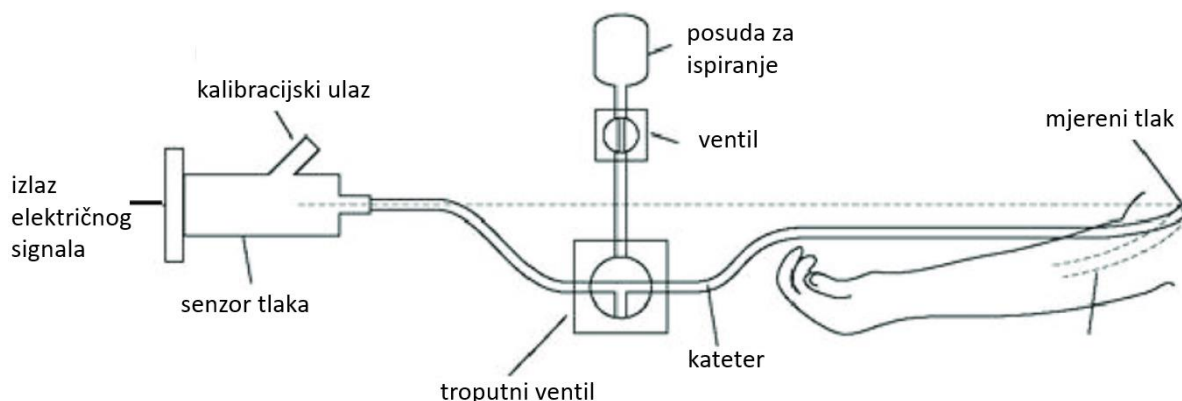
Embolusi su nakupine zgusnute krvi koje mogu protjecati krvožilnim sustavom sve dok se ne zaustave na dijelu gdje je promjer krvne žile manji od promjera ugruška. Veliki ugrušci najčešće nastaju u venama u nogama ili zdjelici te se vraćaju venskom cirkulacijom do pluća. U velikom broju slučajeva se razgrađuju u plućima no ipak ako dođe do masivne embolije tada proces najčešće završava smrtnim ishodom. Intervalnim ponavljanjima embolije u plućima tokom godina nastaju ozbiljnija oštećenja od kojih postepeno odumiru dijelovi plućne flore. Samim time i srčani mišić može doživjeti destruktivni karakter oboljenja na duži period. Posljedica embolusa su najčešće plućna hipertenzija.

2. Metode mjerenja arterijskog krvnog tlaka

Praćenje ili monitoring arterijskog krvnog tlaka može se mjeriti različitim načinima i metodama od kojih su neke više ili manje zastupljene u medicinske svrhe. Cirkulacija krvi prvi puta opisana je prema Williamu Harvey-u 1628. godine u zapadnoj hemisferi. Prvu metodu mjerenja krvnog tlaka opisao je i izveo Stephen Hales 1733. godine. Hales je na principu invazivne metode zarezao karotidu konja te tako izmjerio u trenutku sistole mlaz krvi koji je izašao iz arterije. Nakon toga u XIX. stoljeću ustanovljena je prva neinvazivna metoda čiji su kreatori Karl Vierdot i Samuel Siegfried von Basch. To je prvi sfigmomanometar korišten u svrhe mjerenja krvnog tlaka. Ovo je kratki uvod na početke mjeriteljstva u smjeru mjerenja krvnog tlaka. U nastavku bit će prikazani osnovni principi mjerenja krvnog tlaka koji su korišteni tokom povijesti. Kako je već i ranije navedeno normalna vrijednost sistoličkog arterijskog krvnog tlaka iznosi 16 kPa ili 120 mmHg, dok normalni dijastolički tlak poprima vrijednost približno 10.7 kPa ili 80 mmHg. Iz potrebe za mjerenjem krvnog tlaka potječu dvije osnovne podjele metoda a to su invazivna i neinvazivna metoda.

2.1. Invazivna metoda mjerenja krvnog tlaka

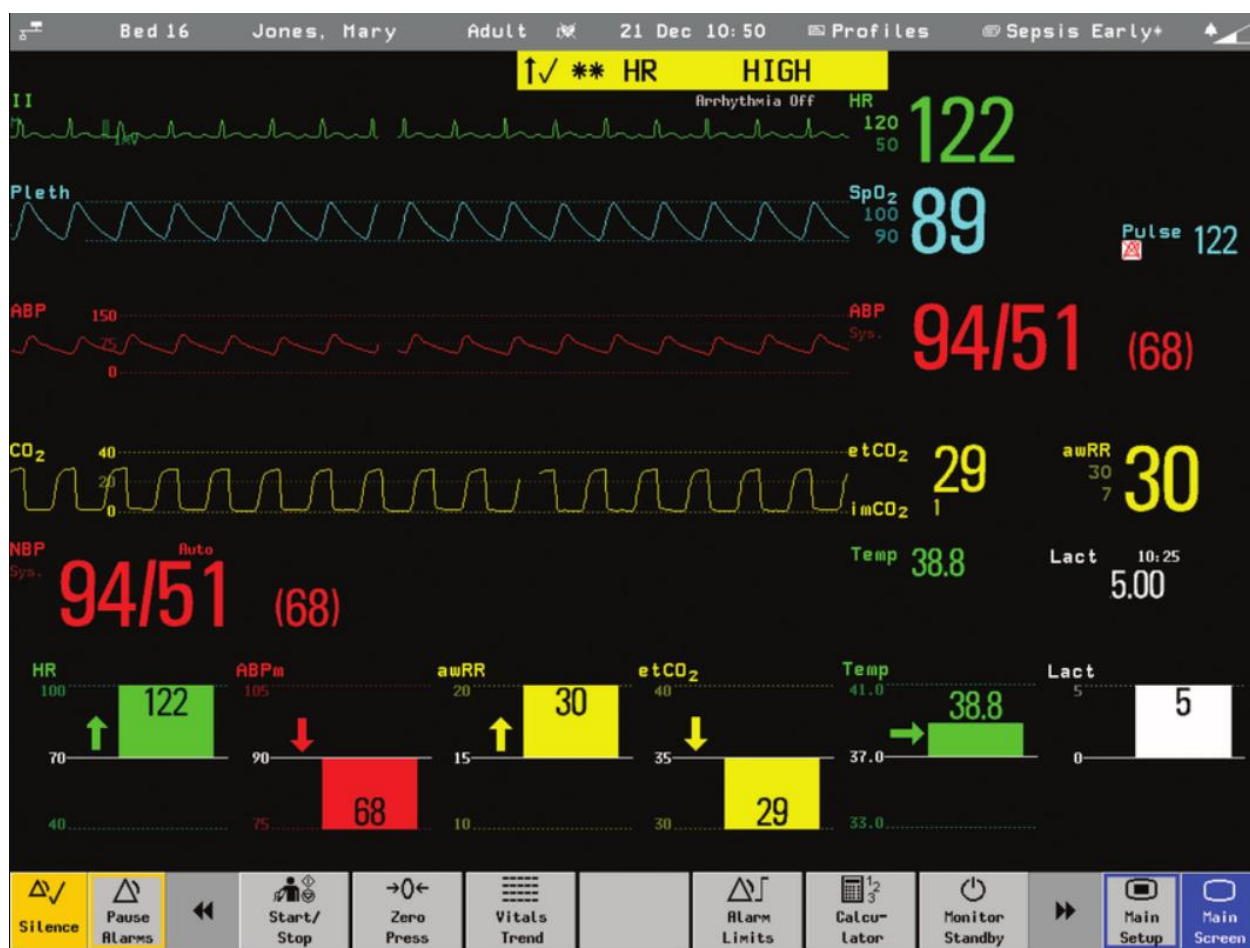
Kod invazivne metode uobičajeno se koristi jedinstvena metoda koja je poprimila određene modifikacije tokom godina prateći tehnološki napredak. Usprkos tome, postupak je principijelno ostao isti sve do danas. Postupak se još naziva i invazivni hemodinamski monitoring. Naglasak kod ove metode mjerenja je kontinuirano praćenje vrijednosti sistoličkog i dijastoličkog tlaka u realnom vremenu. Ova metoda se najčešće koristi kada je pacijent na intenzivnoj njezi u sigurnim uvjetima budući da primjenom ove metode može doći do raznih komplikacija. Jedna od glavnih karakteristika ove metode je preciznost s malom mogućnosti pogreške u mjerenju krvnog tlaka što kod neinvazivnih metoda i nije slučaj. Međutim invazivnom mjerenju arterijskog tlaka se pribjegava samo u određenim slučajevima kao na primjer kada se obavljaju dugotrajni kirurški zahvati, stanja srčanog zastoja i reanimacije te kod čestih uzimanja uzoraka arterijske krvi. *Slika 9.* prikazuje mjernje tlaka invazivnom metodom.



Slika 8. Princip invazivnog mjerenja krvnog tlaka [17]

Kako bi bilo moguće započeti mjerenje krvnog tlaka invazivnom metodom potrebno je osigurati dva preduvjeta. Prvi preduvjet je priprema i kaniliranje jedne od arterija namijenjene za postavljanje braunile, a drugi preduvjet je vezan na pretvorbu mehaničkog signala u električni pomoću odgovarajućeg elektroničkog sklopa (pretvornika). Tehnološkim napredovanjem osigurava se i napredak u samom pretvorniku mehaničkog u električni signal. Kao valjano mjesto pristupa arterijskom sustavu najčešće se biraju mjesta na ruci ili na nozi. Ako se pristupno mjesto odabire na ruci tada možemo govoriti o arteriji radialis, brahialis ili aksilaris. Kada nam je važno da pristupno mjesto arterijskom sustavu bude na nozi tada možemo govoriti o arteriji femoralis, tibialis posterir ili dorsalis pedis. Međutim od svih navedenih mogućih pristupnih arterijskih mjesta najčešće se koristi arterija radialis zbog ispunjenja uvjeta o zadovoljavajućoj količini krvi kojom opskrbljuje šaku. Prilikom pretvaranja mehaničkog signala u električni postoji mala komora koja unutar sebe stvara varijabilni tlak u realnom vremenu. Pomoću pojačala taj se električni signal pretvara u brojčanu vrijednost na zaslonu u valnom obliku kako i dolikuje sistoličkom i dijastoličkom tlaku. Kako ne bi došlo do kontaminacije, sustav je ispunjen fiziološkom otopinom s dozom heparina za kontinuirano ispiranje braunile. Za precizno mjerenje pretvarač tlaka mora biti smješten u visini dense pretklijetke jer svaka nepravilnost u pozicioniranju pretvarača unosi određenu grešku u mjerenje. Nakon toga se sustav pažljivo ispuni tekućinom te se izlazni kabel pretvarača konektira sa zaslonom za praćenje tlaka. Prije početka kontinuiranog praćenja tlaka u realnom vremenu potrebno je kalibrirati sustav s čime se obavlja potrebno izjednačavanje tlakova.

Nakon spajanja sustava i obavljanja svih predradnji za normalno funkcioniranje kontinuiranog mjerenja tlaka stupac fiziološke otopine i arterijski valni oblik tlaka zajedno pulsiraju u fazi te se na poslijetku pretvaraju u električni signal. Pretvaranjem mehaničkog podražaja u električni oblik na zaslonu ekrana pojavljuju se brojčane vrijednosti sistoličkog, dijastoličkog i srednjeg arterijskog tlaka u realnom vremenu. Slika 10. prikazuje zaslon invazivnog kontinuiranog mjerenja krvnog tlaka. Budući da se u okvirima ovog diplomskog rada neće ispitivati uređaj za invazivno mjerenje krvnog tlaka nije potrebno detaljno ulaziti u pregled i konstrukciju samog uređaja.



Slika 9. Prikaz zaslona invazivnog mjerenja krvnog tlaka [18]

2.2. Neinvazivne metode mjerenja krvnog tlaka

Kod neinvazivnih metoda glavni čimbenik je taj što nema doticaja s kardiovaskularnim sustavom i uvođenja kanile za direktno omogućavanje mjerenja pulsacije arterijskog tlaka. Indirektnu metodu za mjerenje arterijskog tlaka je usavršio Scipione Riva-Rocci sada već davne 1896. godine dok je Korokoff 1905. godine opsiao aukskulatornu metodu (jednu od dvije najpoznatije metode mjerenja krvnog tlaka). Druga općeprihvaćena metoda mjerenja arterijskog krvnog tlaka je palpacijska metoda. Obje metode su prihvaćene i korištene u navedene svrhe, međutim kod aukskulatorne metode je izbačena uporaba žive kao fluida pomoću kojeg se očitava tlak na mjernoj skali. U daljnjem razmatranju detaljnije će se opisati dvije najčešće korištene metode mjerenja arterijskog krvnog tlaka, a to su auskulatorna i palpacijska metoda.

2.2.1. Sfigmomanometar

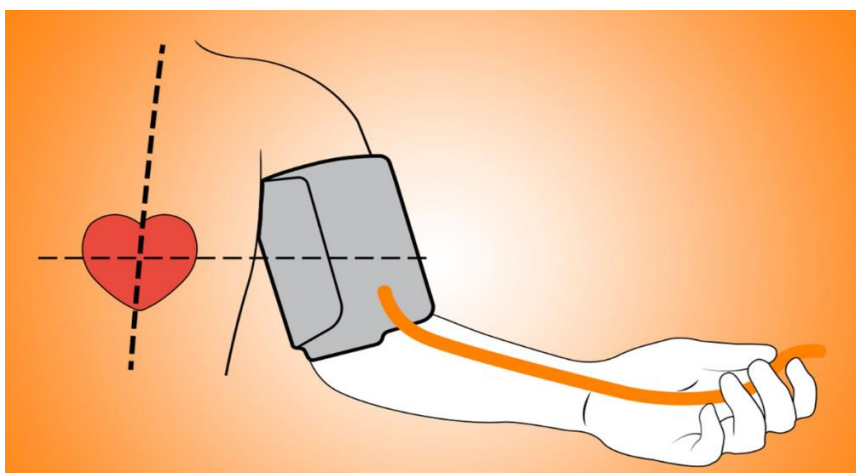
Tlakomjer (grč. sfigmomanometar) je uređaj za mjerenje krvnog tlaka te kao takav se koristi u svim uređajima koji rade na principu živinog stupca, mehanički i digitalni sfigmomanometri. Mehanički sfigmomanometar može raditi na dva osnovna principa, a to su praćenje tlaka pomoću stupca žive ili zračnog manometra. Princip rada sfigmomanometra je da se ostvarivanjem tlaka u manžeti nadvlada arterijski tlak i prekine dotok krvi. Nakon što se tlak u arteriji nadvlada i zaustavi protok krvi počinje se postepeno otpuštati narinuti tlak u manžeti. Otpuštanjem pritiska u manžeti počinju se pojavljivati šumovi te se tako označava ponovni početak dotjecanja krvi u taj predio (najčešće ruke). Na poslijetku kada šumovi potpuno izostanu strujanje krvi opet postaje normalno i kontinuirano. Pojavom šumova označava se i očitava sistolički tlak, a izostajanjem istih se označava dijastolički tlak također očitanjem na analognom mjerilu tlaka. *Slika 11.* prikazuje sfigmomanometar, a sami uređaj se sastoji od orukvice ili manžete, elastičnih gumenih crijeva i mjerila za očitavanje krvnog tlaka. Ovaj koncept je najviše korišten na uređajima neinvazivnog mjerenja krvnog tlaka bilo da se radi o analognim ili digitalnim mjerilima.



Slika 10. Prikaz zračnog sfigmomanometra [19]

2.2.2. Tehnika mjerenja krvnog tlaka

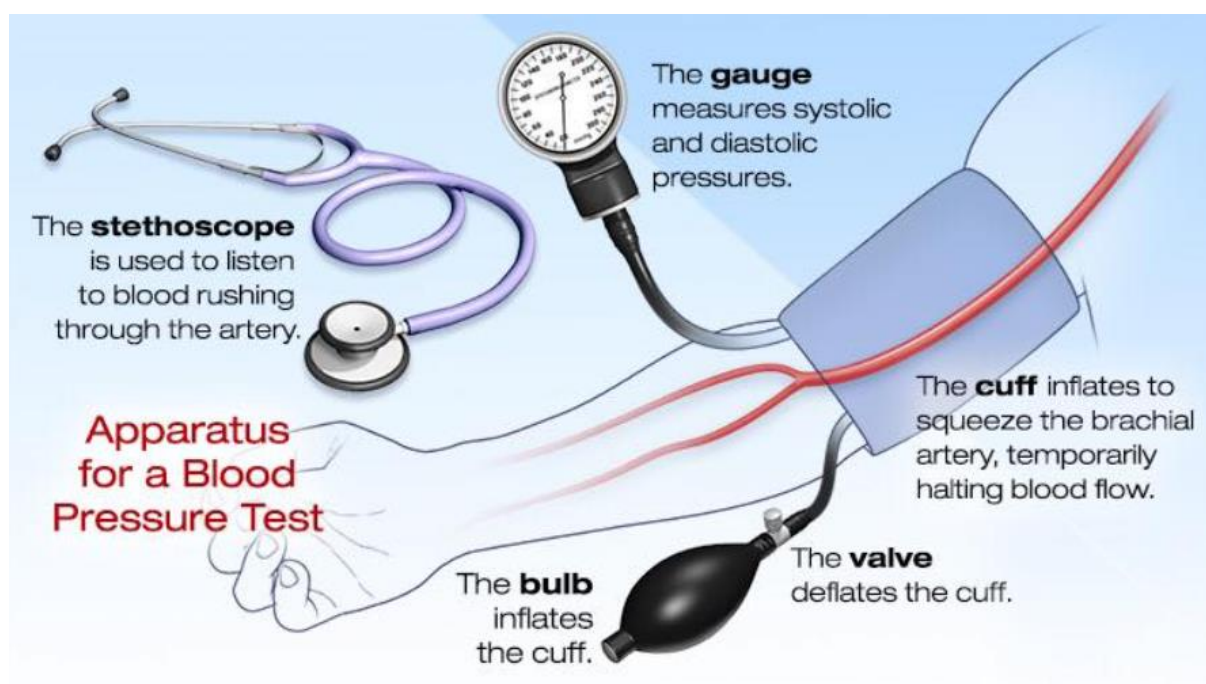
Ispravno mjerenje arterijskog tlaka ključan je preduvjet za postavku ispravne dijagnoze te shodno tome pravilan pristup pacijentu u pogledu nadzora i liječenja mogućih neželjenih stanja. Osim naglaska na važnosti baždarenja i pouzdanosti uređaja za mjerenje krvnog tlaka također izuzetno bitna stavka je tehnika mjerenja. Naime, kada govorimo o pravilnom mjerenju tada moramo sve relevantne parametre uzeti u obzir, a tiču se samog mjerila i ispitanika. Bitan početni faktor u proceduri mjerenja izdvaja se razlika između arterijskog tlaka (AT-a) lijeve i desne ruke te se kao relevantan uzima onaj s višom vrijednošću. Međutim odabir ruke za mjerenje AT-a nije određen pravilnikom. Kako bi mjerenje bilo relevantno odabrana ruka ne smije imati neurološka oštećenja ili bilo kakve druge nedostatke koji bi mogli izravno utjecati na pouzdanost mjerenja. Nakon prvog mjerenja krvnog tlaka iduće mjerenje se ponavlja nakon pauze od jedne minute. U slučaju da rezultat mjerenja odstupa više od 5 mmHg tada se radi i treće mjerenje te se na poslijetku određuje aritmetička sredina obavljenih mjerenja. Neposredno prije samog mjerenja važno je da se ni na koji način ne utječe na protok krvi kroz arteriju kako mehaničkim tako i bilo kojim drugim načinom. Drugi utjecaj može biti rukav odjeće koji smanjuje mogućnost postavljanja manžete. Samim time rukav nošene odjeće u trenutku provođenja mjerenja ima doprinos u odstupanju u očitavanju. Kako bi se prevenirale moguće vanjske smetnje idući naglasak je na mirnom sjedećem položaju ispitanika i opuštenosti gornjeg ekstremiteta na kojem se provodi mjerenje. Ruka mora biti podbočena i ekstenzirana na čvrstu podlogu (stol), te mjerna sredina nadlaktice mora biti u razini visine desnog atrija (*Slika 12.*). Potrebno je izbjegavati bilo kakve kontrakcije ekstremiteta.



Slika 11. Pravilan položaj ruke za mjerenje krvnog tlaka [20]

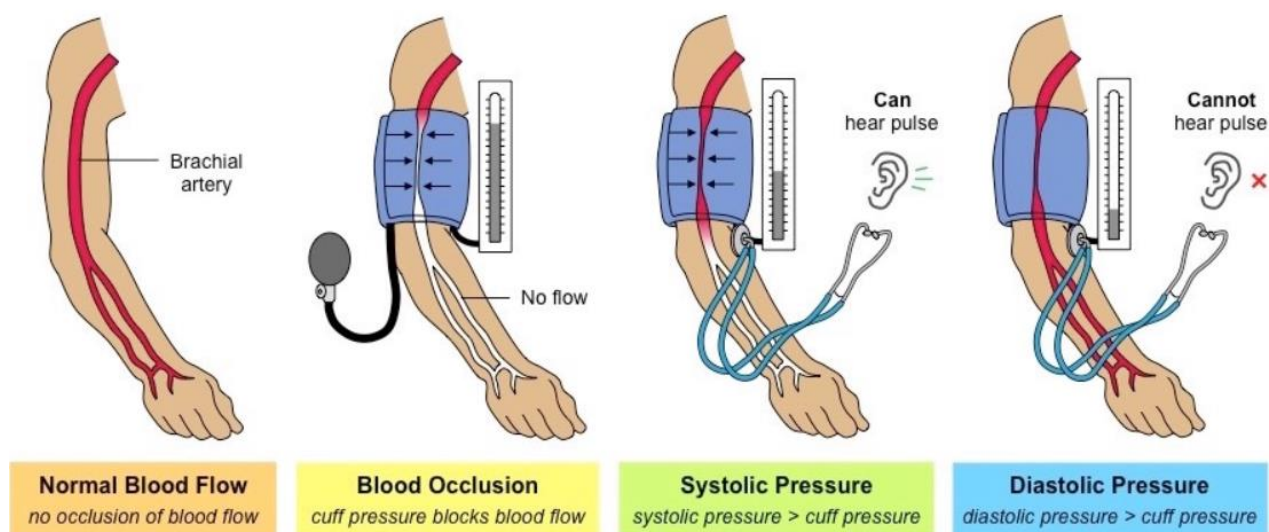
2.2.3. Auskulatorna metoda mjerenja krvnog tlaka

Auskulatorna metoda (Riva-Rocci) mjerenja krvnog tlaka je metoda čiji temelj počiva na mjerenju stupca žive unutar oglednog staklenog dijela ispunjenog živom. To je ujedno i najkorištenija metoda mjerenja krvnog tlaka, a počiva na upotrebi tlakomjera i stetoskopa. Kod auskulatorne metode postpak pripreme za mjerenje krvnog tlaka započinje stavljanjem manžete na nadlakticu i to na takav način da je donji rub manžete udaljen dva do tri centimetra od kubitalne jame. Slika 13. prikazuje asukulatornu metodu mjerenja krvnog tlaka.



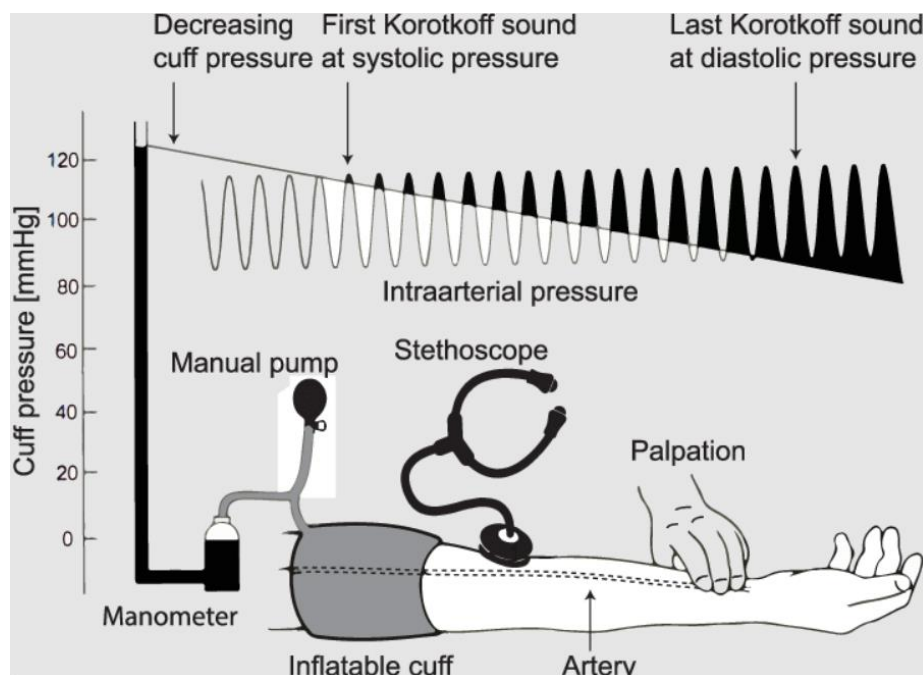
Slika 12. Oprema za auskulatornu metodu mjerenja krvnog tlaka [21]

Nakon toga se u manžetu upuhuje zrak do otprilike 30 mmHg iznad tlaka pri kojem izostaju svi zvučni podražaji koji se još nazivaju i Korotkoffljevi šumovi. Postupnim i polaganim otpuštanjem tlaka u manžeti na prvu pojavu šumova bilježi se sistolički tlak. Nakon što se tlak ispusti približno do kraja tada se čuje zadnji šum i označava dijastolički tlak. Cijelo to vrijeme tijekom polaganog ispuštanja tlaka u manžeti stetoskopom se prate inicijalizirani šumovi. Procedura mjerenja krvnog tlaka auskulatornom metodom slikovito je prikazana na Slici 14.



Slika 13. Procedura mjerenja tlaka auskultatornom metodom [22]

Prije pojave šumova važno je napomenuti da je narinuti tlak u manžeti toliko veći od krvnog tlaka da potpuno zaustavlja krvotok kroz arteriju u tom dijelu ekstremiteta. Isto tako na Slici 15. prikazani su kontinuirani otkucaji srca te pravilna procedura mjerenja i očitavanja sistoličkog i dijastoličkog tlaka Korotkoff-ovih šumova.



Slika 14. Prikaz mjerenja tlaka prema kontinuiranim sinusoidama krvnog tlaka [23]

2.2.4. *Palpacijska metoda mjerenja krvnog tlaka*

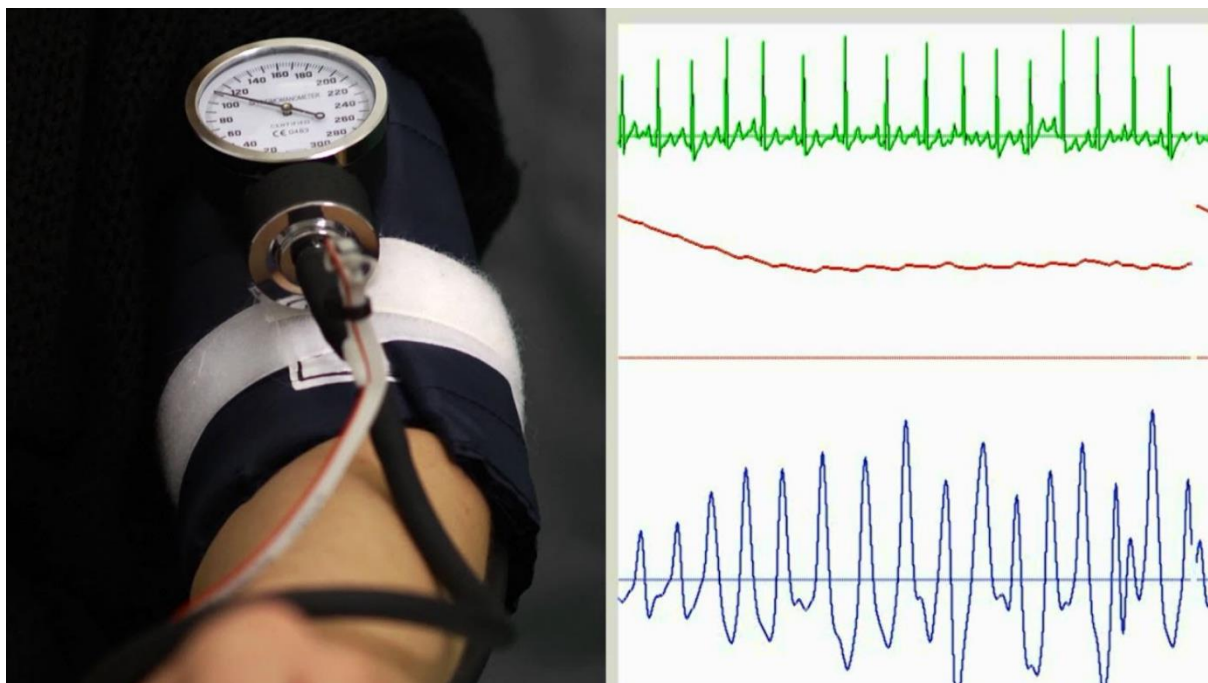
Palpacijska metoda mjerenja krvnog tlaka je isključivo orijentacijskih vrijednosti ako je potrebno hitno izmjeriti stanje AT-a. Nadalje kod ove metode moguće je izmjeriti isključivo sistolički tlak i to po principu sličnom kao kod auskultatorne metode, međutim jedina je razlika u očitavanju. Navedena metoda ne koristi stetoskop prilikom očitavanja vrijednosti tlaka pa se mora pratiti puls na radijalnoj arteriji. Naime, kod palpacijske metode ispitaniku se postavi sfigmomanometar prema tehničkim naputcima navedenim u literaturi te se narine tlak do 30 mmHg preko vrijednosti kada prestaju otkucaji. Nakon toga se postupno otpušta tlak u manžeti i istovremeno se dodirujući na radijalnu arteriju prati pojava prvih otkucaja sistole te to predstavlja sistolički tlak. Budući da se ovom metodom ne dobiva samo vrijednost sistoličkog tlaka on se onda shodno tome označava na način da se zapiše izmjerenja vrijednost te kosom crtom i s velikim tiskanim slovom P označi metoda mjerenja, (npr. 120/P). Na *Slici 16.* prikazan je postupak mjerenja krvnog tlaka živinim sfigmomanometrom te se taktilnim osjetom određuje pojava pulsa odnosno tlaka uzrokovanog periodom sistole. Kod ovog mjerenja sistolički tlak je obično do 10 mmHg niži od stvarne vrijednosti pa se s time unosi dodatna nesigurnost u mjerenje.



Slika 15. Mjerenje krvnog tlaka palpacijskom metodom [24]

2.2.5. Oscilometrijska metoda mjerenja krvnog tlaka

Oscilometrijska metoda mjerenja krvnog tlaka trenutno je najčešće korištena automatska metoda mjerenja krvnog tlaka kako u medicinskim ordinacijama tako i u kućnoj upotrebi. Ova metoda kontinuirano bilježi promjene vrijednosti pulsno vala arterijskog krvnog tlaka prilikom svakog otkucaja srca kroz cjelokupno vrijeme mjerenja. Sam naziv govori da se radi o metodi koja koristi automatski mjerač krvnog tlaka koji se sastoji od manžete, senzora za detekciju pulsni valova te elektronike koja je zaslužna za obradu i prikaz podataka vezanih za vrijednosti krvnog tlaka. Prilikom mjerenja manžeta se napuhuje sve dok se ne zaustavi protjecanje krvi kroz brahijalnu arteriju. Nakon toga manžeta se otpušta te senzor počinje očitavati oscilacije koje nastaju protjecanjem krvi kroz arteriju u nadlaktici. Za to vrijeme elektronika u mjerilu krvnog tlaka prima i obrađuje podražaje pomoću mehaničko-elektroničkog pretvarača u vrijednosti sistoličkog i dijastoličkog tlaka. Ova metoda je brza, jednostavna i učinkovita. Na *Slici 17.* prikazana navedena metoda mjerenje tlaka. Budući da se ovom metodom oscilacije tlaka prate kroz vrijeme tada se jednostavno korigiraju početne unešene pogreške.



Slika 16. Oscilometrijska metoda mjerenja krvnog tlaka [25]

2.2.6. Najčešće pogreške u mjerenju krvnog tlaka

Budući da su navedene metode neinvazivnog karaktera, a tiču se mjerenja krvnog tlaka, potrebno je imati na umu da se na razne načine može unijeti određena pogreška u samo mjerenje. Samim time izvor pogreške mjerenja najčešće dolazi od strane osobe koja vrši mjerenje, ispitanika i mjernog uređaja. Prema tome u nastavku će biti navedeni određeni parametri koji mogu utjecati na vjerodostojnost mjerenja.

- **Mjeritelj** snosi svu odgovornost o mjerenju krvnog tlaka ispitanika. On se mora pobrinuti za ispravnost uređaja i pripremu ispitanika prije postupka mjerenja te isto tako i za vlastitu pripremu. Također bitno je primjetiti da je i u slučaju točnog mjerenja ponekad opet greška mjeritelja zbog zaokruživanja vrijednosti. U idućoj tablici prikazane su moguće unešene pogreške mjerenja.

Tablica 2 . Najčešće pogreške mjerenja živinim sfigmomanometrom

Pogreške mjeritelja	Tehničke pogreške
Zaokruživanje na najbližu 0	Neipravan i neispitan uređaj
Samo jedno mjerenje	Neispravna i neadekvatna veličina orukvice
Dijastolički tlak u IV. fazi	Razina očiju izvan razine živinog manometra
Umor i slabo pamćenje	Pogrešan položaj ispitanika
Slab vid i sluh	Mjerenje bez palpacije arterije radialis

- **Položaj ispitanika** mora biti u sjedećem položaju neopterećeno najmanje pet minuta prije mjerenja. Donji ekstremiteti moraju biti mirno položeni, a na samom mjerenju AT se mjeri na obje ruke. Ukoliko postoje odstupanja veća od 20 mmHg za sistolički i 10 mmHg za dijastolički tlak ispitanika je potrebno nadzirati i po potrebi uputiti u specijalističku ordinaciju. Tablica u nastavku daje uobičajene pogreške ispitanika u procesu mjerenja krvnog tlaka.

Tablica 3. Pogreške u položaju ispitanika i njihov utjecaj na AT

Položaj ispitanika	Promjena arterijskog tlaka (mmHg)
Sjedenje bez naslanjanja leđa	↑ porast dijastoličkog tlaka za 6 mmHg
Prekrižene noge	↑ porast sistoličkog tlaka za 8-10 mmHg
Nepoduprta ruka	↑ porast tlaka za 8-10 mmHg
Ruka iznad razine desnog atrija	↓ lažno
Ruka ispod razine desnog atrija	↑ lažno
Prebrzo ispuhivanje balona	↓ sistolički lažno

- **Neispravna oprema** neovisno o metodi neinvazivnog mjerenja može biti utjecajan čimbenik u ispravnosti mjerenja AT-a. Za sada je i dalje pokazano kako najtočnija mjerenja u kliničkim ispitivanjima isporučuju živini manometri. Posebnu pozornost iziskuje redovita kalibracija i održavanje svih uređaja jednom godišnje. Tlakomjer koji je ispravan i može se koristiti mora moći dostići tlak 30 mmHg iznad palpiranog pulsa arterije radijalis. Navedeni tlak se mora dostići unutar 5 sekundi kada je ventil zatvoren te ispuhivati sporije od 3 mmHg u sekundi. Također je važna i veličina manžete što se poglavito odnosi na dob i uzrast ispitanika. Pogrešan odabir manžete automatski unosi određenu grešku u mjerenje AT-a. Pravilna manžeta je dugačka do oko 80% opsega nadlaktice tako da pravilno obuhvati područje koje je predviđeno za mjerenje tlaka. Tablica u nastavku prikazuje preporučene veličine manžete.

Tablica 4. Preporučene veličine manžeta

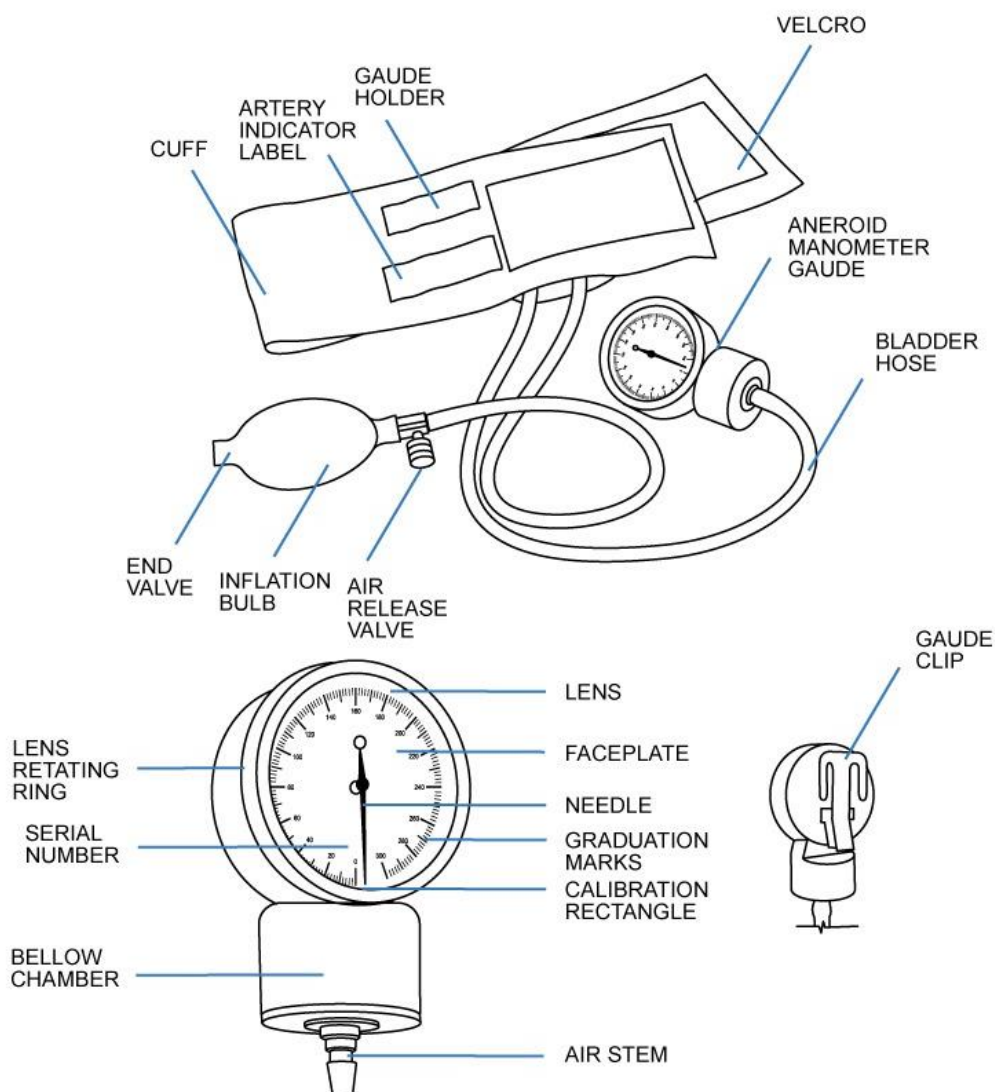
Britansko društvo za hipertenziju	Američko društvo za hipertenziju
Standardna veličina manžete za odrasle: 12x26 cm	Opseg nadlaktice 27-37: 13x30 cm
Pretilo osobe: 12x40 cm	Opseg nadlaktice 35-44: 16x38 cm
Djeca i mršavi odrasli: 12x18 cm	Opseg nadlaktice 45-52: 20x42 cm

3. Pregled zakonske regulative za ispitivanje mjerila krvnog tlaka

Mjerenje krvnog tlaka jedan je od najvažnijih parametara za praćenje stanja ljudskog organizma i prva mjera provjere vitalnih funkcija u slučaju životne opasnosti. Kako bi se osiguralo da su mjerenja točna potrebno je pratiti zakonske smjernice i regulative kojima se osigurava proceduralna ispravnost postupaka za održavanje. Stoga je u narednom tekstu dan uvid u osnovne zakonske regulative koje se odnose na postupanje s mjerilima i uređajima za mjerenje krvnog tlaka. Zakonske regulative koje se tiču mjerila krvnog tlaka izdana su od strane OIML (International Organization for Legal Metrology) institucije koja provodi te osigurava certifikaciju i akreditaciju svih uređaja za mjerenje krvnog tlaka. Od strane ove institucije izdane preporučene regulative prema kojima se po točno određenoj proceduri pristupa pregledu i postupanju s medicinskim tlakomjerima. Državni zavod za mjeriteljstvo nalaže određene norme i pravilnike koji se poštuju u slučaju da ne postoji neka viša instanca. No, međutim, budući da je OIML sveobuhvatni dokument koji izdaje proceduru i metode ispitivanja u ovom diplomskom radu će se uzeti kao relevantni pravilnik. U nastavku su opisane dvije najčešće korištene OIML regulative i to su OIML R 16-1 i OIML R 16-2.

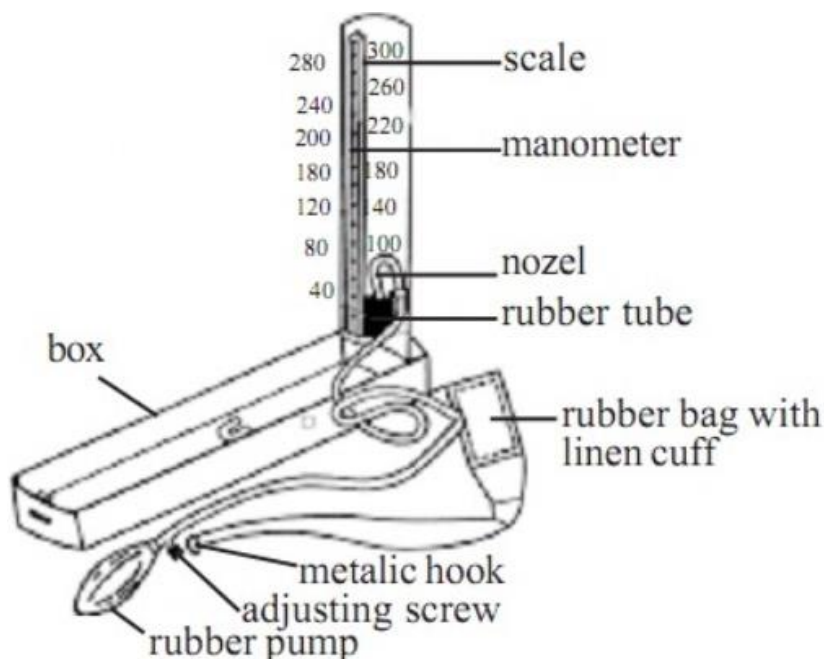
3.1. OIML R 16-1 regulativa

Ova regulativa predstavlja proceduru priloženu za ispitivanje neinvazivnom metodom mehaničkih sfigmomanometara koji uključuju manualno mjerenje krvnog tlaka. Procedura uključuje generalne smjernice, specifikaciju performansi, učinkovitost te mehaničke i elektroničke sigurnosne zahtjeve uključujući metode ispitivanja za akreditiranje mjerila tlaka. Pritom primjena manžete nije partikularno specificirana za upotrebu na određenom ekstremitetu. Unutar opsega ove procedure uključeni su sfigmomanometri s mehaničkim pritiskom, senzorskim elementom i zaslonom. Koristi se zajedno sa stetoskopom ili nekim drugim uređajem za oslušivanje Korotkoff-ovih šumova nakon popuštanja tlaka u manžeti. Ova procedura zahtjeva točno određene dijelove i daje jasnu distinkciju kriterija uređaja za mjerenje krvnog tlaka. Na *Slici 18.* prikazani su i navedeni osnovni dijelovi mehaničkog sfigmomanometra.



Slika 17. Dijelovi mehaničkog sfigmomanometra s manžetom [26]

Uz predloženi sfigmomanometar s zračnim pokazivačem tlaka također neizostavan uređaj kod svih točnih mjerenja tlaka je i živin sfigmomanometar prikazan na Slici 19.



Slika 18. Dijelovi živinog mehaničkog sfigmomanometra [27]

3.1.1. Terminologija procedure OIML R 16-1

Prije provođenja bilo kakve vrste ispitivanja medicinskih mjerila arterijskog tlaka potrebno je jasno definirati korištenu terminologiju pojedinih dijelova uređaja kako bi se od početka pratile predložene smjernice. U terminologiju pojmova korištenih za imenovanje dijelova uređaja i vrijednosti tlaka koriste se sljedeći pojmovi. Manžeta je dio uređaja koji se omotava oko nadlaktice u kojemu vlada određeni promjenjivi tlak prilikom postupka mjerenja. Tlak u posudi predstavlja tlak u arterijskom sustavu tijela. Sistolički i dijastolički tlak predstavljaju izmjerene vrijednosti krvnog tlaka te da bi se izbjegao hidrostatski efekt mjerenje se obavlja u razini srčanog mišića. Sfigmomanometar (mehanički ili zračni) je neinvazivni instrument korišten za obavljanje mjerenja. Pneumatički sustav predstavljaju svi dijelovi poput gumenih crijeva, ventila, spojnice, ručne pumpe. Ova mjerenja najčešće podliježu auskultatornoj metodi koja nalaže osluškivanje Korotkoffljevih šumova za detekciju i očitavanje vrijednosti tlaka. Deflacijski ventil glavni je regulacijski element za balansiranje tlaka u pneumatskom sustavu uređaja za mjerenje tlaka. Brzi ispusni ventil ima svrhu brzog pražnjenja pneumatičkog sustava.

3.1.2. Opis kategorije instrumenta

Kako je već i ranije navedeno osnovni dijelovi sfigmomanometra su manžeta i zračnica koja se omotava na ruku ispitanika te je to manualni sustav koji služi za postizanje i ispuštanje tlaka po potrebi mjerenja. Mehanički sfigmomanometri obično koriste zrak ili živu kao fluide pomoću kojih se očitavaju vrijednosti krvnog tlaka. Kada je riječ o mehaničkim sfigmomanometrima potrebno je imati na umu da je tlak moguće izmjeriti pomoću druge opcije mehaničkog mjernog uređaja.

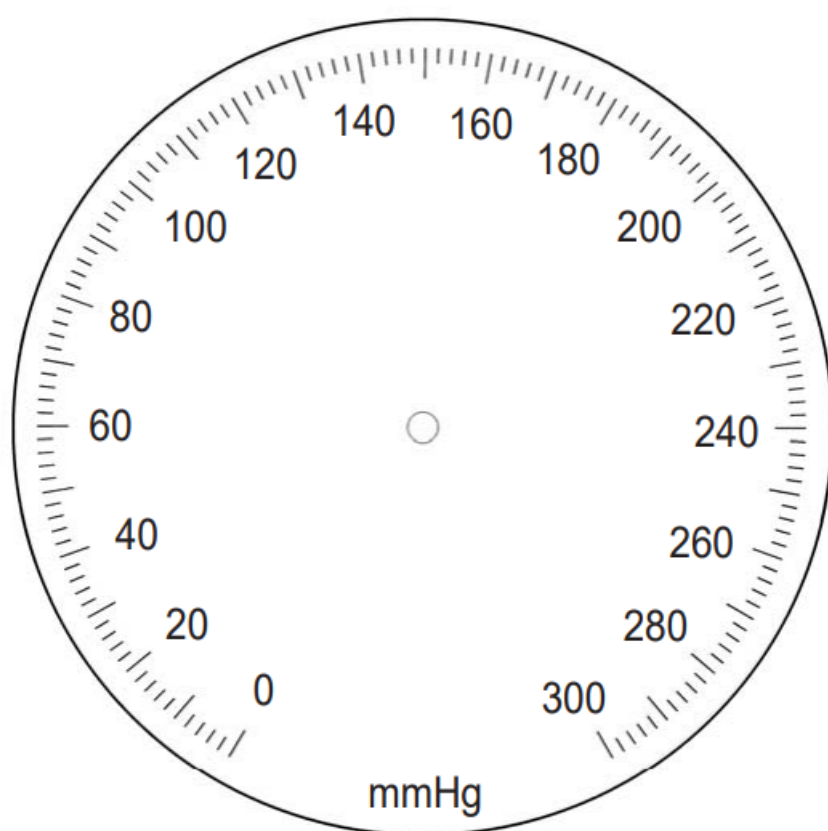
3.1.3. Mjerni zahtjevi na uređaj

Dogovorno se krvni tlak mjeri u kilopaskalima (kPa) ili milimetrima živinog stupca (mmHg). Kada govorimo o uvjetima mjerenja u prostoriji tada raspon temperatura mora biti između 15°C i 25°C, a vrijednost relativne vlažnosti mora biti od 20% do 85% za uzlazna i silazna mjerenja tlaka. Maksimalna dozvoljena pogreška očitavanja tlaka na očitavanju može biti ± 0.4 kPa (± 3 mmHg) dok u slučaju prvog korištenja ta vrijednost smije biti ± 0.5 kPa (± 4 mmHg). Za valjanost pojedinog uređaja navedene pogreške u očitavanju tokom mjerenja moraju biti unutar navedenih vrijednosti da bi uređaj zadovoljio spomenute uvjete. Također prilikom ispitivanja uređaj se podvrgava ekstremnim uvjetima temperature od -20°C i 70°C (bez kondenzacije) kroz period od 24 sata gdje najveća dopuštena pogreška unutar dozvoljenih granica.

3.1.4. Tehnički zahtjevi

Prema tehničkim uputama manžeta mora sadržavati zračnicu. U slučaju zamjene zračnice čija je pozicija predviđena unutar manžete, proizvođač mora dati jasne upute i metode za čišćenje i održavanje. Također u propisu su dane dimenzije koje se tiču manžete i zračnice. Propuštanje zraka ne smije prijeći 0.5 kPa/min (4 mmHg/min) te je također jedan dio propisa koji se nastoji držati unutar propisanih granica kako bi uređaj zadovoljio kriterij. Zračni regulacijski ventil mora biti u mogućnosti smanjivati tlak u manžeti unutar vrijednosti od 0.3 kPa/s do 0.4 kPa/s (2 mmHg/s do 3 mmHg/s). Brzina ispuštanja zraka iz zračnice od tlaka 35 kPa do tlaka 2 kPa (260 mmHg do 15 mmHg) ne bi smjela prelaziti vremenski okvir od 10 s. Normalno područje djelovanja tlaka u uređaju za mjerenje tlaka treba biti od 0 kPa do 35 kPa

(0 mmHg do 260 mmHg). Pokazivač očitavanja tlaka na skali mora biti postavljen na takav način da se jasno vide odjeljenja na kojima se očitava vrijednost tlaka. Gradijent podjele skale na mjerачu tlaka treba biti u podjelama od 0.2 kPa za gradaciju skale u kilopaskalima i 2 mmHg za gradaciju skale u milimetrima stupca žive. Testiranje skale za očitavanje tlaka vrši se vizualno. Razmak između odjeljaka pokazivača na skali ne bi trebao biti manji od 1 mm, dok debljina markacije pojedinog odjeljenja skale ne smije prelaziti 20% najmanjeg razmaka između oznaka. Na *Slici 20.* prikazana je podjela mjerna skala mehaničkog sfigmomanometra s opružnim elementom.



Slika 19. Izgled zračnog pokazivača za mjerenje krvnog tlaka [7]

Nominalni unutarnji promjer živine cijevi mora biti najmanje 3.5 mm te odgovarajuća tolerancija na promjer ± 0.2 mm. Kod primjene mjerila koja koriste živu potrebno je osigurati adekvatno sprječavanje od prolijevanja tokom upotrebe ili transporta. U tu svrhu tlak u tubi koja sadrži živu ne bi trebao pasti brže od 1.5 s u rasponu tlaka od 27 kPa do 5 kPa. Kvaliteta žive mora biti zajamčena i iznositi 99.99% čistoće od strane isporučitelja. Nadalje, kod živinih manometara na nultoj poziciji skale tolerancijska zona ne bi trebala prelaziti ± 0.4 kPa (± 3 mmHg) te na toj poziciji mora biti jasno označena. Pomicanje elastičnog osjetnog elementa uključujući pokazivač onemogućena unutar 0.8 kPa (6 mmHg) ispod nulte razine te se inspekcija istog vrši vizualno. Pokazivač ispunjen živom mora prekrivati između 1/3 i 2/3 najkraće oznake mjerila. Pogreška histerze kroz cijeli raspon tlakova treba biti unutar okvira 0 kPa do 0.5 kPa (0 mmHg do 4 mmHg). Konstrukcija zračnog manometra i materijala za elastični osjetni element moraju osiguravati stabilnost u mjerenju. Nakon 10000 tlačnih ciklusa mjerenja indikacija tlaka na zračnom manometru ne bi trebala prelaziti 0.4 kPa (3 mmHg). Sigurnosni zahtjevi za medicinske tlakomjere moraju biti usklađeni s dokumentom OIML D 11. Zbog zahtjeva za mehaničku sigurnost brzi ventil za ispuštanje zraka mora biti lako dostupan u zoni dohvata ruke. Također, svi akreditirani uređaji moraju posjedovati zaštitu od neovlaštenog otvaranja te propisane zahtjeve na električnu sigurnost uređaja.

3.1.5. Mjeriteljski nadzor

Regionalne ili nacionalne regulative mogu propisivati i zahtijevati odobrenja, inicijalne i/ili periodične verifikacije za neinvazivne sfigmomanometre. Sve te kontrole trebaju pratiti određene uvjete. Testiranje se provodi na minimalno tri uzorka za metričke i tehničke zahtjeve te se njihova izvješća pripremaju prema točno propisanim prilogima. Inicijalni zahtjevi za verifikaciju uređaja provode se inicijalno neposredno prije isporuke uređaja te se periodički svake dvije godine vrši održavanje i postupak ponovne verifikacije. Na kraju ispunjenja svih propisanih zahtjeva ostaje adekvatno postavljenje kontrolnih oznaka na olovne plombe i to na mjestima uređaja gdje se pričvršćuju odgovarajući vijci kad god je to potrebno. Posebnu pozornost zahtijevaju mjerila punjena živom te se na tim mjestima adekvatno plombira navedeno mjesto. U slučaju da je uređaj siguran po pitanju bilo kakvih smetnji kontrolne oznake se mogu postaviti u obliku naljepnica na kućište uređaja, a sve brtve moraju biti lako dostupne bez upotrebe alata. Oznaka proizvođača uređaja mora sadržavati ime, serijski broj i

godinu proizvodnje kao i mjerni opseg te mjernu jedinicu. Uz sve navedene oznake također mora postojati broj odobrenja, naznačeni centar zračnice koji pokazuje poziciju smještanja manžete na mjesto mjerenja te informaciju o opsegu korištene manžete. Za sve eventualne nejasnoće tokom korištenja uređaja pogledati upute za upotrebu.

3.1.6. Dodatak za ispitivanje mjerila za mjerenje krvnog tlaka prema OIML R 16-1

U ovom dijelu međunarodne zakonske regulative unutar okvira pravilnika OIML R 16-1 propisane su metode kojima se ispituju pojedini dijelovi mehaničkih mjerila tlaka. Dane preporuke obuhvaćaju ispitivanje manžete pod standardnim uvjetima, ispitivanje iste pod različitim uvjetima temperature i vlažnosti te ostalih dijelova uređaja. U nastavku su navedene metode ispitivanja koje se koriste kada se radi o mehaničkim mjerilima bila ona zračna ili punjena živom.

Metode ispitivanja mehaničkih mjerila krvnog tlaka:

- Ispitivanja maksimalne dozvoljene pogreške tlaka u manžeti;
- Ispitivanje utjecaja temperature na tlak u manžeti;
- Ispitivanje maksimalne dopuštene pogreške nakon skladištenja;
- Ispitivanje propuštanja zraka u pneumatičkom sustavu uređaja;
- Ispitivanje smanjenja tlaka na deflacijskom ventilu;
- Ispitivanje ventila za brzo ispuštanje tlaka iz pneumatičkog sustava;
- Ispitivanje debljine oznaka na mjerilu i razmaci između podjela;
- Ispitivanje unutarnjeg promjera cijevi koja sadrži živu;
- Ispitivanje sigurnosti protiv propuštanja žive iz sustava;
- Ispitivanje utjecaja uređaja zaslužnog za zaustavljenje žive;
- Ispitivanje greške histereze na zračnim sfigmomanometrima;
- Ispitivanje konstrukcije uređaja za mjerenje;

3.2. OIML R 16-2 regulativa

Prema dokumentu OIML R 16-2 na red dolazi pravilnik za ispitivanje neinvazivnih automatskih sfigmomanometara. Kao i za prethodnu regulativu (OIML R 16-1) i ovdje vrijede sva pravila za ispitivanje, no jedina je razlika u tome što je ovo predložak s procedurom ispitivanja automatskih uređaja za mjerenje krvnog tlaka. Cilj ovog pravilnika je osigurati dosljednost u ispitivanju, kalibraciji i akreditiranju. Ovaj predložak propisuje generalne smjernice, performanse, učinkovitost te mehaničke i elektroničke sigurnosne zahtjeve kao i metode za tipsko umjeravanje prije nego proizvod izađe na tržište. U nastavku će biti kratko opisane osnovne specifikacije ovog predloška, ali samo s naglaskom na razlike koje ne sadrži procedura OIML R 16-1.

3.2.1. Terminologija procedure OIML R 16-2

Kao osnovna razlika između mehaničkih i automatskih (elektroničkih mjerila) je u pokazivaču tlaka. Mehanički pokazivač radi isključivo na principu tlaka koji pokazuje visinu stupca žive ili opružnom elementu čija se deformacija pod određenim tlakom očituje pokazivanjem kazaljke na sfigmomanometru. Također ovdje moramo uzeti u obzir nulovanje, odnosno potrebu da se elektronika resetira na početne postavke prije svakog mjerenja. Uz sve navedeno automatski uređaji za mjerenje tlaka imaju mehaničko-električni pretvornik. Mehanički podražaj preko pretvarača u električni impuls prikazan na zaslonu u obliku vrijednosti sistoličkog ili dijastoličkog tlaka. Ovi uređaji mogu mjeriti auskultornom ili oscilometrijskom metodom. Opis kategorije instrumenta i mjerne jedinice ostaju iste kao i u slučaju mehaničkih sfigmomanometara i to su kilopaskali (kPa) i milimetri stupca žive (mmHg).

3.2.2. Metrički zahtjevi

Kod ove stavke pravilnika zahtjevi za temperaturu i vlažnost prostorije u kojoj se provodi mjerenje i kalibracija ostaju isti. Maksimalna dozvoljena pogreška pokazivača tlaka na manžeti je ± 0.4 kPa (± 3 mmHg) na bilo kojem dijelu skale, dok je prilikom prvog umjeravanja ta dozvoljena pogreška nešto veća, odnosno ± 0.5 kPa (± 4 mmHg) za sfigmomanometre u uporabi. U cjelokupnom sustavu maksimalna srednja dozvoljena pogreška tlaka može iznositi ± 0.7 kPa (± 5 mmHg) te maksimalna standardna devijacija ± 1.1 kPa (± 8 mmHg).

Sustavi za mjerenje krvnog tlaka moraju podlijegati zahtjevima za ispitivanje specificiranim u uputama kada govorimo o čuvanju u vremenskom periodu od 24 h pri temperaturi -5°C te 24 h na temperaturi od 50°C pri relativnoj vlažnosti od 85% (bez kondenzacije). Testiranja bi trebala biti provedena prema strogo danim uputama u koorelaciji s naputcima unutar pravilnika. Za uvjete okoline se valja pridržavati uputa kao i prema OIML R 16-1. Propisana veličina manžete kao i ostale specifikacije su iste kao i u prethodno opisanoj regulativi. Tehnički zahtjevi na zaslon automatskog (elektroničkog) mjerila tlaka su takvi da se vrijednosti tlakova moraju jasno i dobro raspoznati i uočiti. Kod oznaka pojedinih tlakova na zaslonu automatskog uređaja prepoznamo prema slijedećim oznakama:

- „S“ ili „SYS“: sistolički krvni tlak;
- „D“ ili „DIA“: dijastolički krvni tlak;
- „M“ ili „MAP“: srednji arterijski krvni tlak;

Zbog zahtjeva elektronike uređaj posjeduje baterijske module određenih elektroničkih specifikacija te prema ovom pravilniku ne bi trebalo biti utjecaja promjene napona na očitavanje uređaja. Uređaj bi trebao raditi ispravno sve dok baterijski moduli imaju dovoljno kapaciteta za predodžbu vrijednosti krvnog tlaka. U slučaju da baterijski sustav više ne može podržavati rad elektronike to bi trebalo biti jasno naznačeno na zaslonu uređaja. Sve navedene osobine automatskog sustava za mjerenje krvnog tlaka moraju biti ispunjene i u slučaju da uređaj koristi vanjski izvor napajanja poput konvencionalne podrške sustava napajanja 220 V/50 Hz. Budući da gradska mreža opskrbe električnom energijom može imati fluktuacije u naponu to ne bi trebalo utjecati na očitavanje uređaja. Propuštanje pneumatičkog sustava ne bi trebalo prelaziti 0.8 kPa/min (6 mmHg/min). Za uređaje koji koriste auskultatornu metodu postoji sustav koji reducira tlak prilikom mjerenja od 0.3 kPa/s do 0.4 kPa/s (2 mmHg/s do 3 mmHg/s). Također postoje i uređaji koji smanjuju tlak kao funkciju otkucaja te je u tom slučaju gradijent smanjenja tlaka od 0.3 kPa/pulse do 0.4 kPa/pulse (2 mmHg/pulse do 3 mmHg/pulse). Ventil za brzo ispuštanje prilikom potpunog otvaranja mora ispustiti tlak od 35 kPa do 2 kPa (260 mmHg do 15 mmHg) u vremenu ne većem od 10 s. U drugim načinima rada automatskog uređaja za mjerenje tlaka vrijednost vremena poprima drugu veličinu. Na početku mjerenja tlak na zaslonu uređaja mora biti 0 kPa (0 mmHg), u slučaju da je na zaslonu drugačija vrijednost od navedene uređaj bi se trebao sam isključiti. Automatski sustav sadrži elektroniku koja provodi električnu struju te samim time generira elektromagnetske smetnje koje u tom slučaju

ne bi trebale imati nikakav utjecaj na mjerenje krvnog tlaka. U slučaju da elektromagnetske smetnje generiraju određeni utjecaj na rad uređaja potrebno ga je resetirati i uspostaviti normalan rad unutar 30 sekundi od prestanka djelovanja smetnji. Rezolucija zaslona pokazivača automatskog uređaja treba biti 0.1 kPa (1 mmHg). U slučaju ulazih i izlaznih signala na uređaju ne bi smjelo biti kontraindikacija u smjeru utjecaja tih signala na vrijednosti krvnog tlaka očitanih na digitalnom zaslonu. Kao i u slučaju prethodnog pravilnika uređaj mora osiguravati zaštitu od neovlaštenog otvaranja. Elektronika mora biti u skladu s nacionalnim sigurnosnim regulativama. Na *Slici 21.* prikazan je automatski sfigmomanometar s digitalnim zaslonom.



Slika 20. Automatski sfigmomanometar [28]

3.2.3. Metrička kontrola

Kao i u regulativi OIML R 16-1 ovdje imamo iste zahtjeve na uređaj po pitanju tipskog odobrenja, verifikacije, brtvljenja, oznaka na uređaju i tehničke specifikacije o proizvodu pojedinog proizvođača.

4. Postupak ispitivanja uređaja za mjerenje krvnog tlaka

Postupak ispitivanja mjerila za mjerenje krvnog tlaka proveden je u laboratoriju za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Mjerne linije opisati će se detaljno u daljnjim koracima ovog rada. Prije izvještaja o mjerenjima pojedinih uređaja kratko će se napraviti uvod i opis dvaju instrumenata pomoću kojih su obavljena ispitivanja pribavljenih mjerila. Jedan od korištenih uređaja je pretvornik tlaka koji je u službi etalona kao pouzdanog mjerila, a drugi uređaj je Druck DPI 615 kojeg u ovom slučaju koristimo kao generator tlaka i istovremeno uređaj za prikaz očitavanja.

4.1. Pregled dvaju osnovnih uređaja korištenih u svim mjernim linijama

Daljnji pregled sadrži opis dva uređaja koja su korištena u ispitivanju uređaja za mjerenje krvnog tlaka te služe kao baza koja nam pokazuje ispravnost mjerila uzetih na ispitivanje.

4.1.1. Generator tlaka Druck DPI 615

Druck DPI 615 je kalibrator tlaka s vanjskim izvorom napajanja pomoću kojeg se može generirati tlak prilikom ispitivanja mjerila u različitim mjernim područjima. Ovaj uređaj može samostalno biti važeći etalon za ispitivanja i umjeravanja, a osim toga može služiti i kao uređaj za prikaz rezultata ako je na njega spojen pretvornik tlaka. U *Tablici 5.* su navedene tehničke specifikacije kalibratora tlaka Druck DPI 615.

Tablica 5. Tehničke specifikacije Druck DPI 615

Model	Druck DPI 615
Tvornički broj	61516256
Mjerno područje	0-70 bar
Preopterećenje	10% iznad vršne vrijednosti tlaka (samo u mjernom načinu rada)
Radni medij	dušik, zrak
Točnost	0.025% za cijelu mjernu skalu i sve podjele
Stabilnost	0.015% od očitavanja
Radna temperatura	-10 do +40 °C
Temperatura skladištenja	-10 do +40 °C
Vlaga	0-90%

Na Slici 22. prikazan je spomenuti kalibrator tlaka.



Slika 21. Kalibrator tlaka Druck DPI 615

4.1.2. Pretvornik tlaka Druck

Korištenjem pretvornika tlaka u službi radnog etalona zaokružili smo potrebne elemente koji nam služe za ispitivanja mjerila tlaka. Ovaj etalon je mehaničko-električni pretvornik čija je mjerna nesigurnost procijenjena i podaci o mjernoj sljedivosti biti će prikazani nakon osnovnog pregleda etalona. U *Slici 23.* prikazan je pretvornik tlaka korišten u mjernim linijama za ispitivanje.



Slika 22. Pretvornik tlaka Druck (radni etalon)

Tehnički podaci o pretvorniku tlaka prikazani su u *Tablici 6.*

Tablica 6. Tehnički podaci o pretvorniku tlaka (etalonu)

Vrsta mjerila	Pretvornik tlaka
Proizvođač	Druck
Serijski broj	Indikacija: 6151 6256 Mjerilo: 1947 034
Mjerno područje	0 do 1 bar
Razred točnosti	0.025%
Dopušteno odstupanje	0.0003 bar
Podjela skale	0.0001 bar
Jedinica tlaka	bar

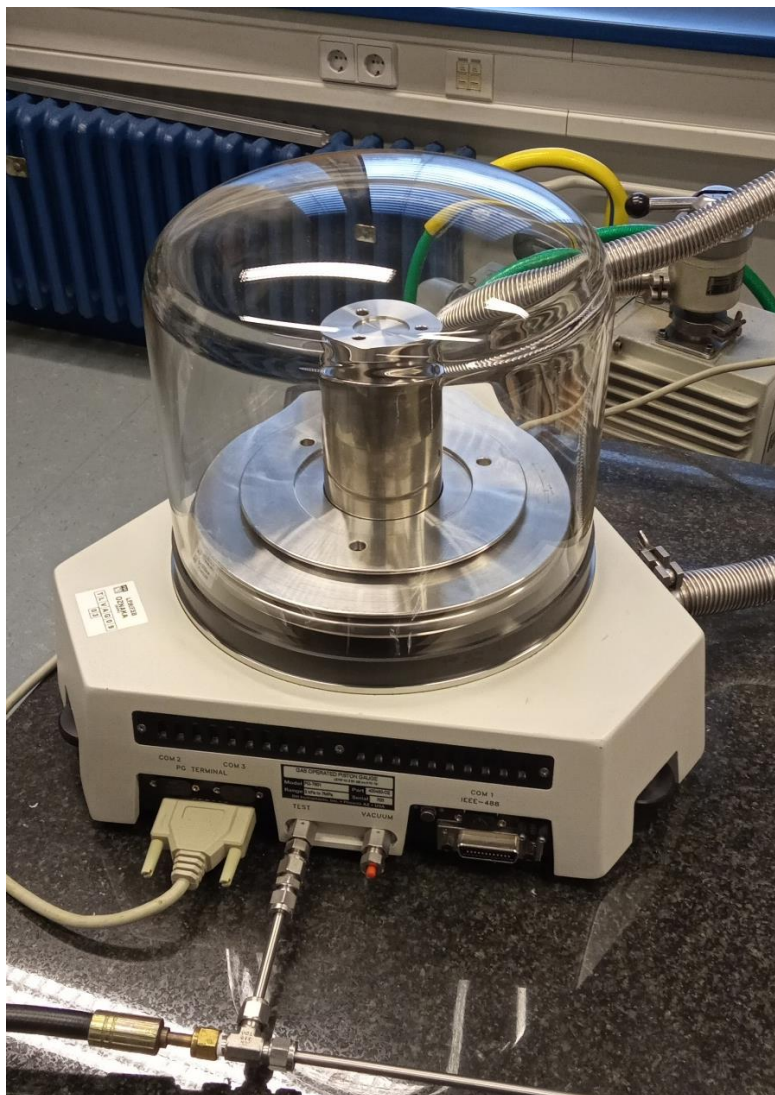
4.1.3. Dokaz o mjernoj sljedivosti radnog etalona

Budući da će se radni telon (pretvornik tlaka) koristiti u navedenim ispitivanjima mjerila tlaka potrebno je dokazati njegovu mjernu sljedivost unatrag, odnosno korištenjem točnijeg mjerila za dokaz točnosti navedenog pretvornika. Kao etalon za dokazivanje točnosti pretvornika korištena je tlačna vaga u laboratoriju za procesna mjerenja (LPM). Podaci s ispitivanja o mjernoj sljedivosti preuzeta su od strane laboratorija. U *Tablici 7.* prikazani su tehnički podaci etalona.

Tablica 7. Tehnički podaci tlačne vage

Uređaj	TLVAG10 (tlačna vaga)
Tvornički broj	703
Tip	PG-7061
DH Instruments broj tipa	400480-CE
Efektivna površina	4.901904 e-5 m ²
Opseg klipa	2.481288 e-02 m
Nesigurnost etalona	0.9 e-4xp
Sljedivost	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Na Slici 24. prikazana je tlačna vaga kojom se dokazala mjerna sljedivost pretvornika tlaka.



Slika 23. Tlačna vaga (etalon)

U daljnjim izlaganjima će u obliku tablica biti prikazani podaci koji su dobiveni ispitivanjem pretvornika tlaka koji je bio ispitan i umjeren prema uređaju veće razine točnosti, odnosno etalona. Iz tih podataka moguće je zaključiti i garantirati da pretvornik tlaka proizvođača Druck može služiti u daljnjim ispitivanjima kao etalon. Za ispitivanje pretvornika tlaka korištena je tlačna vaga te je postupak proveden u prostorijama laboratorija za procesna mjerenja na FSB-u. Za umjeravanje mjerila provedena je interna procedura usporedbe CPTL-02 koja se temelji na DKD-R6-1 (Tip A). U Tablici 8. prikazani su podaci dobiveni umjeravanjem pretvornika tlaka proizvođača Druck.

Tablica 8. Rezultati mjerne sljedivosti ispitivanja pretvornika tlaka

Broj ispitnih točaka	Tlak etalona p	Srednja vrijednost M	Odstupanje $M-pe$	Ponovljivost b	Ponovljivost pri ponovnoj ugradnji b'	Histereza h	Nesigurnost umjeravanja U
	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)
1.	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00049
2.	0.10001	0.1000	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00049
3.	0.20003	0.2000	-0.00001	0.00001	0.00000	0.00003	0.00049
4.	0.30001	0.3000	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00049
5.	0.40000	0.4000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00049
6.	0.50005	0.5000	-0.00005	0.00000	0.00000	0.00000	0.00049
7.	0.59998	0.6000	0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00049
8.	0.69998	0.7000	0.00004	0.00000	0.00010	0.00003	0.00049
9.	0.79997	0.8001	0.00008	0.00000	0.00000	0.00010	0.00049
10.	0.89999	0.9000	0.00001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00049
11.	0.99995	1.0000	0.00005	0.00000	0.00000	0.00000	0.00050

Iz prikazanih rezultata možemo napraviti korekciju očitavanja za etalonski pretvornik i na taj način osiguravamo mjernu sljedivost.

4.2. Postupak ispitivanja sfigmomanometra s oprugom

U ovom dijelu rada opisati će se postupak ispitivanja mehaničkog sfigmomanometra s oprugom kao mjerila za mjerenje krvnog tlaka. Generator tlaka Druck DPI 615 i pretvornik tlaka Druck služe kao osnovni sastavni elementi mjerne linije za sljedivo ispitivanje mjerila.

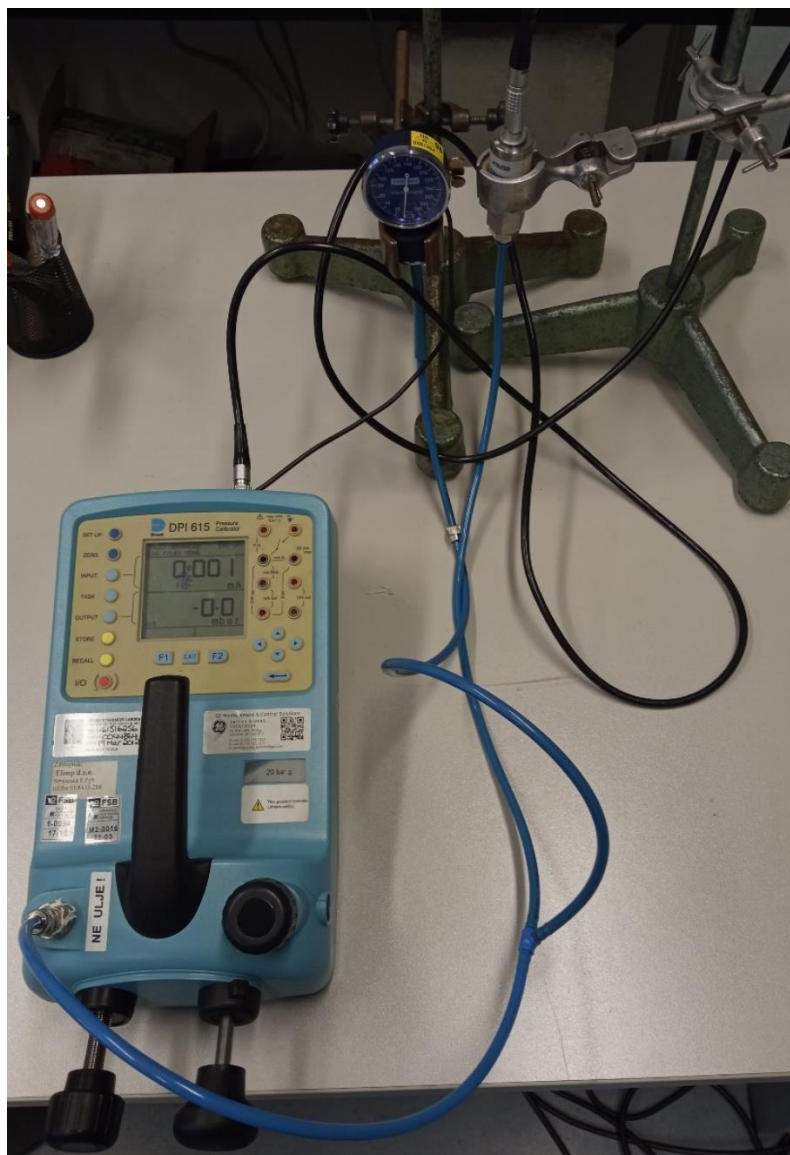
4.2.1. Opis spajanja ispitne linije sfigmomanometra s opružnim elementom

Mjerna linija pomoću koje se ispituje mehanički sfigmomanometar s oprugom sastoji se od generatora tlaka, pretvornika tlaka, ispitivanog mjerila i spojnih cijevi. Generator tlaka je spojen na vanjski izvor napajanja 220V/50Hz te je podešen da pokazuje vrijednosti u milibarima (mbar). Na izlaz generator tlaka je spojena tlačna cijevčica koja je spojena na T-komad jednim svojim krakom vodi do pretvornika tlaka, a drugim krakom do mjerila tlaka. Iz pretvornika tlaka izlazi električni spojni kabel koji je spojen na ulaz generatora tlaka. U zadanom mjernom opsegu generator tlaka služi za namještanje zadanih vrijednosti koje se preko mehaničko-električnog pretvornika prikazuju na zaslonu generatora tlaka. Mjerni uređaj spojen je na mjernoj liniji u laboratoriju za procesna mjerenja i prikazan na Slici 25.



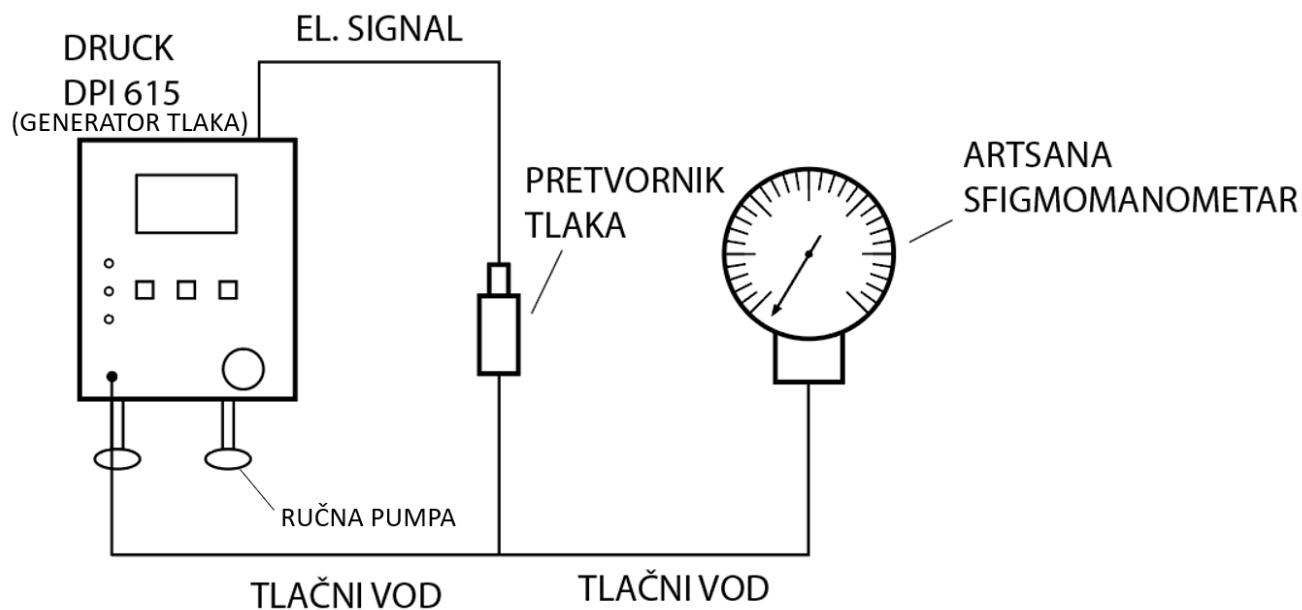
Slika 24. Prikaz ispitivanog mehaničkog sfigmomanometra

Ispitivano mjerilo je od proizvođača Artsana s mjernim rasponom od 0 do 300 mmHg. Podjela skale i prikaz mjerne linije za ispitivanje u laboratoriju za procesna mjerenja dan je na *Slici 26*.



Slika 25. Mjerna linija za ispitivanje sfigmomanometra s opružnim elementom

U nastavku opisa mjerne linije prikazan je još i shematski prikaz mjerne linije na *Slici 27*.



Slika 26. Shema spajanja sfigmomanometra s opružnim elementom

Osim shematskog prikaza spajanja mjerne linije u *Tablici 9*, prikazani su tehnički podaci o mehaničkom mjerilu s oprugom Artsana.

Tablica 9. Tehnički podaci o sfigmomanometru s oprugom

Mjerilo	Sfigmomanometar s oprugom
Proizvođač	Artsana
Model	-
Tvornički broj	303912
Mjerno područje	0-300 mmHg
Podjela skale	2 mmHg

4.2.2. Postupak ispitivanja sfigmomanometra s opružnim elementom

Postupak ispitivanja je proveden za različite tlakove u rasponu od 0 do 300 mmHg. Budući da je jedinica za pokazivanje tlaka na generatoru namještena u milibarima (mbar) gradacija povećanja tlaka je svakim korakom uvećana za 50 mbar, a početna točka je namještena na 50 mbar. Rezultati mjerenja ispitivanja prikazani su u *Tablici 10*. Ispitivano mjerilo je od proizvođača Artsana mjernog opsega 0-300 mmHg i podjele skale od 2 mmHg. Uvjeti ispitivanja u prostoriji su temperatura $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$, tlak zraka (995 ± 1) mbar i relativna vlažnost $(27 \pm 3) \% \text{RV}$.

Tablica 10. Ispitivanje sfigmomanometra s opružnim elementom

Redni broj mjerenja	Tlak etalona		OČITANJE		
	p (mbar)	p (mmHg)	M1, UZLAZNO (mmHg)	M2, SILAZNO (mmHg)	M3, UZLAZNO (mmHg)
1.	50	37.5	45	47	47
2.	100	75	82	84	82
3.	150	112.5	120	121	121
4.	200	150	158	159	159
5.	250	187.5	194	196	194
6.	300	225	232	234	233
7.	350	262.5	270	271	270
8.	390	292.5	300	300	300

Iz prikazanih rezultata vidimo da ispitivano mjerilo dosta odstupa od vrijednosti narinutih u generatrou tlaka Druck DPI 615. Greška pokazivanja je uvijek bila viša od narinutog tlaka u generatoru i to za iznos od 6.5 do 9 mmHg. Ovi podaci će biti razmotreni i obrađeni u posebnom poglavlju s ostalim rezultatima.

4.3. Postupak ispitivanja automatskog sfigmomanometra

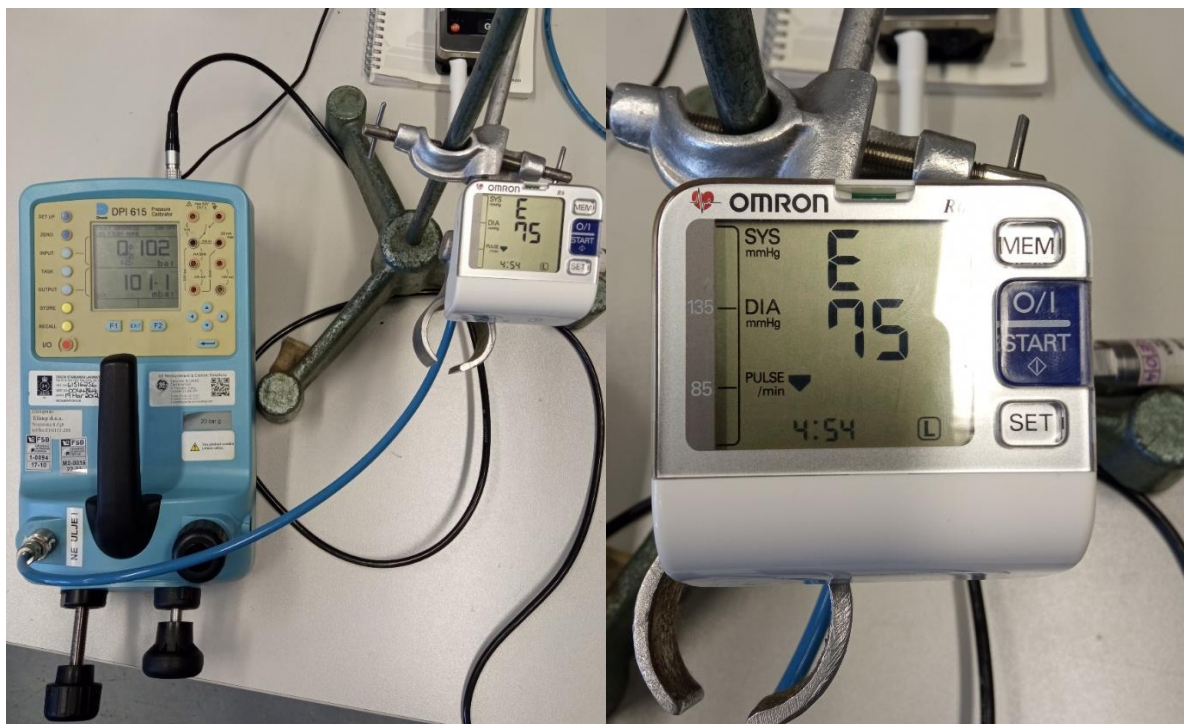
U ovom koraku opisati će se postupak ispitivanja digitalnog automatskog sfigmomanometra proizvođača OMRON. Kao i u prethodnom mjerenju standardno korišteni uređaji za ispitivanje su generator tlaka Druck DPI 615 i pretvornik tlaka Druck. Model mjerila je OMRON R6 digitalno mjerilo koje se postavlja na zapešće gornjeg ekstremiteta i nema klasičnu manžetu kao ostala mjerila. Opseg mjerenja je od 0 do 300 mmHg dok je podjela skale 1 mmHg. Digitalno mjerilo OMRON R6 posjeduje kalibracijski modul koji je dostupan kada se uređaj rastavi i određena kombinacija tipki omogućuje ulazak u navedeni modul.

4.3.1. Opis spajanja ispitne linije digitalnog sfigmomanometra

Mjerna ispitna linija za ispitivanje digitalnog mjerila tlaka proizvođača OMRON sastoji se još od generatora tlaka i pretvornika tlaka. Generator tlaka Druck DPI 615 posjeduje tlačni vod koje je spojen na pretvornik tlaka preko T-komada do pretvornika i električni vod koji šalje signal nazad na pokazivač generatora. Drugi dio T-komada vodi do ispitivanog mjernog uređaja koji pokazuje vrijednosti prema narinutom tlaku na generatoru tlaka. Na *Slici 28.* prikazan je spoj navedenih uređaja u laboratoriju za procesna mjerenja. U *Tablici 11.* prikazani su podaci o digitalnom mjernom uređaju. Generator tlaka spojen je na vanjski izvor napajanja 220V/50Hz, a automatsko mjerilo tlaka posjeduje vlastiti baterijski izvor napajanja.

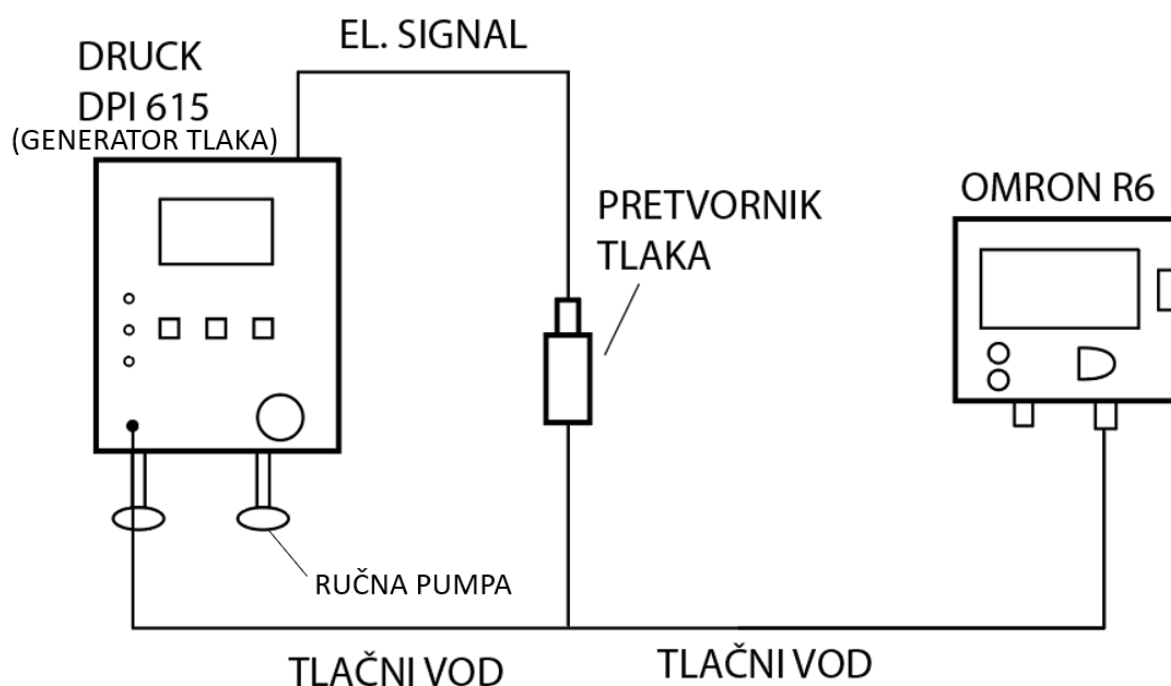
Tablica 11. Tehnički podaci automatskog sfigmomanometra

Mjerilo	Automatski sfigmomanometar
Proizvođač	OMRON
Model	R6
Tvornički broj	20100100055LF
Mjerno područje	0-300 mmHg
Podjela skale	1 mmHg



Slika 27. Mjerna linija s automatskim mjerilom tlaka

Isto kao što je prikazana mjerna linija spajanja u laboratoriju također je na Slici 28. prikazan shematski prikaz spajanja pojedinih elemenata na Slici 29. radi lakšeg razumijevanja samog postupka ispitivanja.



Slika 28. Shema spajanja digitalnog sfigmomanometra

4.3.2. Ispitna procedura automatskog sfigmomanometra

Ispitivanje automatskog sfigmomanometra provodilo se u kontroliranim uvjetima laboratorija za procesna mjerenja. Temperatura zraka u prostoriji neposredno prije ispitivanja je bila $(22 \pm 1) ^\circ\text{C}$, tlak zraka bio je (990 ± 1) mbar i relativna vlažnost je $(39 \pm 3)\%\text{RV}$. Automatski sfigmomanometar ispitivan je u području od 0 do 300 mmHg s tim da je prva točka bila postavljena na vrijednost 50 mbar s gradijentnim povećanjem vrijednosti za 50 mbar svaki naredni korak. U *Tablici 12.* prikazani su rezultati ispitivanja automatskog sfigmomanometra.

Tablica 12. Prikaz rezultata ispitivanja automatskog sfigmomanometra

Redni broj mjerenja	Tlak na etalonu		OČITANJE		
	p (mbar)	p (mmHg)	M1, UZLAZNO (mmHg)	M2, SILAZNO (mmHg)	M3, UZLAZNO (mmHg)
1.	50	37.5	37	37	37
2.	100	75	74	74	74
3.	150	112.5	112	112	112
4.	200	150	149	149	149
5.	250	187.5	186	186	186
6.	300	225	224	224	223
7.	350	262.5	261	261	261
8.	400	300	298	298	298

Iz prikazanih rezultata ispitivanja vidimo da automatsko mjerilo krvnog tlaka proizvođača OMRON modela R6 pokazuje minimalno odstupanje od zadanih vrijednosti na generatoru tlaka. Odstupanje se kreće u rasponu od 0.5 mmHg do 2 mmHg na cijelom mjernom opsegu skale.

4.4. Postupak ispitivanja živinog sfigmomanometra

Ispitivanje živinog sfigmomanometra provodi se sa već navedenom opremom, a to su Druck DPI 615 spojen na vanjski izvor napajanja 220V/50Hz i pretvornik tlaka proizvođača Druck. Živin sfigmomanometar je uređaj proizveden od strane kompanije Riester. Mjerilo se sastoji od manžete i zračnice, spojnih vodova, ručne pumpe te staklenog dijela i spremnika žive. Osim ispitivanja živinog mjerila za pokazivanje tlaka ispitati će se i manžeta na propuštanje prema opisanoj proceduri u regulativi OIML R 16-1 za mehaničke sfigmomanometre.

4.4.1. Opis spajanja ispitne linije živinog sfigmomanometra

Ispitna mjerna linija sastavljena je od živinog sfigmomanometra, generatora tlaka s digitalnim pokazivačem na zaslonu te pretvornika tlaka koji je u službi etalona. Iz generatora tlaka izlaze spojeni tlačni vod prema T-komadu koji se dalje grana prema pretvorniku tlaka i ispitivanom uređaju. Pretvornik tlaka je spojen električnim vodom nazad u generator tlaka kako bi se izmjerena vrijednost tlaka mogla očitati na zaslonu ekrana. U nastavku je dana *Tablica 13.* s tehničkim specifikacijama živinog sfigmomanometra.

Tablica 13. Tehnički podaci živinog sfigmomanometra

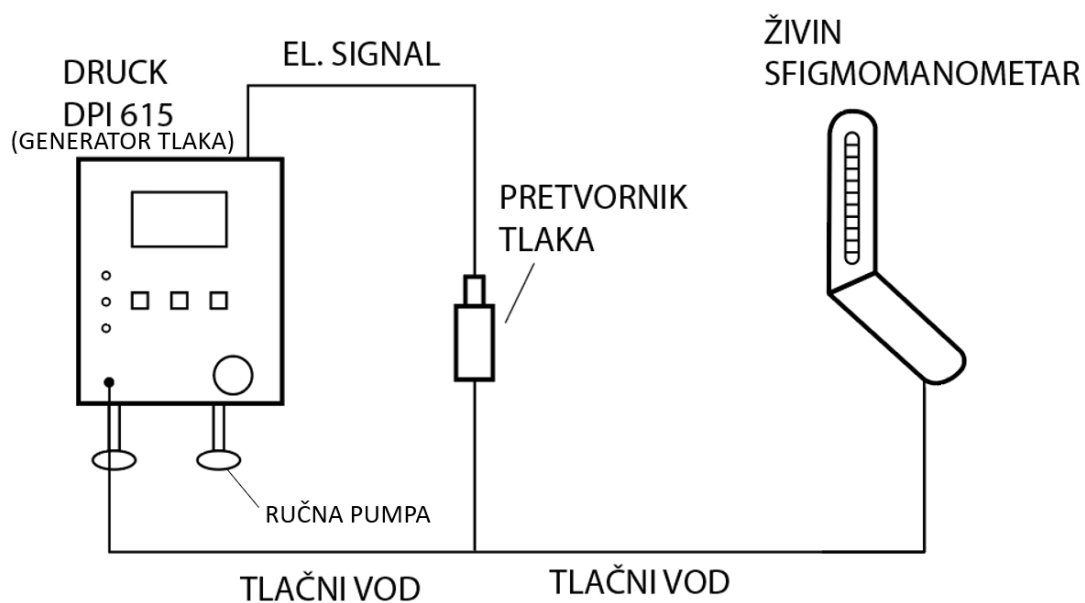
Mjerilo	Živin sfigmomanometar
Proizvođač	Riester
Model	-
Tvornički broj	060731499
Mjerno područje	0-300 mmHg
Podjela skale	2 mmHg

U nastavku opisa ispitne linije prikazana je *Slika 30.* koja pokazuje sve navedene dijelove i uređaje u ispitnoj proceduri.



Slika 29. Prikaz ispitne mjerne linije i skale živinog sfigmomanometra

Osim prikaza ispitne mjerne linije sastavljene u laboratoriju za procesna mjerenja na Slici 31. dan je shematski prikaz iste.



Slika 30. Shema spajanja živinog sfigmomanometra

4.4.2. Ispitna procedura živinog sfigmomanometra

Ispitna procedura živinog sfigmomanometra ista je kao i za sve ostale mjerne uređaje. Početna točka ispitivanja živinog mjerila je 50 mbar i svaki idući korak je gradijentno povećanje narinutog tlaka za 50 mbar. Uvjeti prilikom ispitivanja su praćeni u kontinuitetu i sljedeći su: temperatura zraka (22 ± 1) °C, tlak zraka (990 ± 2) mbar te relativna vlažnost (39 ± 3) %RV. U Tablici 14. dani su podaci prikupljeni ispitivanjem živinog sfigmomanometra.

Tablica 14. Prikaz rezultata ispitivanja živinog sfigmomanometra

Redni broj mjerjenja	Tlak etalona	Tlak etalona	OČITANJE		
	p (mbar)	p (mmHg)	M1, UZLAZNO (mmHg)	M2, SILAZNO (mmHg)	M3, UZLAZNO (mmHg)
1.	50	37.5	38	39	39
2.	100	75	75	77	76
3.	150	112.5	112	114	113
4.	200	150	150	151	151
5.	250	187.5	188	190	188
6.	300	225	224	227	226
7.	350	262.5	262	264	264
8.	400	300	300	300	300

Prema prikazanim podacima ispitivanja možemo zaključiti da živino mjerilo krvnog tlaka ne odstupa značajno od tlaka etalona (0.5 do 2.5 mmHg) bez obzira na to što su ova mjerila pretežito više i ne koriste u praksi zbog štetnog i otrovnog utjecaja žive na ljudski organizam.

4.5. Ispitivanje manžete živinog sfigmomanometra

U ovom poglavlju opisana je i provedena procedura ispitivanja manžete na propuštanje kada se u manžeti narine određeni tlak prema OIML R 16-1. Manžeta je kao i u prethodnim slučajevima spojena na generator tlaka koji ima vanjski izvor napajanja te pretvornik tlaka koji nam služi kao etalon.

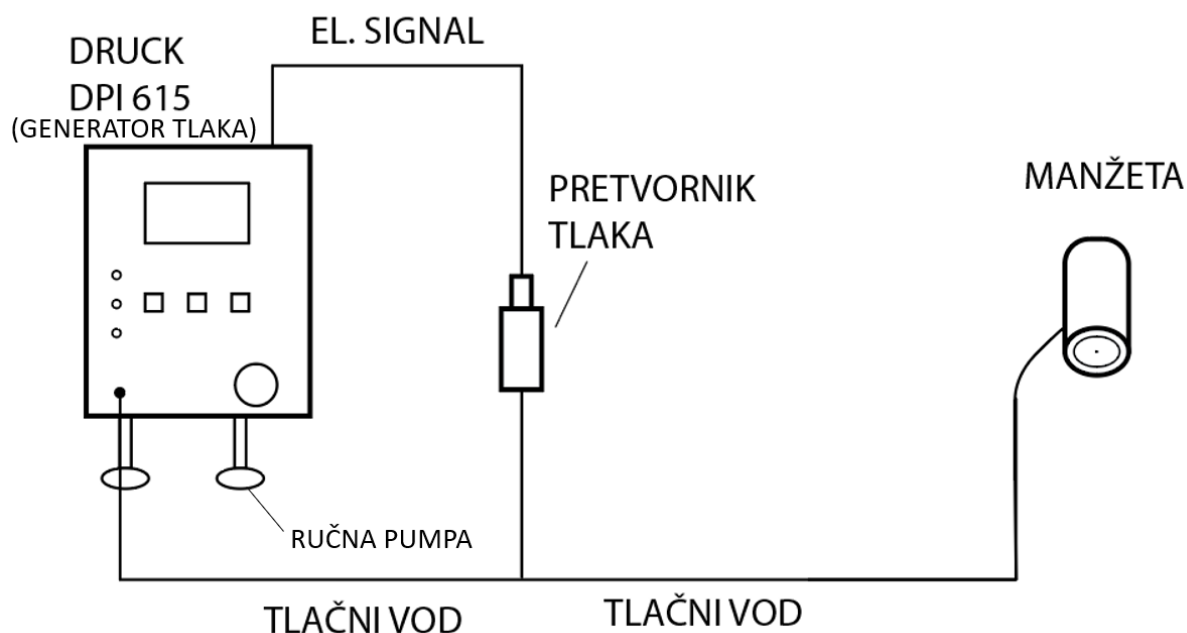
4.5.1. Opis spajanja ispitne linije

Ispitna linija za ispitivanje propuštanja manžete sastavljena je od generatora tlaka Druck DPI 615 i pretvornika tlaka Druck. Generator tlaka spojen je na vanjski izvor napajanja 220V/50Hz. Tlačni vod iz generatora tlaka spojen je na T-komad iz kojeg se jedan dio tlačnog voda spaja prema pretvorniku a drugi se dio spaja prema manžeti. Iz pretvornika tlaka električni vod priključen je na generator tlaka kako bi se na zaslonu kontinuirano pratilo smanjenje vrijednosti tlaka u vremenu. Prikaz ispitne mjerne linije sastavljene u laboratoriju za procesna mjerenja, prikazana je na *Slici 32*.



Slika 31. Prikaz ispitne linije za ispitivanje manžetom

Na Slici 33. prikazana je shema spajanja ispitne linije za provjeru propuštanja manžete.



Slika 32. Shematski prikaz spajanja manžete u ispitnu liniju

4.5.2. Ispitna procedura za ispitivanje manžete

Procedura za ispitivanje propuštanja manžete provedena je prema OIML R 16-1 za mehaničke sfigmomanometre. Manžeta je postavljena na čelični cilindar prema propisu odgovarajućeg opsega ruke. Prije početka ispitivanja svi ventili su zatvoreni i narine se tlak do prve početne vrijednosti koja je određena. Zatim se koriste uređaj za mjerenje vremena i u vremenskom koraku od 5 minuta prati se koliko je narinutog tlaka preostalo u manžeti. Procedura se ponavlja za svako iduće povećanje tlaka te se prati smanjenje tlaka kroz navedeni vremenski period. Na Slici 34. prikazan je detalj postavljenja manžete.



Slika 33. Detalj postavljanja manžete

Nakon završenog postupka ispitivanja tlaka zadržanog u manžeti u Tablici 15. prikazane su dobivene vrijednosti.

Tablica 15. Ispitivanje propuštanja manžete

Tlak na etalonu (mbar)	Prvo očitanje p_1 (mbar)	Očitanje nakon 5 min p_2 (mbar)	Razlika između očitanja (Δp) (mbar)
50 mbar	50	35.2	14.8
100 mbar	100	69.9	30.1
150 mbar	150	109.3	40.7
200 mbar	200	152.5	47.5
250 mbar	250	195.5	54.5

Prema izmjerenim vrijednostima za propuštanje manžete u daljoj obradi podataka ćemo dati konačan rezultat proračuna, odnosno da li manžeta zadovoljava dozvoljene vrijednosti propuštanja prema regulativi.

Idući korak je predodređen za izračun aritmetičke sredine svih vrijednosti tlaka prema čemu se onda ta vrijednost podijeli s vremenskim okvirom od 5 minuta i na temelju dobivene vrijednosti odredi zadovoljava li manžeta uvjete ili ne. Prema jednadžbi (2) određena je srednja vrijednost tlaka koja je zatim pretvorena u mjernu jedinicu kPa i podijeljena s vremenom od 5 minuta.

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_i}{n} \quad (2)$$

Tablica 16. Proračun propuštanja manžete

Tlak na etalonu (mbar)	Razlika između očitanja (Δp) (mbar)	Srednja vrijednost tlaka ($\bar{p}$) (kPa)	Gradijent propuštanja (kPa/min)	Dozvoljena vrijednost propuštanja (kPa/min)
50 mbar	14.8	$\bar{p} = 3.752$	$p_t = 0.7504$	≤ 0.5
100 mbar	30.1			
150 mbar	40.7			
200 mbar	47.5			
250 mbar	54.5			

Iz prikazanih rezultata u *Tablici 16.* vidljivo je da manžeta **ne zadovoljava** propisane dozvoljene vrijednosti za propuštanje narinutog tlaka.

5. Analiza rezultata ispitivanja sfigmomanometara

U ovom poglavlju analizirati će se podaci pomoću kojih će se izvesti zaključak na temu ovog diplomskog rada. Prethodna ispitivanja daju nam uvid u pokazivanje vrijednosti određenih uređaja za mjerenje krvnog tlaka. U *Tablici 17.* prikazani su rezultati srednje vrijednosti pokazivanja tlaka za sve ispitne uređaje. Srednja vrijednost se računa kao aritmetička vrijednost svih točaka mjerenja za određeni uređaj (uzlazno, silazno, uzlazno). Vrijednosti prikazane u tablici osrednjene su prema metodi umjeravanja DKD R 6-1 procedura B. Srednja vrijednost pokazivanja pojedinih mjerila izračunata je prema jednadžbi (3) te se referira na podatke iz tablica 10, 12 i 14.

$$\bar{p} = \frac{\frac{(M1 + M3)}{2} + M2}{2} \quad (3)$$

Tablica 17. Osrednjene vrijednosti ispitnih vrijednosti krvnog tlaka

Redni broj	Narinuti tlak na etalonu		Srednja vrijednost tlaka po točkama mjerenja		
	(mbar)	(mmHg)	ARTSANA (mmHg)	OMRON (mmHg)	RIESTER (mmHg)
1.	50	37.5	46.50	37	38.75
2.	100	75	83.00	74	76
3.	150	112.5	120.75	112	113
4.	200	150	158.75	149	150.667
5.	250	187.5	195.00	186	188.667
6.	300	225	233.25	223.75	225.667
7.	350	262.5	270.50	261	263.333
8.	400 (390)	300 (292.5)	300.00	298	300

Na temelju dobivenih vrijednosti pristupiti će se proračunu mjernih nesigurnosti također prema DKD R 6-1 u nastavku.

5.1. Proračun procijenjene mjerne nesigurnosti

Proračun procijenjene mjerne nesigurnosti provesti će se za svaki mjerni uređaj zasebno te će njihovi rezultati biti grafički prikazani. Prije provedbe proračuna važno je detektirati glavne utjecaje koji sudjeluju u formiranju mjerne nesigurnosti. Naglasak kod ovog proračuna je na četiri osnovne komponente mjerne nesigurnosti, a to su: nesigurnost etalona $u(e)$, nesigurnost ponovljivosti $u(b')$, nesigurnost histereze $u(h)$ i nesigurnost uzrokovanu rezolucijom mjerila $u(r)$. Prema sljedećim jednadžbama formirati će se budžet mjerne nesigurnost provedenih ispitivanja:

- Standardna mjerna nesigurnost etalona je procijenjena prema sljedećem izrazu:

$$u(e) = 5 \cdot 10^{-4} \cdot p \quad (4)$$

gdje je p najveći tlak u ispitnoj liniji.

- Standardna mjerna nesigurnost ponovljivosti prema izrazu:

$$u(b') = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{b'}{2}\right)^2} \quad (5)$$

gdje je b' ponovljivost rezultata tijekom ispitivanja.

- Standardna mjerna nesigurnost histereze prema izrazu:

$$u(h) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2} \quad (6)$$

gdje simbol h označava histerezu.

- Standardna mjerna nesigurnost uzrokovana podjelom skale instrumenta prema izrazu:

$$u(r) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (r)^2} \quad (7)$$

gdje je r rezolucija skale.

Konačno nakon izračuna svake standardne mjerne nesigurnosti posebno možemo ih sve objediniti u jedinstvenu standardnu mjernu nesigurnost koju računamo kao sumu korijena kvadrata svih pojedinih nesigurnosti prema izrazu:

$$u = \sqrt{u(e)^2 + u(b')^2 + u(h)^2 + u(r)^2} \quad (7)$$

te u konačnici proširenu mjernu nesigurnost računamo kao umnožak standardne mjerne nesigurnosti i faktora pokrivanja koji za većinu provedenih mjernih procedura iznosi $k=2$ prema slijedećem izrazu:

$$U = k \cdot u = k \cdot \sqrt{u(e)^2 + u(b')^2 + u(h)^2 + u(r)^2} \quad (8)$$

Navedene jednadžbe koristiti će se za procjenu proširene mjerne nesigurnosti svih mjerila.

5.1.1. Proširena mjerna nesigurnosti za mehanički sfigmomanometar s opružnim elementom

Koristeći navedene jednadžbe od (4) do (8) formirana je *Tablica 18.* koja prikazuje sve vrijednosti standardnih mjernih nesigurnosti te u konačnici proširenu mjernu nesigurnost za mehanički sfigmomanometar s opružnim elementom.

Tablica 18. Prikaz članova koji formiraju mjernu nesigurnost (ARTSANA)

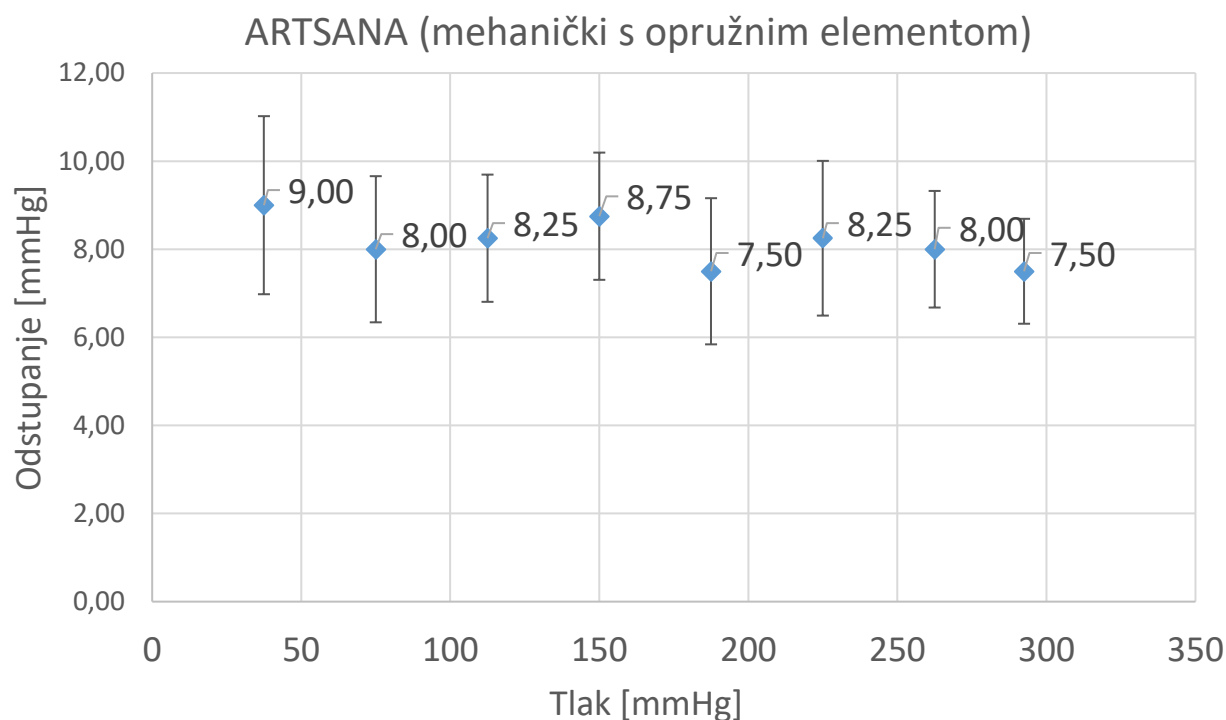
Tlak na etalonu (mmHg)	Srednji tlak (mmHg)	Odstupanje (mmHg)	Ponovljivost b' (mmHg)	Histereza h (mmHg)	Rezolucija r (mmHg)
37.5	46.50	9.00	2	2	1
75	83.00	8.00	0	2	1
112.5	120.75	8.25	1	1	1
150	158.75	8.75	1	1	1
187.5	195.00	7.50	0	2	1
225	233.25	8.25	1	2	1
262.2	270.50	8.00	0	1	1
292.5	300.00	7.50	0	0	1

Prema *Tablici 18.* naredni korak je provedba izračuna svih parametara koji utječu na standardnu mjernu nesigurnost i prema kojima se formira proširena mjerna nesigurnost u *Tablici 19.*

Tablica 19. Rezultati proračuna mjerne nesigurnosti (ARTSANA)

Standardne mjerne nesigurnosti pojedinih komponenata				Ukupna st. mj. nesigurnost	Proširena mj. nesigurnost
$u(b')$ (mmHg)	$u(h)$ (mmHg)	$u(r)$ (mmHg)	$u(e)$ (mmHg)	$u(up/down)$ (mmHg)	$U(k=2)$ (mmHg)
0.577	0.577	0.578	0.146	1.011	2.021
0.000	0.577	0.578	0.146	0.829	1.659
0.289	0.289	0.578	0.146	0.722	1.444
0.289	0.289	0.578	0.146	0.722	1.444
0.000	0.577	0.578	0.146	0.829	1.659
0.289	0.577	0.578	0.146	0.878	1.757
0.000	0.289	0.578	0.146	0.662	1.324
0.000	0.000	0.578	0.146	0.596	1.191

Prema podacima prikazanima u *Tablici 18.* izveden je grafički prikaz odstupanja prema pojedinim točkama ispitivanja. Prikazani graf daje sliku o odstupanju mehaničkog mjerila s opružnim elementom te izračunate vrijednosti proširene mjerne nesigurnosti.



Slika 34. ARTSANA proširena mjerna nesigurnost

5.1.2. Proširena mjerna nesigurnost za digitalni sfigmomanometar

Kao i za prethodno mjerilo ovdje će se prikazati proračun standardnih mjernih nesigurnosti i proširene mjerne nesigurnosti za digitalni sfigmomanometar OMRON R6.

Tablica 20. Prikaz članova koji formiraju mjernu nesigurnost (OMRON)

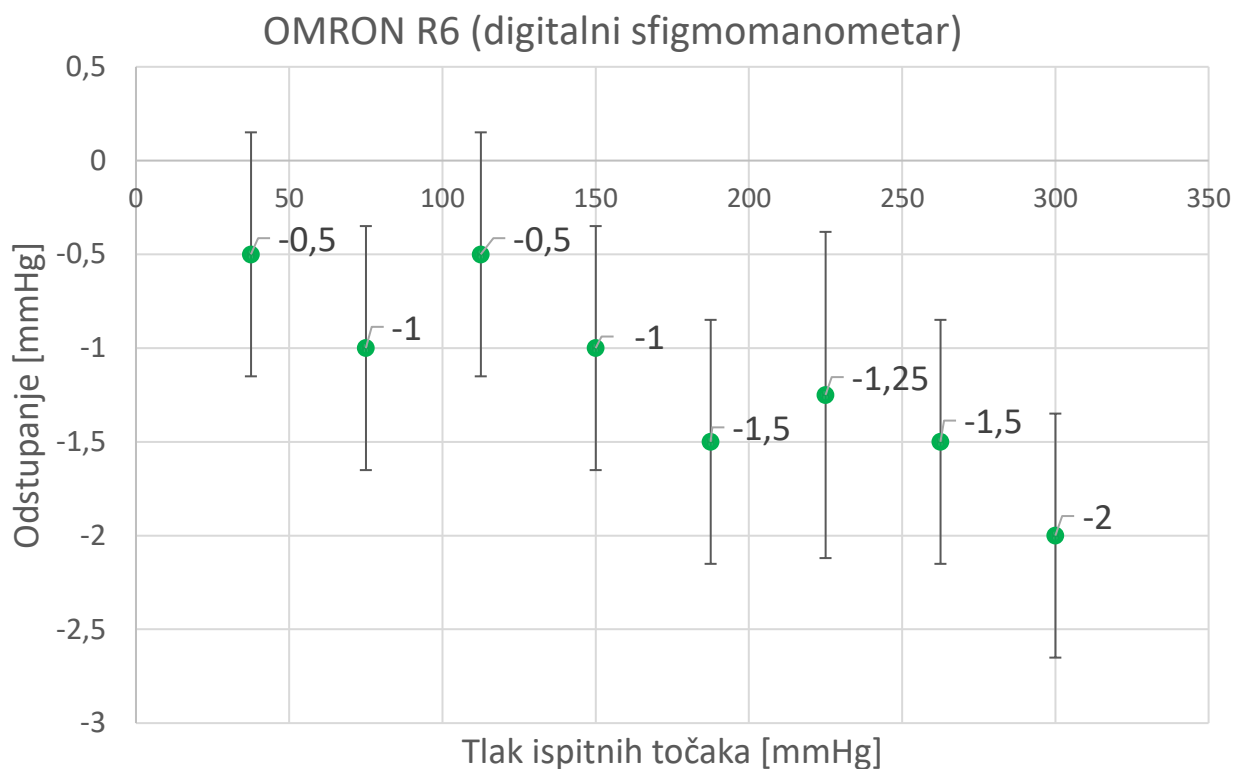
Tlak na etalonu (mmHg)	Srednji tlak (mmHg)	Odstupanje (mmHg)	Ponovljivost b' (mmHg)	Histereza h (mmHg)	Rezolucija r (mmHg)
37.5	37	-0,5	0	0	0,5
75	74	-1	0	0	0,5
112.5	112	-0,5	0	0	0,5
150	149	-1	0	0	0,5
187.5	186	-1,5	0	0	0,5
225	223,75	-1,25	-1	0	0,5
262.2	261	-1,5	0	0	0,5
300.0	298	-2	0	0	0,5

Prema prikazanoj *Tablici 20.* pristupa se proračunu standardnih mjernih nesigurnosti pojedinih komponenata te u konačnici proširenoj mjernoj nesigurnosti uređaja za mjerenje krvnog tlaka OMRON R6.

Tablica 21. Rezultati proračuna mjerne nesigurnosti (OMRON R6)

Standardne mjerne nesigurnosti pojedinih komponenata				Ukupna st. mj. nesigurnost	Proširena mj. nesigurnost
$u(b')$ (mmHg)	$u(h)$ (mmHg)	$u(r)$ (mmHg)	$u(e)$ (mmHg)	$u(up/down)$ (mmHg)	$U(k=2)$ (mmHg)
0.00	0.00	0.289	0.15	0.325	0.651
0.00	0.00	0.289	0.15	0.325	0.651
0.00	0.00	0.289	0.15	0.325	0.651
0.00	0.00	0.289	0.15	0.325	0.651
0.00	0.00	0.289	0.15	0.325	0.651
0.289	0.00	0.289	0.15	0.435	0.870
0.00	0.00	0.289	0.15	0.325	0.651
0.00	0.00	0.289	0.15	0.325	0.651

Prema izračunatim vrijednostima u *Tablici 21.* prikazan je graf odstupanja i tlaka po pojedinim točkama ispitivanja za mjerilo OMRON R6.



Slika 35. Grafički prikaz proširene mjerne nesigurnosti (OMRON R6)

Iz prikazanog grafa vidljivo je da mjerilo krvnog tlaka OMRON R6 prema ispitanim točkama pokazuje manji tlak od nazivnih vrijednosti kod etalona.

5.1.3. Proširena mjerna nesigurnost za živin sfigmomanometar

Kao i u prethodna dva slučaja i ovdje će se primjeniti isti pristup i prikazati pojedine članove standardne mjerne nesigurnosti kao i ukupne proširene mjerne nesigurnosti te pripadajući grafički prikaz rezultata proračuna. U Tablici 22. prikazani su neophodni podaci koji nam služe kako bi izračunali potrebne mjerne nesigurnosti za živin mehanički sfigmomanometar proizvođača Riester.

Tablica 22. Prikaz članova koji formiraju mjernu nesigurnost (Reister)

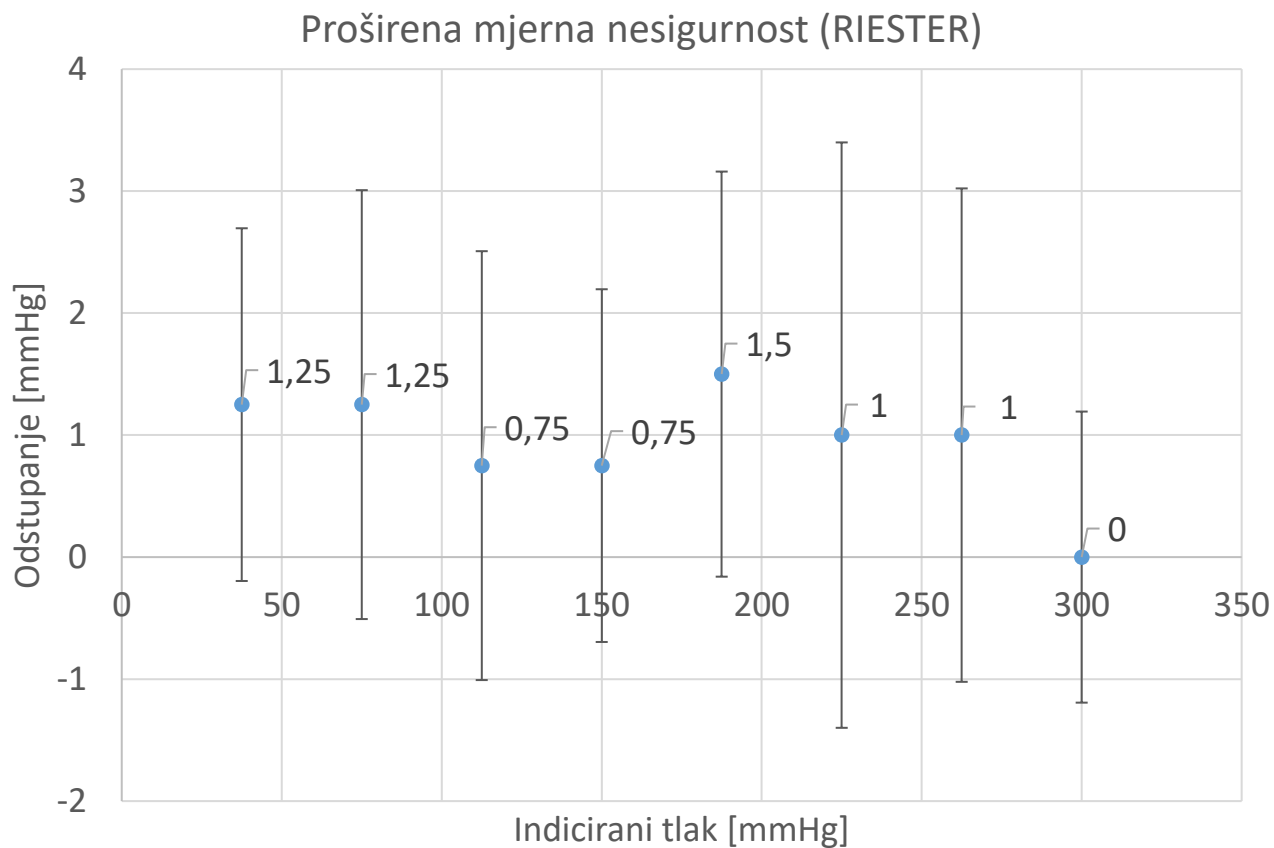
Tlak na etalonu (mmHg)	Srednji tlak (mmHg)	Odstupanje (mmHg)	Ponovljivost b' (mmHg)	Histereza h (mmHg)	Rezolucija r (mmHg)
37.5	38.75	1,25	1	1	1
75	76.25	1,25	1	2	1
112.5	113.25	0,75	1	2	1
150	150.75	0,75	1	1	1
187.5	189	1,5	0	2	1
225	226	1	2	3	1
262.2	263.5	1	2	2	1
300.0	300	0	0	0	1

Iz prikazane Tablice 22. moguće je formirati Tablicu 23. i izračunati sve signifikantne komponente standardne mjerne nesigurnosti kao i proširenu mjernu nesigurnost.

Tablica 23. Rezultati proračuna mjerne nesigurnosti (RIESTER)

Standardne mjerne nesigurnosti pojedinih komponenata				Ukupna st. mj. nesigurnost	Proširena mj. nesigurnost
$u(b')$ (mmHg)	$u(h)$ (mmHg)	$u(r)$ (mmHg)	$u(e)$ (mmHg)	$u(up/down)$ (mmHg)	$U(k=2)$ (mmHg)
0.289	0.289	0.577	0.15	0.723	1.446
0.289	0.577	0.577	0.15	0.879	1.758
0.289	0.577	0.577	0.15	0.879	1.758
0.289	0.289	0.577	0.15	0.723	1.446
0.000	0.577	0.577	0.15	0.830	1.660
0.577	0.866	0.577	0.15	1.200	2.399
0.577	0.577	0.577	0.15	1.011	2.022
0.000	0.000	0.577	0.15	0.597	1.193

Prema prikazanoj *Tablici 23.* izveden je grafički prikaz odstupanja u korelaciji s ispitnim točkama tlaka za živin mehanički sfigmomanometar.

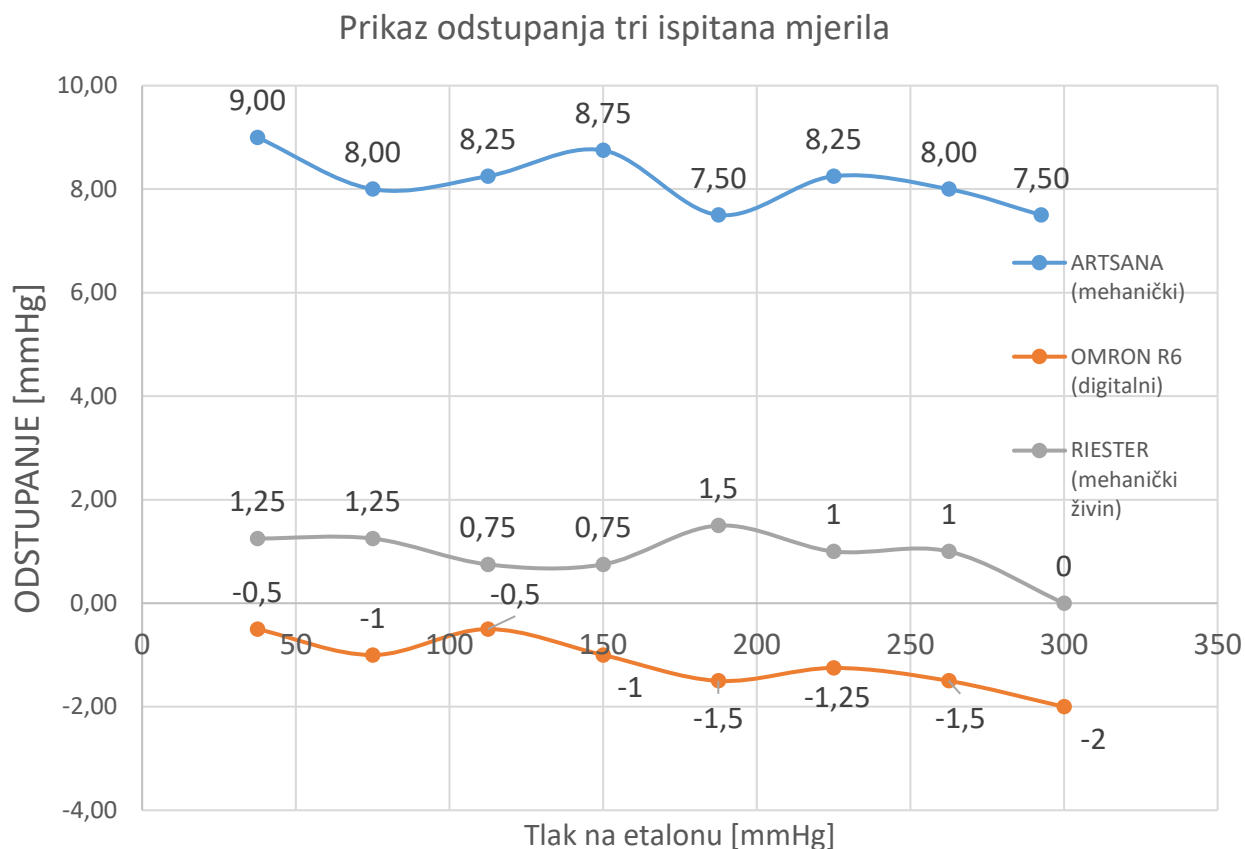


Slika 36. Proširena mjerna nesigurnost (RIESTER)

Prema grafičkom prikazu na *Slici 36.* vidljivo je da živin mehanički sfigmomanometar pokazuje određeno odstupanje ispitnih vrijednosti narinutog tlaka viših u odnosu na pokazivanje etalona. Ovo mjerilo tlaka zadovoljava ispitne zahtjeve za mjerenjem krvnog tlaka, no međutim zbog štetnosti žive sve više se izbacuje iz upotrebe.

5.1.4. Zajednički prikaz odstupanja svih ispitanih mjerila

Radi lakšeg vizualnog pregleda svih ispitanih veličina u obliku odstupanja na *Slici 37.* nalazi se grafički prikaz navedenih ispitnih točaka pojedinih mjerila krvnog tlaka.



Slika 37. Prikaz odstupanja pojedinih mjerila

Iz grafičkog prikaza na *Slici 37.* vidljivo je da prema ispitnim točkama najviše odstupa mjerilo ARTSANA, između 7.5 i 9 mmHg. Digitalno mjerilo OMRON R6 i živino mjerilo RIESTER gravitiraju približno oko zadane vrijednosti tlaka na etalonu s rasponom odstupanja -2 do 1.25 mmHg. Za navedena mjerila OMRON (digitalno) i RIESTER (mehaničko) odstupanje je prihvatljivo prema OIML R 16-1, 16-2 koje iznosi na cijeloj mjernoj skali do 4 mmHg.

6. Zaključak

Prema točkama opisanim u zadatku ovog diplomskog rada provedeno je ispitivanje uređaja za mjerenje krvnog tlaka. Uređaji su ispitani prema opće prihvaćenim međunarodnim procedurama OIML R 16-1 i OIML R 16-2. Unutar tih procedura detaljno su opisane smjernice koje potrebno slijediti kako bi se pravilno odredio postupak i provelo ispitivanje. Mjerne linije su sastavljene u laboratoriju za procesna mjerenja unutar Fakulteta strojarstva i brodogradnje. Prije svakog ispitivanja zapisane su vrijednosti temperature, tlaka i vlažnosti u prostoriji prema proceduralnim odredbama. Ispitivani uređaji su dva mehanička sfigmomanometra od kojih je jedan s opružnim elementom, a drugi je ispunjen živom kao fluidom za mjerenje vrijednosti krvnog tlaka te jedan digitalni uređaj. Osim navedenih mjerila krvnog tlaka ispitana je i manžeta živinog sfigmomanometra čiji je gradijent propuštanja tlaka veći od dozvoljenog i iznosi $p_t = 0.7504 \text{ kPa/min}$. Korišteni uređaj za umjeravanje (etalon) je pretvornik tlaka proizvođača Druck i mjernog opsega od 0 do 1 bar. Drugi važan uređaj u ispitnim mjernim linijama je Druck DPI 615 koji je služio za generiranje (indikaciju) i prikaz vrijednosti tlaka na digitalnom zaslonu. Prema provedenim ispitivanjima za dva mehanička i jedan digitalni uređaj za mjerenje tlaka dva od tri ispitvana uređaja zadovoljavaju navedene ispitne kriterije točnosti. Mehanički sfigmomanometar s opružnim elementom (Artsana) ne zadovoljava navedene ispitne uvjete zbog prevelikog odstupanja. Digitalni ispitivani uređaj proizvođača OMRON model R6 zadovoljava zadane ispitne uvjete prema regulativi OIML R 16-2. Također kao i navedeni digitalni uređaj i ovaj mehanički živin sfigmomanometar zadovoljava navedene kriterije točnosti, no zbog štetnosti utjecaja žive sve se više zamjenjuje sigurnijim inačicama i alternativnim fluidima kao indikatorima za mjerenje tlaka.

LITERATURA

- [1] Ogedegbe G. Pickering T. Principles and techniques of blood pressure measurement. Cardiol Clin 2010;
- [2] Chung E. Chen G. Alexander B. Cannesson M. Non-invasive continuous blood pressure monitoring: a review of current applications. Front Med 2013;
- [3] Boggia J. Asayama K. Li Y. Hansen T. Mena L. Schutte R. Cardiovascular risk stratification and blood pressure variability on ambulatory and home blood pressure measurement. Curr Hypertens Rep 2014;
- [4] Debra J. Carlson. Gudrun Dieberg. James R. Mcfarlane and Neil A. Smart. Blood pressure measurements in research: suitability of auscultatory. beat-to-beat. and ambulatory blood pressure measurements;
- [5] Phillip S. Lewis. Oscillometric measurement of blood pressure: a simplified explanation. A technical note on behalf of the British and Irish Hypertension Society;
- [6] Ana Vrdoljak. Tajana Željko Vrkic. Jelena Kos. Ksenija Vitale. Vedran Premužić. Mario Laganović. Bojan Jelaković. MJERENJE ARTERIJSKOG TLAKA- NE MARI ZA MALE STVARI I OSTAT ĆE MALE STVARI;
- [7] International Organization of Legal Metrology. OIML R 16-1 (Non-invasive mechanical sphygmomanometers). edition 2002. (E);
- [8] International Organization of Legal Metrology. OIML R 16-2 (Non-invasive automated sphygmomanometers). edition 2002. (E);
- [9] WebMD Editorial Contributors. Heart Disease: Types. Causes. and Symptoms. June 14. 2021.;
- [10] D. Zvizdić, L. G. Bermanec, Predavanja iz kolegija i procesna mjerenja (mjerenja u energetici), FSB, Laboratorij za procesna mjerenja, Zagreb;
- [11] <http://neuron.mefst.hr/docs/katedre/anesteziologija/Cirkulacija%20Modul%20E.%20KV%20II.%20%20final.pdf>
- [12] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Vjezba_06_-_Krvni_tlak.pdf
- [13] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/36/Diagram_of_the_human_heart_hr.svg/1200px-Diagram_of_the_human_heart_hr.svg.png
- [14] <https://pediaa.com/wp-content/uploads/2017/11/Difference-Between-Systolic-and-Diastolic-1.png>

- [15] <https://zdravlje.eu/wp-content/uploads/2013/02/Zatajenje-srca.jpg>
- [16] https://www.halo-doktore.hr/Images/Upload/tablica_vrijednosti_krvnog_tlaka.png
- [17] <https://www.researchgate.net/publication/339838937/figure/fig1/AS:867715917021188@1583891004770/Invasive-blood-pressure-measurement-with-a-fluid-filled-catheter-6.png>
- [18] <https://www.researchgate.net/profile/Karen-Giuliano/publication/41191757/figure/fig2/AS:394214853627912@1470999554307/Example-of-enhanced-bedside-monitor-display-with-bar-graph-trends-displayed.png>
- [19] https://m.media-amazon.com/images/I/71Whsb9QC7S._AC_UF894.1000_QL80_.jpg
- [20] https://ljekarna-pablo.hr/upload/2021/09/mjerenje-tlaka_614c78ce79f7d.jpg
- [21] <https://sainephrology.com/wp-content/uploads/2020/07/Apparatus-For-A-Blood-Pressure-Test.jpg>
- [22] https://ib.bioninja.com.au/_Media/sphygmomanometer_med.jpeg
- [23] <https://www.researchgate.net/profile/Mohamad-Forouzanfar/publication/277083801/figure/fig1/AS:601730404335622@1520475116190/Auscultation-and-palpation-principles-Adapted-from-2-with-permission.png>
- [24] https://uploads-ssl.webflow.com/6011a994ad210082aa98b668/605cd61eee6b3aa89b42205b_inflate-the-cuff-to-determine-a-rough-value-for-the-systolic-blood-pressure.jpeg
- [25] <https://i.ytimg.com/vi/Y-NvovSaWTc/maxresdefault.jpg>
- [26] <https://metamandate.com/wp-content/uploads/parts-of-a-sphygmomanometer.jpg>
- [27] https://secure.tutorsglobe.com/CMSImages/769_Sphygmomanometer.jpg
- [28] https://www.boscarol.it/modules/catalogue/images/8169_0.jpg?OMM2EC.JPG
- [29] https://www.istra-istria.hr/uploads/media/kardio-02-Aritmije_hr.pdf

PRILOZI

I. CD-R disc