



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**SYSTÉM PRO DLOUHODOBÉ MĚŘENÍ TLAKU PACI-
ENTŮ**

SYSTEM FOR LONG-TERM MEASUREMENT OF PATIENT PRESSURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL PETROVIČ

VEDOUCÍ PRÁCE prof. Ing., Dipl.-Ing **MARTIN DRAHANSKÝ, Ph.D.**

SUPERVISOR

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce



Student: **Petrovič Michal**
Program: Informační technologie
Název: **Systém pro dlouhodobé měření tlaku pacientů**
System for Long-Term Measurement of Patient Pressure
Kategorie: Vestavěné systémy

Zadání:

1. Prostudujte literaturu týkající se měření tlaku pacientů a dostupných tonometrů na trhu.
2. Využijte existující tonometr a navrhnete algoritmičké řešení pro dlouhodobé monitorování tlaku pacientů. Data z tonometru budou načtena do počítače lékaře a zobrazena.
3. Výše uvedení řešení realizujte a implementujte.
4. Proveďte sadu experimentálních měření, dosažené výsledky zhodnoťte a diskutujte možná rozšíření či úpravy.

Literatura:

- PARATI, Gianfranco, et al. Blood pressure variability: clinical relevance and application. *The Journal of Clinical Hypertension*, 2018, 20.7: 1133-1137.
- SU, Peng, et al. Long-term blood pressure prediction with deep recurrent neural networks. In: *2018 IEEE EMBS International conference on biomedical & health informatics (BHI)*. IEEE, 2018. p. 323-328.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 a 2 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Drahanský Martin, prof. Ing., Dipl.-Ing., Ph.D.**

Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.

Datum zadání: 1. listopadu 2021

Datum odevzdání: 11. května 2022

Datum schválení: 5. května 2022

Abstrakt

Cielom tejto práce je vyvinúť algoritmicke riešenie pre zvládnutie náporu pacientov na kardiologických klinikách. Zameral som sa na vytvorenie postupu a software-u, vďaka ktorému sa mohol zlepšiť systém predávania výsledkov s hodnotami krvného tlaku pacienta ku lekárovi. Zvolený problém som vyriešil pomocou vytvoreného programu, ktorý si dokáže stiahnuť dáta o pacientovi zo serveru a zobrazí ich u lekára. Vytvorené riešenie poskytuje možnosti sledovania vývoju krvného tlaku počas zvoleného časového intervalu s možnosťou zobrazenia klasifikácie výsledkov krvného tlaku alebo údajov o arytmiách. Výsledky tejto práce odľahčujú postup pre pacienta a zároveň zvyšujú rýchlosť prevzatia výsledkov lekárom.

Abstract

The goal of this thesis is to create an algorithm to model the peak flux of patients at cardiology clinics to improve the handling time per patient by the doctors. The focus of the project was to improve the retrieval, processing and displaying of patient's blood pressure results to a doctor. To tackle this problem, a computer program was written that automatically downloads the relevant blood pressure data, analyses it and presents it to the attending doctor. The developed application includes the possibility to monitor the blood pressure over a selected time interval, interpreting the results and recognize arrhythmia. The proposed solution simplifies the patient's life, decreases the waiting time for the attending doctor and thus increases his efficiency.

Klíčová slova

meranie krvného tlaku, tonometer, merač krvného tlaku, hypertenzia, hypotenzia, arytmia, software, Python

Keywords

blood pressure measurement, tonometer, blood pressure monitor, hypertension, hypotension, arrhythmia, software, Python

Citace

PETROVIČ, Michal. *Systém pro dlouhodobé měření tlaku pacientů*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce prof. Ing., Dipl.-Ing Martin Dražanský, Ph.D.

System pro dlouhodobé měření tlaku pacientů

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana prof. Ing., Dipl.-Ing. Martina Dražanského, Ph.D. Další informace mi poskytl prof. MUDr. Mgr. Jiří Pařenica, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....
Michal Petrovič

17. května 2022

Poděkování

Chcel by som poďakovať vedúcemu mojej práce prof. Ing., Dipl.-Ing. Martinovi Dražanskému, Ph.D. za cenné rady a vedenie tejto práce. Ďalej by som chcel poďakovať prof. MUDr. Mgr. Jiřímu Pařenicovi, Ph.D. za cenné rady a informácie. Taktiež by som chcel poďakovať Bc. Simone Vasekovej za rady a pomoc pri testovaní. V neposlednom rade ďakujem spoločnosti ETA a.s. za ochotu a zapožičanie prístroja na meranie krvného tlaku. Zvláštne poďakovanie patrí mojej rodine, priateľom a všetkým, ktorí ma podporovali pri písaní tejto práce.

Obsah

1	Úvod	3
2	Krvný tlak	5
2.1	Systolický tlak	5
2.2	Diastolický tlak	5
2.3	Stredný arteriálny tlak	7
3	Vyšetrovacie metódy	8
3.1	Priama vyšetrovacia metóda	8
3.2	Nepriame vyšetrovacie metódy	8
4	Tlakomer obecné	11
4.1	Typy tlakomerov	11
4.2	Výrobcovia	12
4.3	Zásady merania krvného tlaku	12
4.4	Validácia tlakomerov	13
5	Použitelnosť tlakomerov	14
5.1	Hypertenzia	14
5.2	Hypotenzia	16
5.3	Arytmia	17
6	Popis prístroja	19
6.1	Popis hardware	19
6.2	Popis software	22
7	Návrh implementácie	24
7.1	Zariadenie na meranie tlaku	24
7.2	Analýza zálohovaných dát	25
7.3	Návrh používateľského rozhrania	25
7.4	Klasifikovanie dát pre zobrazenie	26
7.5	Použité technológie	27
8	Implementácia	29
8.1	Získavanie dát	29
8.2	Zobrazenie UI a prepojenie s Matplotlib	30
8.3	Zobrazovanie dát	31
8.4	Ovládanie a filtrovanie dát	33
8.5	Experimentovanie a testovanie	34

8.6	Možné rozšírenia	35
9	Záver	36
	Literatura	37
A	Obsah priloženého pamäťového média	40
B	Bližšie fotky zariadenia	41

Kapitola 1

Úvod

V aktuálnej dobe a hlavne počas pandémie ochorenia COVID-19 sa telemedicína dostáva medzi rýchlo rastúce odvetia. V súčasnosti mnoho ľudí trpiacich civilizačnými ochoreniami, kam sa radí aj hypertenzia, prichádza do ordinácie ku svojmu ošetrojúcemu lekárovi len za účelom odovzdania informácií o vývoji ochorenia za posledné dni, čím dochádza ku zbytočnej kumulácii pacientov v priestoroch ordinácie. Tieto praktiky sú často zdĺhavé a zbytočné, či už pre zdravotnícky personál alebo pacienta. Vďaka rozšíreniu inteligentných zariadení medzi väčšinu populácie sa môžeme pokúsiť zmeniť systém, akým sa komunikuje s lekárom mimo ohrozenia života.

Na požiadanie z kardiologickej kliniky z Fakultnej nemocnice Brno, sme sa začali venovať danému problému, ktorý nám predostrel lekár z daného oddelenia. V súčasnej dobe majú množstvo pacientov, ktorí sú dlhodobo pozorovaní kvôli problémom so srdcom a hlavne s krvným tlakom. Títo pacienti majú naordinované meranie krvného tlaku niekoľko krát do dňa a pravidelne prichádzajú na kontrolu na danú kliniku. Kvôli absencii postupov pre meranie tlaku na diaľku, tak pacientom nezostáva nič iné, ako predať výsledky svojich meraní zastaralými spôsobmi. Z tohto dôvodu sme skúmali, ako by bolo možné celý proces uľahčiť, nielen pre pacienta, ale aj pre lekára, ktorý výsledky kontroluje.

Túto tému som si vybral hlavne preto, že pochádza z oblasti zdravotníctva a poznám mnoho ľudí, ktorí trpia na srdcovo-cievne ochorenia. Aj zo skúseností viem, ako si ľudia zapisujú svoje namerané hodnoty do papierového zošita a potom diktujú svoje výsledky cez telefón, kde ich zdravotník musí prepisovať, alebo zanesú celý zošit na kliniku a lekár potom študuje výsledky v neprehľadnej hromade čísel.

Z tohto dôvodu som sa podujal zlepšiť túto situáciu s motiváciou na odľahčenie práce zdravotníkom v zdravotníckych zariadeniach. Ciele tejto práce sú:

- Navrhnuť postup pre dlhodobé meranie tlaku pacientov, tak aby sa urýchlil prenos informácii medzi pacientom a lekárom.
- Naimplementovať software, ktorý bude získavať dáta z existujúceho zariadenia. Následne bude lekár schopný prezerať výsledky pacienta v prehľadnej štruktúre s farebným odlíšením zhoršených výsledkov.
- Otestovať a zhodnotiť funkčnosť tohto riešenia. Diskutovať jeho možné rozšírenia do budúcnosti.

Štruktúra tejto práce je rozdelená do rôznych blokov. V kapitole číslo 2 sa nachádza obecný popis krvného tlaku. V kapitole 3 sú popísané vyšetrovacie metódy, ktoré sa používajú pre meranie krvného tlaku. V kapitole 4 sa dozvieme o rôznych typoch zariadení,

ktoré sa používajú, o ich výrobcoch alebo o tom ako sa dané zariadenia validujú pre použitie na trhu. Kapitola číslo 5 je venovaná zdravotným stavom, ktoré sa dajú odhaliť pomocou tlakomera a ktoré sú častou sledovanou skupinou u lekára. V kapitole číslo 6 sa čitateľ dozvie bližšie informácie o vybratom prístroji, ktorý sa bude primárne používať pre účely tejto práce. V kapitole 7 je popísaný návrh implementácie daného software-u pre použitie v zdravotníckom zariadení. Posledná kapitola číslo 8 sa venuje implementácii danej aplikácie, jej testovaniu a možným ďalším rozšíreniam.

Kapitola 2

Krvný tlak

Krvný tlak je rovnako ako pulz alebo frekvencia dychu veľmi dôležitý ukazovateľ a zároveň, veľmi premenlivý s ohľadom na zdravotný stav pacienta [23]. Krvný tlak dokáže s určitou presnosťou odrážať aktuálne zdravotné potreby alebo deje, ktoré prebiehajú u pacienta. Je to hodnota, ktorá udáva tlak pôsobiaci na steny tepien vo veľkom [30] systémovom obehovom systéme [32].

Fyziologicky sa zvyšuje pri fyzickej námahe, rozrušení alebo pri bolestiach [23]. Keďže sa táto hodnota neustále mení, či už kvôli námahe, jedlu, stresu, okolitej teplote alebo iným faktorom [38], je veľmi obtiažne správne interpretovať výsledky a nastaviť ďalej liečbu [23].

Krvný tlak fyziologicky dosahuje hodnotu 120/80 mmHg [11]. Meranie sa skladá z dvoch hodnôt: systolického tlaku (počas kontrakcie) a diastolického tlaku (počas relaxácie) [20]. Počas systoly, kedy je krv vytláčaná z komory do aorty nastáva maximálna hodnota krvného tlaku, systolický tlak. Po systole prichádza vždy diastola, kedy je aortálna chlopňa uzatvorená, a tak do srdca nie je privádzaná žiadna krv. Tlak v tomto bode dosahuje svojho minima, diastolického tlaku [30].

2.1 Systolický tlak

Ako bolo už vyššie spomínané, jedná sa o maximálnu hodnotu tlaku na stenu aorty pri vypudzovaní krvi zo srdca. Normálna hodnota u zdravého jedinca by mala dosahovať 120 mmHg [11]. U zdravého dospelého by systolický tlak nemal presiahnuť hodnotu 140 mmHg [9].

Aby bolo zabezpečené otvorenie chlopni a extrakcia krvi do artérií, musí srdcová komora generovať tlak, ktorý je aspoň taký vysoký, ako maximálny tlak v artériách [30].

Hodnota je závislá od viacerých faktorov. Tými základnými sú sila srdcového svalu, poddajnosti, elasticity aorty a na artériách z nej vychádzajúcich [30]. Ku zvýšeniu systolického tlaku dochádza zvýšením objemu vypudzovanej krvi alebo znížením poddajnosti ciev [9].

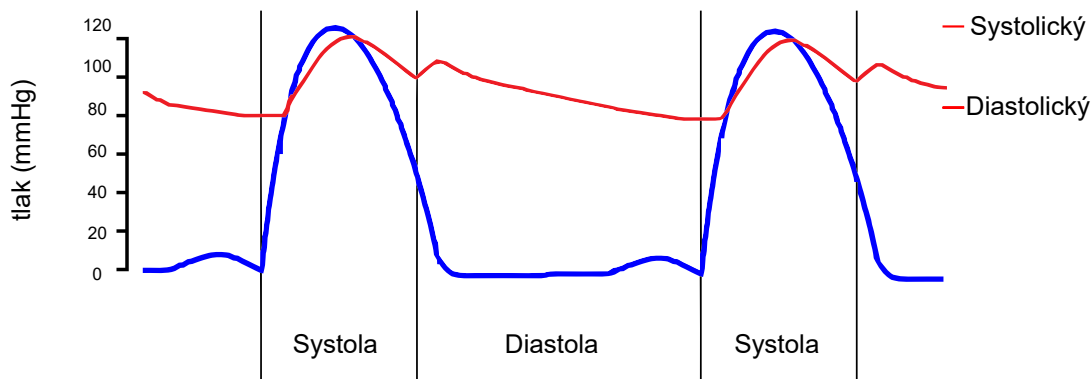
2.2 Diastolický tlak

Diastolický krvný tlak je najnižšia hodnota tlaku krvi, ktorá je dosiahnutá počas diastoly [9]. Diastola nastáva bezprostredne po systole. V tomto stave tlak v artériách postupne klesá až do svojej minimálnej hodnoty.

Fyziologická hodnota je 80 mmHg. U zdravého dospelého jedinca by hodnota nemala presiahnuť 90 mmHg diastolického krvného tlaku [9]. Hodnotu udáva srdcová frekvencia

a intenzita odporu periférií. V prípade zvýšenia odporu sa zvýši aj hodnota diastolického krvného tlaku. V opačnom prípade, keď sa znižuje odpor, znižuje sa aj hodnota [30].

Na obrázku 2.1 môžeme vidieť závislosť a zmeny v stavoch systoly a diastoly aj s ich maximálnym a minimálnym krvným tlakom.



Obrázek 2.1: **Obrázok tlaku počas jedného cyklu.** Obrázok ukazuje tlak v aorte (červená čiara) a ľavej komore (modrá čiara) počas dvoch srdcových cyklov, ako aj systolický tlak a diastolický tlak. Prevzaté a následne upravené z [4].

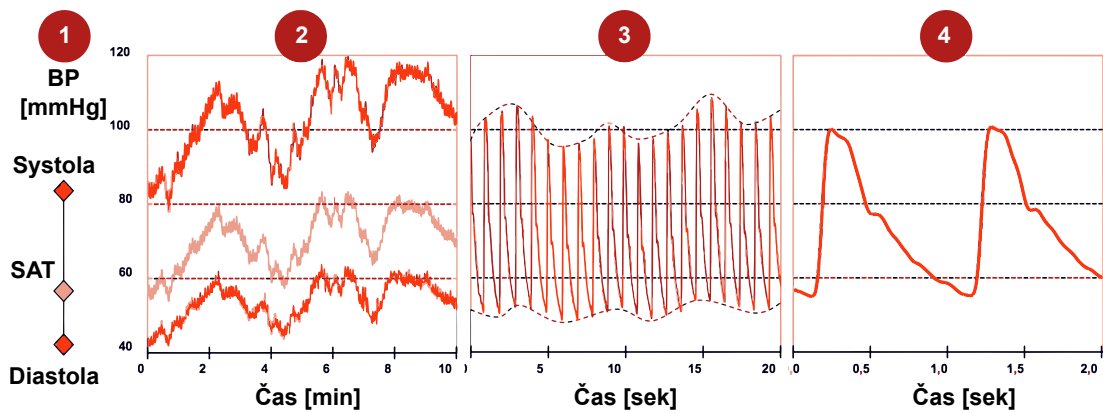
2.3 Stredný arteriálny tlak

Stredný arteriálny tlak je priemerná hodnota krvného tlaku behom jedného cyklu srdca. Táto hodnota neznamená aritmetický priemer systolického a diastolického tlaku. Hlavným problémom je, že diastola je asi dva krát dlhšia ako systola. Môžeme to vidieť na obrázku 2.1. Pri systolickom tlaku 120 mmHg a diastolickom krvnom tlaku 80 mmHg je stredný arteriálny tlak približne 93.3 mmHg [20].

Stredný arteriálny tlak môžeme vypočítať ako súčet jednej tretiny systolického a dvoch tretín diastolického krvného tlaku [37].

Vzorec na výpočet stredného arteriálneho tlaku:

$$SAT = \frac{1}{3} * ST + \frac{2}{3} * DT \quad (2.1)$$



Obrázok 2.2: Systola, diastola a stredný arteriálny tlak. Obrázok ukazuje priebeh systoly, diastoly a stredného arteriálneho tlaku v čase. Prevzaté a následne upravené z [3].

Kapitola 3

Vyšetrovacie metódy

Vôbec prvýkrát bol krvný tlak zmeraný v roku 1733. Tento zákrok realizoval reverend Stephen Hales, ktorý ho vykonal invazívnou metódou za pomoci sklenej trúbky, ktorú zasunul do krčnej tepny koňa [22].

O sto rokov neskôr bol vyvinutý ortuťový manometer vynálezcom Jean-Léonard-Marie Poiseuille a v roku 1860 bol vyvinutý prvý prenosný manometer k záznamu pulznej vlny fyziológom Etienne Jules Mareyem. Neskôr boli vynájdené tlakomery, ktoré sa nelíšia od tých, čo sa používajú v súčasnej dobe.

Tlakomery s gumeným vakom, ktorý sa plní vzduchom a spôsobuje oklúziu tepny a meria systolický tlak vynášiel Scipione Riva-Rocci [18]. Na začiatku minulého storočia, v roku 1905, doplnil Nikolaje Sergejeviče Korotkova meranie diastolického tlaku a tak vznikli tlakomery v takej podobe, aké poznáme dnes [5].

3.1 Priama vyšetrovacia metóda

Priama, alebo aj invazívna vyšetrovacia metóda, spočíva v postupe, kde sa pacientovi zavedie špeciálny intraarteriálny katéter najčastejšie do artérie radialis, artérie brachialis alebo artérie femoralis. Menej často do artéria urnalis alebo dorsalis pedis [24]. Katéter je napojený na manometer a monitor. Táto metóda sa využíva predovšetkým v prípadoch hospitalizácie pacienta na jednotke intenzívnej starostlivosti alebo anesteziologicko-resuscitačných oddeleniach. [21].

3.2 Nepriame vyšetrovacie metódy

Väčšina používaných prístrojov na neinvazívne meranie je založených na vyvinutí externého tlaku na artériu brachialis, čo vedie ku prerušeniu arteriálnej pulzácie. Postupným vypúšťaním manžety sa pulzácie obnovia. Najčastejšie sa používa ortuťový sfyngomanometer [21].

Postup takéhoto vyšetrenia spočíva v nafúknutí pneumatickej manžety na hodnotu presahujúcu systolický tlak. To spôsobí, že pulzové vlny ani ozvy nie sú rozpoznateľné distálne od manžety. Manžeta sa nafukuje, až kým srdcové ozvy v kubitálnej jamke nie sú pomocou fonendoskopu počuteľné. Následne môžeme pomaly vypúšťať vzduch z nafúknutej manžety a v momente, kedy prvý krát započujeme šelesty, ktoré sú spôsobené turbulentným prúdením krvi, tak z ortuťového stĺpca odčítame hodnotu systolického tlaku. Následne vypúšťame ďalej, až dokým nezapočujeme posledný šelest, alebo začiatok ticha. Vtedy odčítame hodnoty diastolického tlaku [39].

Palpačná metóda

Táto vyšetrovacia metóda spočíva v odhadovaní tlaku krvi a nie je taká presná ako ostatné. Palpáciou, alebo ľahkým mechanickým stlačením za účelom zachytenia vlny prúdiacej krvi, sa dá odhadnúť systolický tlak. Najčastejšie sa palpačné vyšetrenie vykonáva na artérii carotis alebo radialis [12]. Palpačné vyšetrenie má tendenciu podhodnotiť systolický krvný tlak o približne 5-6 mmHg.

Jeho výhoda spočíva v tom, že nepotrebujeme na vyšetrenie tiché prostredie ani fonendoskop.

Pomocou tejto metódy sa niektoré štúdie snažili zachytiť aj diastolický tlak, avšak nie vždy boli výsledky štúdie replikovateľné, aj keď sa v určitých prípadoch zhodovali s výsledkami iných metód [12].

Auskultačná metóda

Auskultačná metóda je základnou a najčastejšie používanou metódou vyšetrenia tlaku krvi. Podkladom auskultačnej metódy merania na paži je vyvinutie tlaku a priloženie fonendoskopu na artériu brachialis. Pomocou fonendoskopu sledujeme objavenie a vymiznutie Korotkových oziev (Fáza I až Fáza IV na obrázku 3.1). Auskultačný vnem alebo Korotkova ozva vzniká turbulentným prúdením pri kompresii artérie a ich vymiznutie koreluje s obnovou normálneho prúdenia v cieve [21] [39].

Auskultačná metóda je využívaná aj pri digitálnych tonometroch, hlavne v domácom prostredí. Miesto fonendoskopu prístroj používa zabudovaný mikrofón a sníma klasické Korotkovy šelesty. Nevýhodou použitia mikrofónu je viacero digitálnych artefaktov pri meraní, takže toto meranie nemusí byť vždy presné.

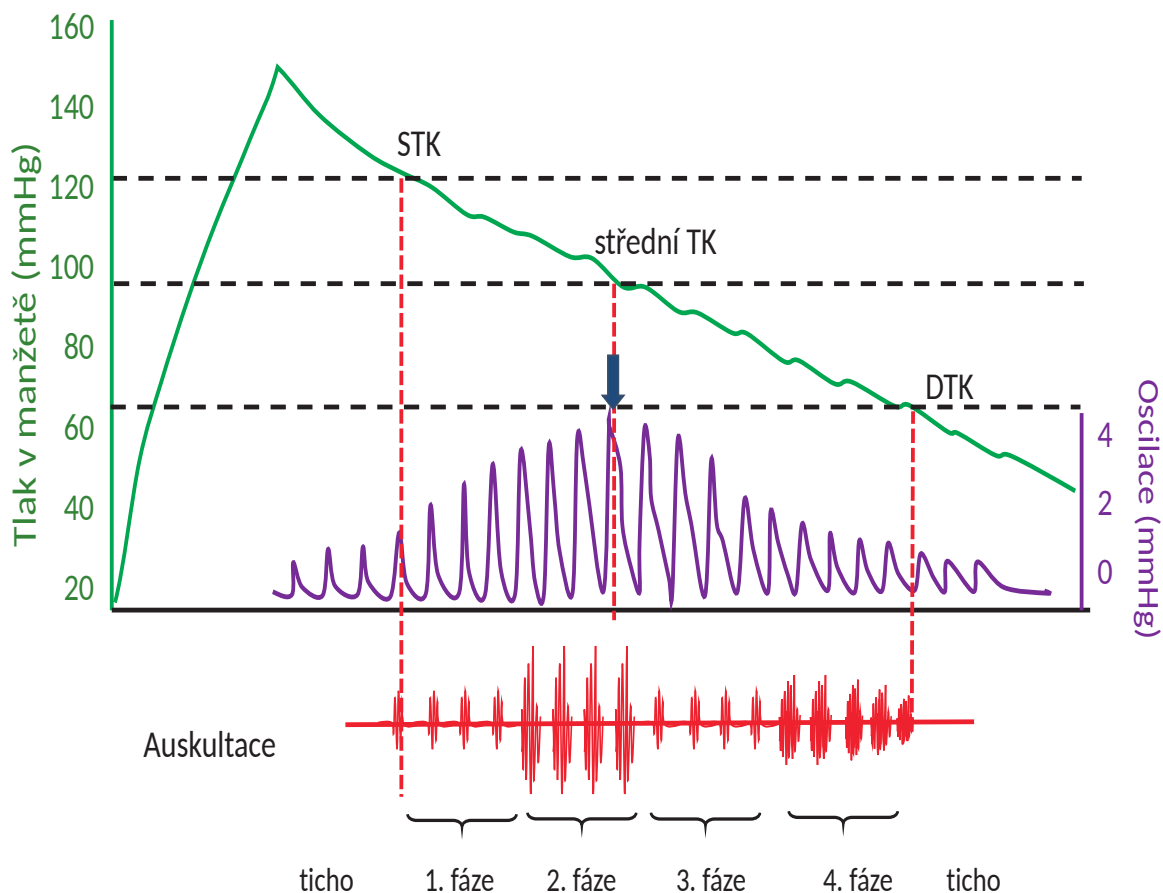
Oscilometrická metóda

Táto metóda je založená na rozpoznávaní zmien oscilácie manžety. Pomocou oscilometrie sa meria amplitúda zmien tlaku v nafúknutej manžete, ktorá synchronizovanie osciluje spolu s tepnami. Prístroj zachytáva osciláciu a v najväčšej amplitúde sa nachádza stredný krvný tlak. Vďaka tejto hodnote, už vieme vypočítať odpovedajúcu hodnotu systolického a diastolického tlaku s použitím vzorca 2.1. Amplitúdu oscilácie môžeme vidieť na obrázku 3.1.

Najväčšou nevýhodou je závislosť na pravidelnosti srdcovej frekvencie, pretože akákoľvek nepravidelnosť je zaznamenaná v tlakovom senzore a tým pádom zásadne ovplyvní výsledky, kvôli narušeniu symetrie oscilácií. Meranie je tak nepoužiteľné pre určité skupiny pacientov, napríklad pre tehotné, pacientov s fibriláciou siení, s veľkou tuhosťou tepien a iné [39].

Tabulka 3.1: Popis Korotkových fenoménov podľa fázy [29]

Fáza I	prvý jasný tón, súčasne sa objavuje hmatný pulz, systolický tlak
Fáza II	postupné zosilnenie oziev, tón je dlhší a tlmenejší
Fáza III	tóny sú hlasnejšie a ostré, hlasitosť dosahuje maxima, stredný arteriálny tlak
Fáza IV	oslabenie oziev, menej zreteľné a mäkké
Fáza V	dochádza k vymiznutiu oziev, krv prúdi voľne, diastolický tlak



Obrázek 3.1: Schematické znázornenie amplitúdy zmien tlaku vzduchu v manžete pre auskultačné a oscilometrické merania. Prevzaté z [23].

Dopplerovské meranie

Ďalšou neinvazívnou metódou predstavuje meranie kontinuálneho dopplerovského signálu. Prístroj zaznamenáva prúdenie v artérii pod manžetou. Používa sa na to prístroj zvaný dopplerovský prietokomer. Meranie je využívané na meranie členkových tlakov a na porovnanie tlaku pri horných a dolných končatinách [8]. Avšak, pre klinické meranie je metóda nepresná a nepoužíva sa [18].

Peňázova metóda

Táto metóda bola vyvinutá českým fyziológom z Brna, Janom Peňázom. Poskytuje presný odhad zmien hodnôt systolického a diastolického tlaku, avšak obe tieto hodnoty môžu byť nadhodnotené alebo podhodnotené. Preto sa neodporúča využívať prístroje založené na tejto metóde. Jeho objav digitálnej fotopletysmografie vychádza zo zmien intenzity svetla. Vďaka tomu sa dá merať tlak kontinuálne [28] [2].

Kapitola 4

Tlakomer obecné

Poznáme veľmi veľa druhov tonometrov, ktoré sa klasifikujú podľa umiestnenia, metódy merania, odbornosti alebo toho, či je daný tlakomer digitálny, ortuťový alebo aneroidný.

4.1 Typy tlakomerov

Ortuťové tonometry

Ortuťové tonometry sú stále veľmi používané hlavne v zdravotníckom prostredí. Na meranie pomocou takéhoto tonometru potrebujeme manžetu, ortuťový stĺpec a fonendoskop. Tieto tonometry používajú auskultačnú metódu (popísaná v sekcii 3.2).

Ortuťové tlakomery sa považujú za najpoužívanejšie, odolné a presné. Prístroj sa musí počas merania nachádzať na rovnej ploche, aby bol ortuťový stĺpec zvislý a ortuť dosahovala na začiatku merania nulu [29].

Aneroidné tonometry

Aneroidné tonometry, na rozdiel od ortuťových, majú stupnicu kruhovú. Tieto tlakomery nevyužívajú žiadnu tekutinu, iba vzduch. Existujú dva typy. Jednoduchový, kde je manometer spojený s balónikom na nafukovanie a dvojhadicový, ktorý má balónik a manometer oddelený. Sú ľahké a dajú sa používať v každej polohe. Na rozdiel od ortuťových nie sú veľmi odolné a ľahko sa poškodia [29].

Digitálne tonometry

Digitálne tonometry sú nepresné, a to z dôvodu výskytu artefaktov, ktoré vznikajú pri použití citlivých mikrofónov v manžetách, nepresnosťou tlakových senzorov používaných pri oscilačnej metóde alebo slabou batériou, kedy zariadenie nemá dostatočný výkon na nafúknutie manžety na požadovanú úroveň. Tieto tlakomery sa používajú zväčša v domácom prostredí.

Taktiež existujú digitálne tonometre, ktoré sa využívajú na kontinuálny, 24 hodinový monitoring za účelom diagnostiky hypertenzie a arytmie. Daný prístroj sa nazýva Holterov monitor.

Digitálne prístroje na meranie tlaku sa používajú aj na jednotkách intenzívnej starostlivosti, kde sú súčasťou monitoru vitálnych funkcií a umožňujú tak neustále sledovanie krvného tlaku. Ide o presné meranie, pretože prístroje sú zapojené na stále napájanie a sú pravidelne kalibrované [29].

V tejto práci sa budeme zaoberať väčšinou digitálnymi tlakomerami na domáce použitie pre takzvaný self-monitoring.

4.2 Výrobcovia

Tak ako je veľké množstvo typov prístrojov, tak existuje aj veľké množstvo výrobcov tonometrov. Výrobcovia sa snažia o vývoj čo najkvalitnejších prístrojov. Kvalita prístroju je priamoúmerná jeho cene. Výrobcovia majú niekoľko typov tlakomerov v každej kategórii, aby si spotrebitelia mohli vybrať s ohľadom na cenu alebo prípadné použitie. Cena prístroja sa odvíja od použitej metódy merania, presnosti, rôznej certifikácie a ďalších parametrov.

Medzi najväčších a najznámejších výrobcov prístrojov na meranie krvného tlaku sa radia firmy ako iHealth, Omron, LifeSource, Beurer [10]. Medzi najznámejšieho českého výrobcu sa radí firma ETA. Tento výrobca elektroniky, založený v roku 2008 s koreňmi siahajúcimi do roku 1943, má v ponuke niekoľko prístrojov, v rôznych cenových kategóriách s rôznymi funkciami.

4.3 Zásady merania krvného tlaku

Ambulantný postup

Pri návšteve ambulancie sa krvný tlak meria na paži, kde bola v minulosti nameraná vyššia hodnota. Pri prvom meraní by sa mal krvný tlak odmerať na oboch pažiach. Za fyziologické hodnoty sú považované rozdiely do 10 mmHg. Ak sa pacientovi meria tlak v sede, jeho paža by mala byť podopretá na úroveň srdca. U diabetikov a u starších pacientov sa krvný tlak meria v stoji [39].

Pre meranie platia určité zásady. Pred jeho samotným zahájením musí byť pacient v klude 5 až 10 minút. Tlak sa meria aspoň dva krát po sebe v rozmedzí 1 až 2 minúty. Dôležité je použitie kalibrovaného prístroja. Pri meraní ortuťovým tlakomerom by mala byť rýchlosť klesania ortute 2 mm/s. K chybám pri meraní s ortuťovým tonometrom môže dochádzať napríklad, ak ortuť pri nenafúknutej manžete nedosahuje ku hodnote 0 [39].

Domáci postup

Na domáce meranie tlaku sa vo väčšine prípadov používajú digitálne tonometre, poloautomatické alebo automatické. Neodporúčajú sa prístroje, ktoré využívajú Peňázovu metódu, pretože sú často nepresné. Veľmi dôležitá je údržba prístroja, jeho kalibrácia a uistenie sa, že batérie v prístroji nie sú vybité. Doporučené sú prístroje s manžetou umiestňovanou na pažu ruky.

Aby bolo meranie správne a dôveryhodné je potrebné využiť prístroj, ktorý bol validovaný. Je nutné mať správnu veľkosť manžety a pred meraním byť aspoň 5 až 10 minút v klude. Zaznamenanie tlaku krvi by sa malo vykonávať aspoň dva krát po sebe ráno aj večer. Ráno býva tlak z pravidla nižší ako večer. Paža alebo zápästie by mali byť vo výške srdca pre najoptimálnejšie meranie. Domáce meranie sa vykonáva v sede [39].

Ku rozdielom medzi domácim a ambulantným meraním môže dochádzať z viacerých dôvodov. Jedným z najčastejších je fenomén bieleho plášťa. Pri tomto fenoméne sú pacientovi namerané hodnoty vyššie v ambulancii ako doma. Je to spôsobené stresom a strachom z návštevy lekára, prípadne z obavy z výsledku. Pri hodnotách nad 140/90 mmHg sa jedná už o hypertenziu bieleho plášťa [23].

Aby sme vedeli správne identifikovať, či sa jedná práve o daný fenomén alebo má pacient zdravotný problém, využíva sa prístroj na 24 hodinové monitorovanie tlaku krvi. Tento prístroj zaznamenáva tlak každých niekoľko minút, celých 24 hodín. Podľa výsledkov vie lekár posúdiť, či bol predchádzajúci zvýšený krvný tlak spôsobený fenoménom bieleho pláštú alebo sa jedná o problém, ktorý je treba došetriť [39].

4.4 Validácia tlakomerov

Ako už bolo spomenuté v sekcii 4.2, na trhu je na výber veľké množstvo prístrojov. Nielen v medicínskej sfére ale aj pre verejnosť. Dopyt neodbornej verejnosti sa rýchlo zvyšuje s narastajúcimi diagnózami hypertenzie a iných srdcovo-cievnych ochoreniami. Tým pádom by pre zákazníka, či už profesionála alebo laika, mala byť presnosť prístroja na prvom mieste. Avšak, drvivá väčšina prístrojov nebola nezávisle overená z hľadiska presnosti.

Tri najpoužívanéjšie protokoly pre overovanie presnosti sú protokol Britskej hypertenznej spoločnosti (BHS), štandard Asociácie pre pokrok v medicínskej inštrumentácii (AAMI) a Medzinárodný protokol Európskej spoločnosti pre hypertenziu (IP) [1]. Tieto protokoly sa používajú na overenie presnosti tlakomera podľa prísnych kritérií rôznych inštitúcií. Tieto protokoly sa vyvíjajú od roku 1990. Ak je určitý prístroj overený a validovaný podľa daných kritérií, dostane hodnotenie a odporúčanie na použitie.

Kapitola 5

Použitelnosť tlakomerov

Pacienti, teda používatelia tonometrov využívajú prístroje buď preventívne pre svoju potrebu alebo z nariadenia a odporúčania od ošetrojúceho lekára. Existuje niekoľko ochorení, pri ktorých by pacienti mali sledovať alebo musia sledovať hodnoty svojho krvného tlaku.

5.1 Hypertenzia

Najrozšírenejšou chorobou, pri ktorej sa vyžaduje meranie krvného tlaku, je hypertenzia. Hypertenzia je najčastejšou príčinou smrti v populácii od 30 do 79 rokov. V roku 2021 celosvetovo trpelo hypertenziou približne 1.28 miliardy ľudí. Približne 46 % ľudí s daným ochorením nemá oficiálnu diagnózu. Pacientov, ktorí ju majú diagnostikovanú a liečenú, je iba okolo 42 % a iba 21 % pacientov ju má pod kontrolou [14]. Uvádza sa, že vo vyspelých krajinách trpí hypertenziou až 90 % ľudí, ak žijú dostatočne dlho. [6].

Hypertenzia je choroba, pri ktorej je v cievach zvýšený tlak krvi. Je to významný rizikový faktor pre vznik iných srdcovo-cievnych chorôb ako infarkt myokardu, cievna mozgová príhoda alebo ischemická choroba srdca. Tieto choroby sa každoročne umiestňujú na popredných priečkach príčiny smrti vo vyspelých krajinách [39].

Klasifikácia

Hypertenziu klasifikujeme podľa závažnosti. Európska hypertenziologická a Európska kardiologická spoločnosť uvádza závažnosť podľa hodnôt. V tabuľke číslo 5.1 môžeme vidieť príslušné kategórie. Pacienta do jednotlivej kategórie vždy zaraďuje vyššia hodnota buď systolického alebo diastolického tlaku [6]. Definícia izolovanej systolickej hypertenzie sa líši. Diastolický tlak pri všetkých kategóriach tejto špeciálnej skupiny zostáva pod 90 mmHg a podľa systolického tlaku určíme príslušnú klasifikáciu. Hodnoty systolického tlaku pri izolovanej systolickej hypertenzii sú rovnaké ako pri normálnej hypertenzii [40].

Príčiny

Hypertenziu rozlišujeme na dva základné typy. Rozdielom medzi týmto delením sú príčiny vzniku. Poznáme primárnu a sekundárnu hypertenziu.

Prvým typom je primárna hypertenzia. Primárna, inak nazývaná esenciálna hypertenzia, je typ ochorenia, pri ktorom sa nedá s určitou povedať, čo predstavuje príčinu jej vzniku. Má tendenciu vyvíjať sa postupne, počas niekoľkých rokov [36]. Ide o multifakto-

Tabuľka 5.1: Klasifikácia stupňov tlaku krvi (TK) podľa Európskej hypertenziologickej a Európskej kardiologickej spoločnosti [6] [40].

Katégoria	Systolický tlak (mmHg)	Diastolický tlak (mmHg)
Optimálna hodnota	< 120	< 80
Normálny tlak	120 - 129	80 – 84
Vysoký normálny tlak	130 - 139	85 – 89
1. stupeň hypertenzie (mierna)	140 - 159	90 – 99
2. stupeň hypertenzie (stredne ťažká)	160 - 179	100 – 109
3. stupeň hypertenzie (ťažká)	≥ 180	≥ 110
Izolovaná systolická hypertenzia (mierna)	140 - 159	< 90
Izolovaná systolická hypertenzia (stredne ťažká)	160 - 179	< 90
Izolovaná systolická hypertenzia (ťažká)	≥ 180	< 90

riálne ochorenie, ktoré je možné diagnostikovať len po vylúčení sekundárnych príčin [33]. Práve daný typ je diagnostikovaný u väčšiny pacientov. [36].

Druhým typom hypertenzie je sekundárna hypertenzia, ktorá je príznakom iného ochorenia. U tohto typu je možné presne identifikovať vyvolávajúcu príčinu. Má trend náhleho vzniku a spôsobuje vyšší tlak ako primárna hypertenzia. Ku sekundárnej hypertenzii môžu viesť rôzne stavy a lieky. Vyskytuje sa pri patologických stavoch, ako napríklad obštrukčné spánkové apnoe, ochorenie obličiek, nádory nadobličiek, problémy so štítnou žľazou a iné. Lieky, ako napríklad antikoncepčné pilulky, dekongestáta, kortikosteroidy, nesteroidné antiflogistiká môžu tiež spôsobovať sekundárny typ hypertenzie [33] [36].

Dôležitosť správnej diagnostiky hypertenzie spočíva v nastavení optimálneho liečebného postupu [33].

Rizikové faktory

Existuje viacero rizikových faktorov, ktoré môžu prispieť k rozvoju daného ochorenia. Najčastejším z nich je vek pacienta. S prichádzajúcim vekom sa toto riziko zvyšuje. Do 64. roku života je hypertenzia častejšia u mužov. U žien sa toto riziko zvyšuje pri prekročení veku 65 rokov.

Rizikovým faktorom sa ukazuje taktiež rasa pacienta. U ľudí, ktorí majú africký pôvod je pravdepodobnejšie, že budú trpieť na hypertenziu už v mladšom veku ako ľudia európskej rasy.

Nadváha alebo obezita patrí tiež medzi časté rizikové faktory. Čím má človek vyššiu váhu, tým viac krvi potrebuje na okysličenie a dodanie živín do tkanív tela. Ako sa zvyšuje prietok krvi cez krvné cievy, tak sa zvyšuje aj tlak, ktorý pôsobí na steny artérií.

Nesprávna diéta tiež ovplyvňuje mieru rizika, s akou sa pacient stane hypertnikom. Veľa sodíku, inak povedané soli, v jedle môže spôsobiť to, že ľudské telo bude zadržiavať tekutiny, čo spôsobí zvýšenie krvného tlaku. Rovnako, málo draslíka prispieva ku rozvoji

hypertenzie. Draslík slúži ako vyrovňovanie sodíka v bunkách. Správny pomer draslíka je kriticky dôležitý pre dobré zdravie srdca. Ak človek neprijme dostatočné množstvo draslíka, alebo stráca draslík vplyvom dehydratácie či inej zdravotnej ťažkosti, začnú sa formovať veľké množstvá sodíka, čo vedie k zvýšeniu krvného tlaku.

Málo pohybu, respektíve nedostatočná fyzická kondícia, môže vyústiť do zvýšeného tlaku krvi. Ľudia, ktorí sú neaktívni, majú tendenciu k vyššej pulzovej frekvencii. So zvyšujúcim sa pulzom musí srdce vyvinúť vyššiu silu pri kontrakcii a tým pôsobí väčšia sila na tepny.

Vysoké hladiny stresu môžu viesť ku vysokému krvnému tlaku. Návyky ľudí, ktoré sa spájajú s hladinami stresu, ako napríklad prejedanie sa, používanie tabakových výrobkov, pitie alkoholu či stresová práca dočasne zvyšujú krvný tlak, čo časom môžeme viesť ku vzniku hypertenzie.[36].

Zvýšený výskyt hypertenzie v rodinách poukazuje na genetické faktory. Hypertenzia u rodičov môže znamenať vysoké riziko objavenia aj u detí. Avšak, keďže sa jedná o chorobu, ktorá je ovplyvnená mnohými faktormi, nepodlieha mendelovskému typu dedenia [33].

Komplikácie

Neustále zvýšený tlak v cievach ľudského tela spôsobuje mnoho problémov. Dokáže poškodiť samotné cievy, ale aj vnútorné orgány. Čím vyšší je tlak a čím dlhšie pôsobí na steny artérií, tým závažnejšie môžu byť komplikácie, ktoré zapríčiniť.

Jedna z najzávažnejších komplikácií, ktorá sa môže vyskytnúť, je infarkt myokardu alebo cievna mozgová príhoda. Vysoký krvný tlak spôsobuje hrubnutie tepien, aterosklerózu, kedy sa aterosklerotický plát ukladá v cievach a tým znižuje ich prietok, čo vedie ku oklúzií alebo ruptúre ciev. [41] [36].

Opozitum hrubnutia stien je ich oslabenie. Aj táto komplikácia je spôsobená vysokým krvným tlakom. Pri zvýšenom nápore na steny ciev dochádza k ich vydúvaniu, čím sa vytvorí aneuryzma. Ruptúra aneuryzmi predstavuje život ohrozujúci stav.

Pri zvýšenom krvnom tlaku musí srdcový sval kompenzovať silu, ktorou vytláča krv do ciev. To spôsobuje hypertrofiu ľavej komory, čiže zhrubnutie stien v srdci. Srdcový sval nedokáže napumpovať potrebné množstvo krvi, aby boli pokryté nároky ľudského tela a srdce môže zlyhať a zastaviť sa. [36].

Metabolický syndróm, alebo skupina porúch metabolizmu. Pri danom syndróme nachádzame zvýšenú hladinu inzulínu, čo môže spôsobiť Diabetes mellitus. Znižuje sa cholesterol s vysokou hustotou lipoproteínov, takzvaný dobrý cholesterol a zvyšuje sa množstvo cholesterolu s nízkou hustotou, ktorý sa označuje za zlý cholesterol [36] [13].

5.2 Hypotenzia

Hypotenzia, alebo znížený krvný tlak, sa väčšinou nepovažuje za závažný zdravotný problém alebo ochorenie. Naopak, môže sa radiť do dobrého zdravotného stavu. Sú však prípady, kedy môže aj tento stav uškodiť. Hypotenzia, pokiaľ nie je spojená s ďalšími príznakmi, nemusí vždy škodiť ľudskému telu ako tomu býva u hypertenzii popísanej v sekcii číslo 5.1 [17] [16].

Klasifikácia

Tento stav v ľudskom tele nastáva, pokiaľ hodnoty krvného tlaku klesnú pod 90 mmHg systolického tlaku a/alebo 60 mmHg diastolického tlaku. U určitých ľudí sa dané hodnoty krvného tlaku vyskytujú dlhodobo. Ak však u človeka nastane pokles tlaku nárazovo, môže sa jednať aj o veľmi závažný stav [15] [34].

Príčiny

Chronická artériálna hypotenzia je najčastejšie súčasťou celkovej telesnej slabosti a jej príčina sa presne nedá zistiť. Ortostatický kolaps, teda náhle zníženie krvného tlaku sa môže vzniknúť aj u ľudí s dobrým telesným stavom. Kolaps môže vzniknúť pri vagotonikoch, napríklad pri náhlej zmene polohy, strese alebo strachu, kedy dochádza k celkovému rozšíreniu tepien a k náhlej strate tlaku v obehu [34] [16]. Náhle zníženie tlaku môže byť spôsobené aj závažnejšími stavmi, ako napríklad masívnym krvácaním [17].

Častým dôvodom hypotenzie u žien je najmä tehotenstvo. Gravidita spôsobuje veľmi rýchly nárast objemu obehovej sústavy a tým sa tlak krvi znižuje. Tento stav je častý a nie je považovaný za patológiu. Po pôrode sa hodnoty krvného tlaku vrátia do stavu pred tehotenstvom [34].

K neprirodzenému zníženiu tlaku krvi vedie aj extrémne pomalá srdcová frekvencia, chlopňové vady alebo zlyhanie srdca [15] [34].

Pri septikémii alebo ťažkej infekcii je jedným z hlavných príznakov práve pokles krvného tlaku do hodnôt hypotenzie. Toto môže viesť ku septickému šoku. [17] [34].

Ďalším častým dôvodom pre náhle zníženie krvného tlaku v cievach je dehydratácia alebo nedostatok živín v strave človeka. Insuficiencia vitamínu B12, kyseliny listovej a železa bráni telu pri tvorbe hemoglobínu, čo spôsobuje anémiu [34].

Rizikové faktory

Najdôležitejším rizikovým faktorom pre vznik hypotenzie je vek. U dospelých starších ako 65 rokov je zaznamenaný pokles tlaku krvi hlavne po jedle alebo pri státí. Hypotenzia, ktorá je sprostredkovaná nervovo, sa vyskytuje častejšie u mladých dospelých a hlavne u detí [34].

Ľudia, ktorí trpia hypertenziou a užívajú antihypertenzíva, napríklad alfablokátory, majú sklon dostať sa až do stavu hypotenzie pri nesprávne nastavenej liečbe. Preto je dôležité sledovať pokles krvného tlaku aj u hypertonikov, čo napomáha ošetrovateľovi v optimálnom nastavení liečby [34].

Komplikácie

Komplikácie pri zníženom krvnom tlaku nie sú tak závažné ako pri hypertenzii, ale rovnako môžu skomplikovať aktuálny zdravotný stav. Už aj pri stredne ťažkej forme hypotenzie sa môžu prejaviť komplikácie. Jedná sa o celkovú slabosť, mdloby a s tým spojené riziko zranenia pri páde alebo závraty. Rovnako výrazný nedostatok krvného tlaku môže spôsobiť deficit kyslíka v bunkách, čo môže spôsobiť poškodenie mozgu alebo srdca [34].

5.3 Arytmia

Arytmie, teda poruchy srdcového rytmu, patria medzi najčastejšie ochorenia srdcového svalu. Vznikajú ako dôsledok nesprávnej koordinácie úderov srdca prostredníctvom elek-

trických signálov. Daná patológia môže spôsobiť, že srdce bije nepravidelne, príliš rýchlo - tachykardia, alebo príliš pomaly - bradykardia [35] [19]. Grafické porovnanie tachykardie a bradykardie môžeme vidieť na obrázku číslo 5.1

Nepravidelnosť srdcového rytmu väčšinou bráni korektnému odmeraniu tlaku oscilometrickou metódou, ktorá je popísaná v sekcii číslo 3.2. Na trhu sa objavujú aj prístroje, ktoré dokážu nepravidelnosť tepu zaznamenať a zohľadniť pri svojom meraní [7].

Tachykardia

O tachykardii, teda o zrýchlenej srdcovej frekvencii, môžeme hovoriť ak pulz ľudského srdca prekoná hranicu 100 úderov za minútu v pokojovom stave. Tachykardia sa rozdeľuje na niekoľko typov a závažností, no domáce prístroje na meranie tlaku takéto komplikácie neodhalia [35]. Fyziologicky sa môže objaviť tachykardia po fyzickej a psychickej námahe alebo strese. Pacient je ohrozený na živote, až keď hodnota pulzu prekročí 160 úderov za minútu [29].

Bradykardia

Bradykardia naopak znamená nízku hodnotu srdcového tepu, kedy je frekvencia úderov nižšia ako 60 za minútu. Nie vždy daná frekvencia signalizuje problém. Človek fyzicky aktívny má srdce dostatočne silné na to, aby pumpovalo krv do celého tela aj s menej ako 60 údermi za minútu [35]. Fyziologicky sa objavuje napríklad v spánku. Ohrozenie pacienta nastáva pri hodnotách srdečnej frekvencie pod 40 úderov za minútu [29].



Obrázek 5.1: Rozdiel medzi krivkami srdcové tepu. Krivky zobrazujú rozdiel medzi normálnym rytmom, bradykardiou a tachykardiou. Prezaté a následne upravené z [26].

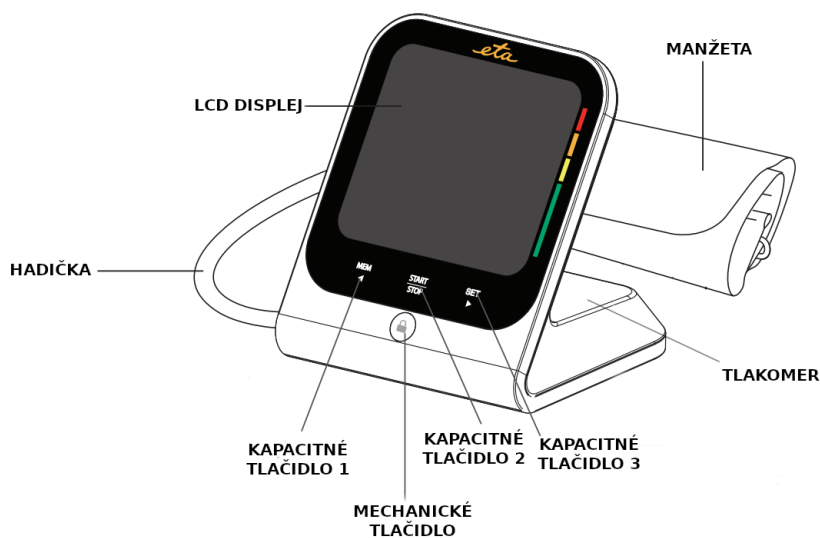
Kapitola 6

Popis prístroja

Prístroj, ktorý bol zapožičaný od spoločnosti ETA a.s. je značky ETA typu SMART 4279 90000. Tento model je určený na meranie na paži a využíva oscilometrickú metódu popísanú v sekcii číslo 3.2. Tento merač krvného tlaku ponúka meranie systolickeho a diastolického tlaku. Taktiež dovoľuje meranie srdcového tepu a dokáže rozpoznať nepravidelný pulz, tzv. arytmiu, ktorá je popísaná v sekcii číslo 5.1 Podporuje konektivitu s mobilnou aplikáciou pomocou bluetooth [7].

6.1 Popis hardware

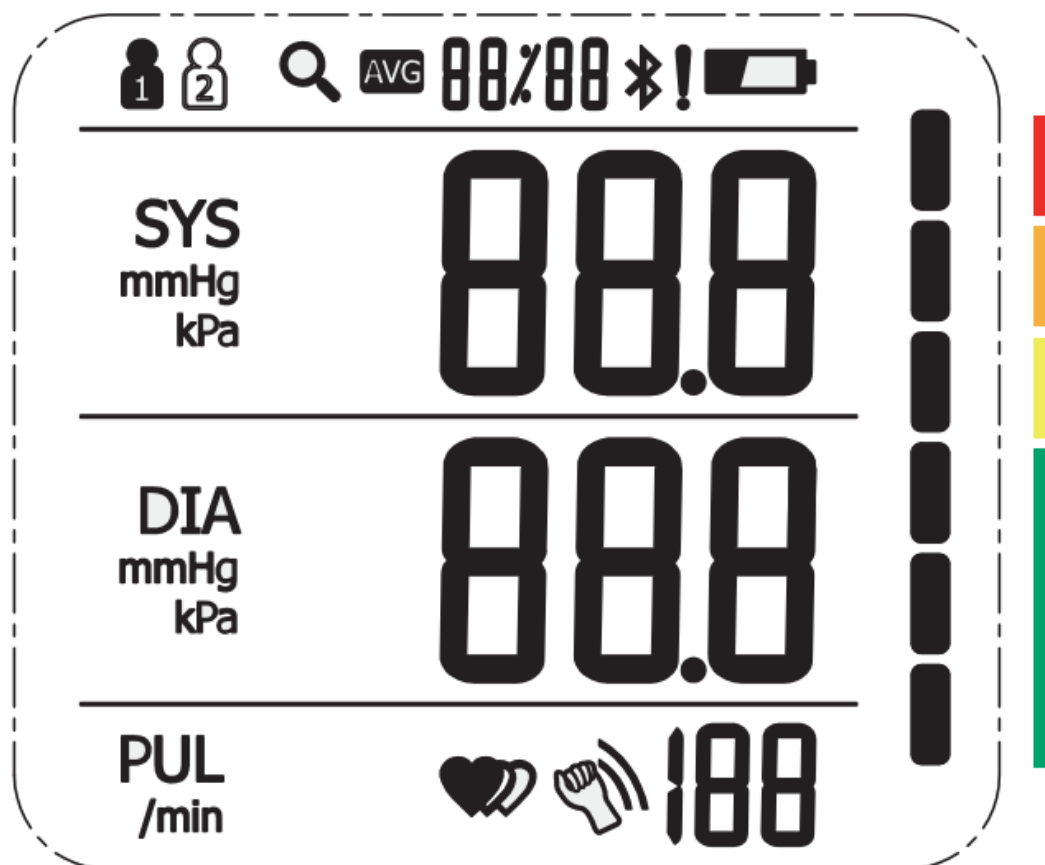
Monitor krvného tlaku sa skladá z troch hlavných častí. Hlavnou časťou je tlakomer, kde sú uložené všetky hlavné elektrické komponenty a napájacie články. Druhou časťou je hadička, ktorá slúži k spojeniu tlakomera a manžety. Poslednou časťou je manžeta, ktorá slúži na obopnutie paže. Celý popis prístroja a jeho viditeľných častí je zobrazený na obrázku číslo 6.1.



Obrázek 6.1: Popis tonometru od spoločnosti ETA a.s. a jeho viditeľných súčastí. Prevezaté z [7].

Tlakomer

Prvá časť prístroja obsahuje mnoho komponentov. Najvýraznejším z nich je segmentový LCD displej, ktorý zobrazuje používateľovi dáta ohľadom merania tlaku, pulzu, arytmie či prípadný pohyb ruky. Displej ďalej zobrazuje indikátor pripojenia a vyhľadávania bluetooth zariadenia, čas, stav batérie, ukazovateľ hodnoty krvného tlaku [7]. Rozdelenie segmentového displeja môžeme vidieť na obrázku číslo 6.2.

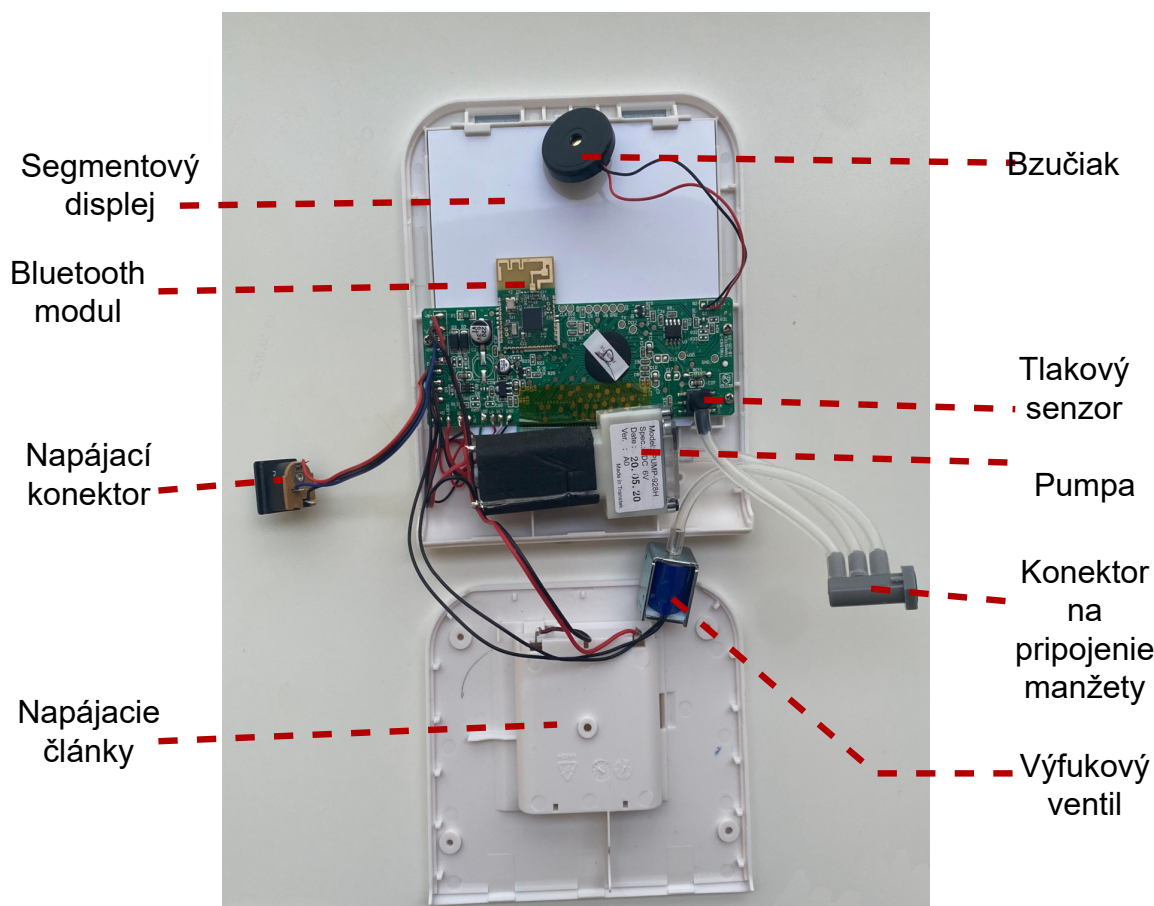


Obrázek 6.2: Vo vrchnej časti displeja sa nachádzajú stavové indikátory zariadenia, ako profil používateľa, čas, indikátor stavu batérie alebo pripojenie bluetooth. V strednej časti môžeme vidieť hodnoty systolického a diastolického tlaku aj s ich jednotkami. V spodnej časti vidíme počet úderov za minútu a indikátory arytmie a pohybu. Pri pravom okraji sa nachádza ukazovateľ hodnoty krvného tlaku. Prevzaté z [7].

Prístroj obsahuje 4 tlačítka. Tri z nich sú kapacitné a sú umiestnené pod displejom. Slúžia na ovládanie prístroja, ako zapnutie, vypnutie a nastavenie. Posledné, mechanické tlačidlo slúži na vypnutie kapacitných tlačidiel, aby nedošlo k nechcenému zapnutiu prístroja pri transporte.

V plastovej schránke prístroja sú uložené komponenty, ktoré sa starajú o chod tlakomera. Na okraji obalu sa nachádzajú konektory na pripojenie napájacieho adaptéra a hadička, ktorá vedie do manžety. Konektor na prívod vzduchu do hadičky je prepojený s kompak-

ným kompresorom, ktorý má za úlohu nafúknúť manžetu. Konektor je taktiež pripojený na tlakovú poistku, ktorá má zabezpečiť, aby tlak pri nafúknutí nepresiahol 300 mmHg, teda 40 kPa. Ak tlak v manžete prekoná túto hodnotu, vzduch začne unikať cez práve spomínanú poistku [7]. Poslednou časťou, ku ktorej je hadička vo vnútri zariadenia pripojená, je senzor na meranie tlaku, ktorý sa nachádza na plošnom spoji. Pri plošnom spoji môžeme nájsť aj bluetooth modul, ktorý zabezpečuje konektivitu alebo piezo bzučiak, pomocou ktorého prístroj signalizuje používateľovi rôzne stavy zariadenia. Obrázok číslo 6.3 zobrazuje vnútorné komponenty po rozobratí prístroja na identifikovanie možností ovládania. Viac obrázkov sa nachádza v prílohe B.



Obrázok 6.3: Obrázok zobrazuje vnútorné rozloženie komponentov aj s ich popisom.

Hadička s manžetou

Z prístroja je vzduch vedený do manžety umiestnenej na paži pacienta gumenou hadičkou. Manžeta má nastaviteľnú dĺžku od 22 do 42 centimetrov. Zapínanie manžety zabezpečuje suchý zips, ktorý je umiestnený po obvode. Manžeta má na sebe indikátory, aby si ju používateľ dokázal správne nasadiť aj bez potreby rozšírených znalostí o tom, ako zariadenie funguje.

6.2 Popis software

Existuje viacero súčastí, z ktorých sa skladá software tohto prístroja. Na správne fungovanie prístroja nepotrebuje používateľ všetky tri časti kompletného systému, ale s každým ďalším rozšírením dokáže prístroj ponúknuť viac funkcií. Ako už bolo spomenuté, celá software-ová podpora obsahuje tri systémy a každý na správne fungovanie potrebuje predchádzajúcu aplikáciu.

Software prístroja

Systém, ktorý beží na mikrokontroléry prístroja, je navrhnutý tak, aby nepotreboval žiadne ďalšie systémové súčasti pre správne fungovanie. Systém podporuje niekoľko funkcií. Základnou funkciou je meranie tlaku a tepu používateľa. Software taktiež podporuje ukladanie výsledkov, používateľ má možnosť pozrieť si históriu merania. V spoločných domácnostiach alebo v prípadoch, kedy prístroj využívajú viacerí ľudia, môžu používatelia využiť prepínanie profilu. Nachádza sa tu možnosť prepínania medzi dvoma profilmi a na každý profil sa do histórie ukladá až 60 výsledkov. Prístroj teda zvláda uložiť dokopy 120 výsledkov z meraní. Ku meraniu ponúka taktiež zhodnotenie krvného tlaku. Systém porovná výsledky a kategorizuje výsledok na farebnej stupnici. Používa sa tu klasifikácia podľa Medzinárodnej spoločnosti pre hypertenziu a Svetovej zdravotníckej organizácie z roku 1999. V sekcii číslo 5.1 môžeme vidieť tabuľku, ktorá sa mierne líši od tabuľky, podľa ktorej sa riadi systém tohto prístroja. Systém taktiež ponúka zmenu jednotiek merania tlaku. Na výber je štandardná jednotka mmHg a menej často používaná jednotka kPa. Systém taktiež ponúka jednoduché nastavenie dátumu a času, ktoré sa kvôli absencii integrovanej batérie, vyhradenej pre tieto údaje, zresetujú. Pre fungovanie ďalšieho systému je dôležité spomenúť aj režim pre párovanie bluetooth zariadení [7].

Mobilná aplikácia

Nasledujúcou súčasťou reťaze systémov pre toto zariadenie je mobilná aplikácia. Aplikácia, ktorá je pripravená pre toto zariadenie, dokáže fungovať na platformách Android a iOS. Používateľ má na výber dva režimy behu software. Prvým z nich je režim offline, takže bez pripojenia na internet a bez využívania webovej aplikácie. Druhým je chod v režime online, čo vyžaduje vytvorenie používateľského účtu, ktorý sa neskôr využíva aj v internetovej aplikácii. Aplikácia v mobile rozširuje možnosti prehliadania výsledkov a pomáha používateľovi lepšie zaznamenávať históriu meraní. Po spárovaní s tonometrom si aplikácia pri každom meraní stiahne dáta a výsledky zobrazí v mobile. Používateľ má komfortnejší prehľad o svojom zdravotnom stave aj pomocou jednoduchých grafov priamo vo svojom mobilnom zariadení. Nachádza sa tu aj možnosť exportovania do rôznych súborových formátov, ako napríklad CSV alebo PDF. Ak používateľ nevlastní merač krvného tlaku s konektivitou bluetooth, ale chce využívať rozšírenú software-ovú podporu, existuje možnosť ručného vkladania výsledkov priamo do mobilného zariadenia. Vďaka aplikácii si používateľ môže ukladať dáta ohľadom toho, ako sa práve cíti, na ktorej ruke mal nasadenú manžetu alebo v akej polohe sa meranie vykonávalo. Ak sa používateľ rozhodne využívať aplikáciu v režime online s vytvoreným účtom, všetky dáta sa automaticky ukladajú a zálohujú na cloud. V aplikácii je tak isto možnosť prepnutia na inú metodiku merania krvného tlaku [7].

Webová aplikácia

Posledným rozšírením celkového systému je webová aplikácia. Vďaka tejto aplikácii má používateľ možnosť zálohovať si dáta zo svojich zariadení na domáce vyšetrenia. Teda, nejedná sa iba o merače krvného tlaku, ale aj o iné prístroje. Taktiež sa tu nachádza možnosť exportovania výsledkov s časovým ohraničením a s výberom dát, ktoré chceme získať. Prípadne umožňuje používateľovi zobrazenie grafov s výsledkami [7].

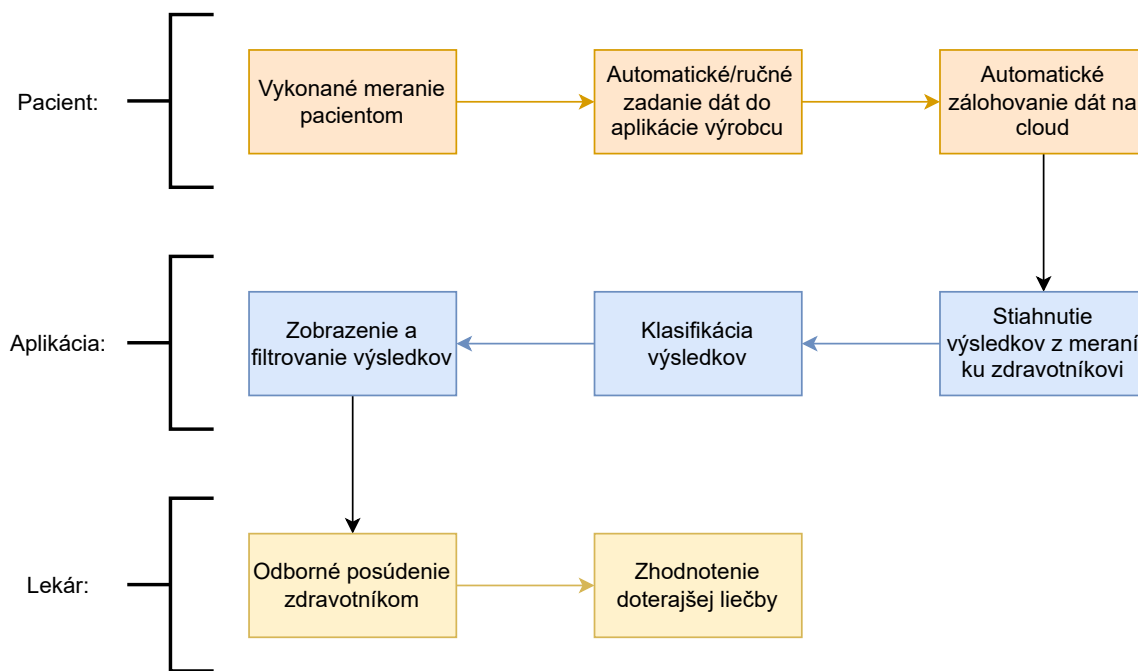
Kapitola 7

Návrh implementácie

V tejto kapitole si rozoberieme návrh systému na dlhodobé meranie tlaku pacienta v domácom prostredí s kontrolou od zdravotníka bez nutnosti telefonického alebo emailové spojenia. V súčasnom stave je ošetrojúci lekár, prípadne ďalší zdravotnícky personál nútení kontrolovať stav pacienta so srdcovo-cievnyim ochorením, najčastejšie hypertenziu, pomocou telefonického spojenia. Pacient, aby sa vyhol zdĺhavému čakaniu v nemocničnej čakárni, diktuje svoje výsledky merania tlaku za uplynulé dni do telefónu a zdravotník ich prepisuje na papier. Tento systém v modernej dobe nie je udržateľný a práve pomocou tejto práce navrhujeme prístup ku kontrole výsledkov vďaka moderným technológiám, ako je napríklad mobilný telefón. Výsledkom je systém, ktorý zabezpečí predanie výsledkov, bez nutnosti interakcie, alebo s využitím minimálnej interakcie pacienta a zdravotníka.

7.1 Zariadenie na meranie tlaku

Ako bolo už spomenuté v sekcii číslo 4.2, na trhu existuje veľké množstvo výrobcov zariadení, ktorí sa snažia obsadiť veľkú časť trhu. Preto je potrebné vybrať optimálny prístroj, ktorý bude spĺňať prísne kritéria validácie a zároveň bude dostupný pre širokú verejnosť. Po konzultáciách s lekárom a vyhodnotením rôznych kritérií sme sa rozhodli využívať prístroj od českej firmy ETA a.s., ktorá má vo svojom portfóliu niekoľko kvalitných tonometrov pre domáce použitie. Pre potreby merania sme vybrali tlakomer zo skupiny SMART, ktorý podporuje bluetooth konektivitu a tak sledovaný pacient nebude musieť zadávať výsledky ručne do mobilnej alebo webovej aplikácie. Avšak, používatelia aj s inými meračmi krvného tlaku môžu byť zapojení do takéhoto sledovania, ale je nutné výsledky manuálne zadávať do aplikácie. Na strane zdravotníkov sa tak nič nemení a budú pristupovať rovnako, bez ohľadu na to, aké zariadenie pacient využíva. Na obrázku číslo 7.1 je zobrazený postup práce a to, kto danú prácu vykonáva.



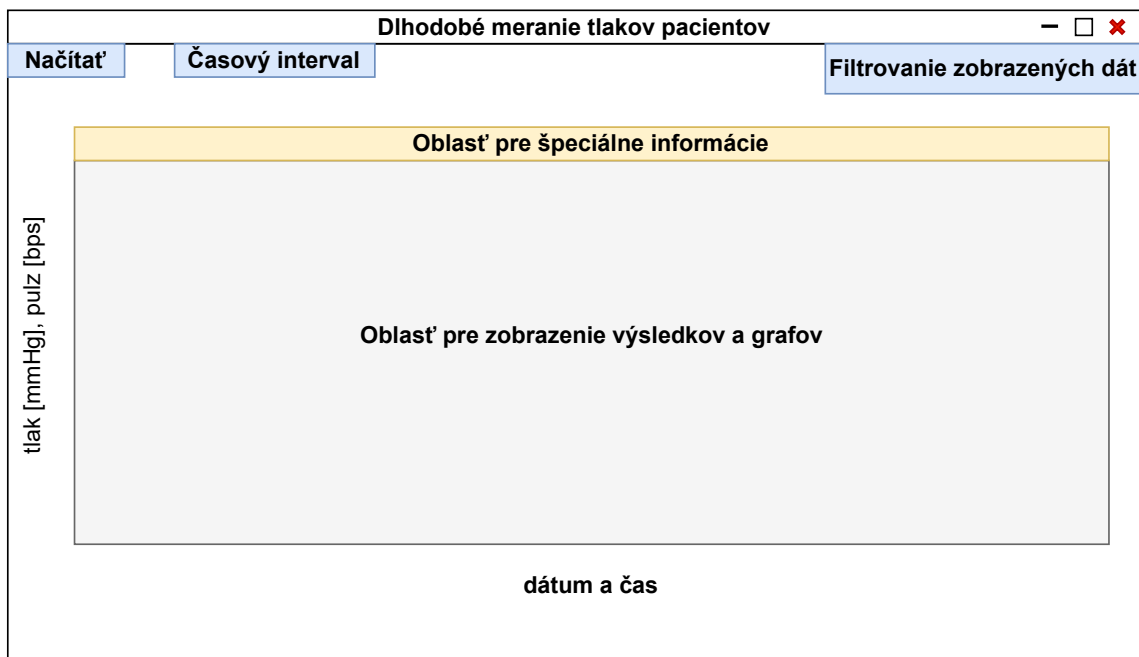
Obrázek 7.1: Popis postupu dlhodobého merania. Graf ukazuje postup od merania pacientom až po odborné posúdenie lekárom. Postup je rozdelený na tri časti.

7.2 Analýza zálohovaných dát

Ďalším krokom pre prípravu aplikácie je analýza dát, ktoré sú zálohované z tlakomeru do cloudu. Počas analýzy sme zistili, že webová aplikácia ponúka aj exportovanie dát do formátu CSV, či považujeme za výhodu. V exportovanom súbore sa nachádzajú dáta vhodné pre potreby aplikácie. V hlavičke sa vyskytujú informácie ako ID merania, e-mail, meno a číslo používateľa, čas merania, hodnota systolického a diastolického tlaku krvi, pulzu, informácie o pohybe, arytmiách, údaje o senzore použitom v prístroji a iné, ktoré nie sú pre potreby aplikácie využiteľné. Vďaka daným skutočnostiam bolo možné navrhnúť aplikáciu, ktorá bude dané dáta hodnotiť a zobrazovať.

7.3 Návrh používateľského rozhrania

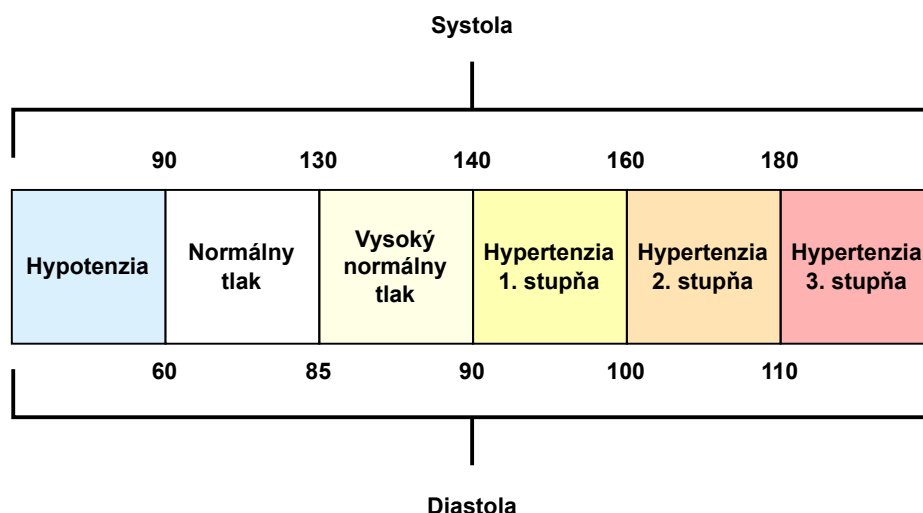
Pri navrhovaní používateľského rozhrania sme sa inšpirovali viacerými nástrojmi, ktoré slúžia na zobrazovanie grafov. Aplikácia je primárne určená zdravotníckemu personálu, preto sme sa snažili maximalizovať jednoduchosť použitia. Grafické rozhranie má po funkčnej stránke minimum súčastí na interakciu. Zamerali sme sa na zobrazovacie pole výsledkov. Po konzultácií so zdravotníkmi, sme zhodnotili, že je s výhodou ovládanie, ktoré nám dovoľuje zobrazenie len požadovaných typov dát. Vývoj používateľského rozhrania prebehal viacnásobnou úpravou, tak aby vyhovovalo zdravotníckemu personálu a ich potrebám. Na rýchle zorientovanie sa vo výsledkoch slúži farebná schéma, ktorá jednotlivé dáta triedi a klasifikuje. Viac o tejto klasifikácii je popísané v sekcii číslo 7.4. Na obrázku číslo 7.2 je zobrazený návrh používateľského rozhrania.



Obrázek 7.2: Jednoduchý mockup aplikácie. Modrou farbou sú vyznačené oblasti, s ktorými je používateľ schopný interagovať. V žltej oblasti sa zobrazujú ikony upresňujúce stav pacienta počas merania. V strednej časti sa zobrazuje graf s klasifikáciou krvného tlaku.

7.4 Klasifikovanie dát pre zobrazenie

Pre správne zobrazovanie získaných dát je nutné klasifikovať výsledky meraní do niekoľkých kategórií. Hodnota krvného tlaku sa dá rozlišovať do kategórií podľa závažnosti. O klasifikácii krvného tlaku je popísané v sekcii číslo 5.1 a v sekcii číslo 5.2. Podľa týchto pravidiel bol navrhnutý algoritmus, ktorý umožňuje správne priradiť hodnoty do príslušnej kategórie. Je žiaduce, aby používateľ aplikácie, teda zdravotník, dokázal okamžite rozpoznať patológiu, akým môže byť zvýšený alebo znížený tlak a posúdiť závažnosť daného problému. Každý kategórii bolo priradené farebné odlíšenie. Bola vynechaná osobitná klasifikácia izolovanej systolickej hypertenzie, pretože sa jedná o špecifickú kategóriu a hodnoty systolického krvného tlaku možno zaradiť do iných hypertenzných skupín, ako je uvedené v 5.1. Obrázok číslo 7.3 zobrazuje farebné rozlíšenie kategórií krvného tlaku. Daná farebná schéma sa používa vo viacerých prístrojoch na meranie tlaku a taktiež v literatúre. Ďalej je potrebné informovať zdravotníka aj o stavu srdcového tepu. Používaný prístroj podporuje detekciu arytmií, teda informuje o nepravidelnom pulze a o prítomnosti tachykardie či bradykardie. Viac o delení arytmií nájdeme v sekcii číslo 5.3. Na rozlišovanie týchto stavov, alebo prípadného pohybu pacienta počas merania sú vytvorené ikony, ktoré sa pri výskyte daných javov zobrazia v aplikácii. Obrázok číslo 7.4 zobrazuje ikony, ktoré informujú zdravotníka o arytmiách alebo pohybe počas merania.



Obrázek 7.3: Na obrázku sa nachádza farebné rozlíšenie rôznych stupňov krvného tlaku použité v aplikácii. Na hornej osi je číselná stupnica systolického tlaku, na spodnej osi číselná stupnica diastolického krvného tlaku. Hranica určuje preradenie do novej kategórie.



Obrázek 7.4: Na obrázku sú zobrazené grafické ikony pre popis ďalších dát v aplikácii. Určujú kategóriu arytmie alebo možnú chybu pri meraní spôsobenú pohybom pacienta.

7.5 Použité technológie

Pre aplikáciu, ktorá bude zobrazovať dáta o meraní pacientov sme zvolili optimálne technológie, v ktorých sa bude daná aplikácia implementovať. Musí spĺňať parametre ako udržateľnosť, rozširovateľnosť a v prípade expandovania software-u umožňuje pokračovať s technológiami, pričom hlavné z nich sú popísané nižšie.

Python

Programovací jazyk Python¹ je známi pre svoju jednoduchosť, prehľadnosť a možnosti. Jedná sa o objektovo orientovaný jazyk. Tento jazyk sa radí medzi interpretované jazyky a tak vyžaduje pre svoj chod stiahnutý a nainštalovaný interpret. Vďaka obrovskej podpore komunity programátorov sa za posledné roky rozšíril do veľa odvetví. Podporuje mnoho

¹Viac o jazyku Python na: <https://www.python.org/>.

modulov, ktoré sa dajú využívať aj bez znalostí daného technologického odvetia. Pre tento software bol zvolený práve jazyk Python. Síce má aj mnoho nevýhod, ako napríklad rýchlosť, vyvažuje to výhodami. Medzi jeho základné výhody patrí rozšírenie na väčšinu operačných systémov, čiže bez potreby zmeny kódu ho môže používateľ využiť na svoj účel [27]. Je rozšírený aj v oblasti dátovej analýzy. Vďaka dostupnosti knižníc, ktoré sú napísané hlavne v jazyku C/C++, čo kompenzuje pomalé interpretovanie, je použiteľným jazykom pre väčšiu časť úloh.

PyQt5

Pre jazyk Python existuje množstvo knižníc zaoberajúcich sa tvorbou grafického rozhrania. Jedna z nich je aj PyQt5. Framework Qt² je v programátorskej obci dobre známy. Jedná sa o multiplatformovú súčasť pre tvorbu grafických rozhraní pre aplikácie. Je napísaný v jazyku C++. Modul PyQt5 vytvára spojenie medzi frameworkom Qt a programovacím jazykom Python. Zabezpečí sa tak vysoká použiteľnosť akú Qt ponúka spojená s rýchlosťou C++ a zároveň sa ponechá jednoduchosť jazyka Python. Ako už bolo spomínané, existuje viacero modulov pre prácu s užívateľským prostredím, no Qt ich predčil v možnostiach a v modernom dizajne ktorý ponúka [31].

Matplotlib

Matplotlib³ je jedna z tisícok knižníc, ktoré sú dostupné pre programovanie v jazyku Python. Jedná sa o komplexný modul na vytváranie a zobrazovanie dát. Umožňuje tvoriť statické, animované a interaktívne vizualizácie dát. Dané rozšírenie sa používa v mnohých odvetviach, ako napríklad v štatistike alebo dátovej analýze. Pomáha používateľovi aplikácie zorientovať sa v jednotlivých hodnotách. Dokáže vyznačiť a zvýrazniť dôležité úseky v dátach. Táto knižnica pre jazyk Python bola zvolená, pretože vďaka API podporuje prepojenie a vloženie do grafického rozhrania, mimo iné aj do PyQt5. Ponúka mnoho nástrojov na ovládanie zobrazených dát, zmeny formátovania, označenia a iné. Vyznačuje sa obsiahlou dokumentáciou, pomocou ktorej môže programátor veľmi jednoducho zobraziť dané dáta z rôznych oblastí. Je to open-source alternatíva ku MATLAB. Spolu s dátami sa zobrazí aj ovládací panel, pomocou ktorého môže používateľ približovať a oddaľovať vyznačený graf, posúvať, upravovať hodnoty na osách alebo dokonca aj exportovať práve zobrazený graf do obrázkového formátu PNG.

²Viac o frameworku Qt a jeho aplikáciách na: <https://www.qt.io/>.

³Viac o knižnici Matplotlib na: <https://matplotlib.org/>.

Kapitola 8

Implementácia

V tejto sekcii je bližšie popísaná implementácia daného zadania a celý algoritmus krok po kroku. Vysvetľuje ako a čím sa program na dlhodobé sledovanie tlaku pacientov riadi, aké postupy sú využité a aké výhody či nevýhody daný postup poskytuje. Ďalej popisuje experimentovanie s programom a testovanie jeho chodu, či používanie z hľadiska zdravotníkov. V tejto sekcii sa nachádza aj diskusia o možnom nasledujúcom vývoji či rozšírení.

8.1 Získavanie dát

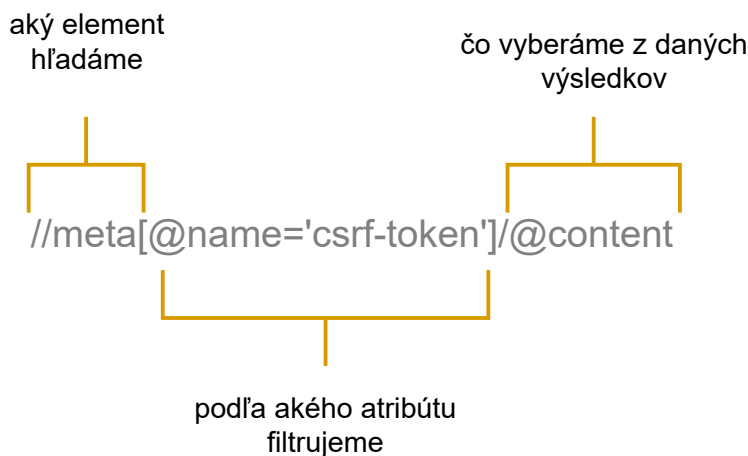
Ako prvé bolo nutné zvoliť postup získania a stiahnutia dát z cloudu spoločnosti MedM, ktorá má vo svojom zdravotníckom portáli uložené a zálohované dáta od používateľov tlakomerov. Približuje to sekcia 6.2. Pre správne prihlásenie do webovej aplikácie a získanie dát, bolo nutné vykonať inšpekciu prihlasovacej stránky a vyskúmať príslušné polia na zaslanie požiadavky, ktorá bude tvorená algoritmicky. Bolo zistené, že daná prihlasovacia stránka a požiadavka na prihlásenie musí obsahovať meno, heslo a bezpečnostný kľúč, takzvaný *authenticity_token* na úspešné prihlásenie. Tento bezpečnostný kľúč slúži na overenie, či sa používateľ prihlasuje na správnej prihlasovacej stránke a existuje počas celej dĺžky relácie. Nachádza sa v skrytom poli formulára a aplikácia, ktorá ho vygeneruje a pošle na front-end stránky tiež kontroluje, či sa daný token zhoduje aj pri príchode naspäť na back-end vo forme požiadavky. Prihlasovacia stránka obsahuje tento token aj vo svojich metadátach pod názvom *csrf-token*.

Po zistení týchto skutočností nasledovalo pomocou knižnice `requests`¹ v Python-e vytvoriť požiadavku na prihlásenie v kóde. Modul `requests` zabezpečí pre programátora bežiacu reláciu a pomocou GET požiadavku na prihlasovaciu stránku dostaneme HTML kód so všetkými informáciami potrebnými na prihlásenie. V HTML kóde potrebujeme vyhľadať skryté, predvyplnené pole vo formulári alebo riadok s metadátami, ktoré označuje náš bezpečnostný token pre danú reláciu. To je možné spraviť jednoducho, pomocou vyhľadávania `xpath` z knižnice na ovládanie HTML a XML elementov s názvom `lxml`². S napísaním vyhľadávacieho textu nám funkcia vráti odkazy na objekty, ktoré splňujú dané vyhľadávanie. Vieme, že prihlasovacia stránka obsahuje iba jeden element s metadátami pre daný token, tak usudzujeme, že v odkazoch bude práve jeden a ten správny token. O štruktúre vyhľadávacieho textu je vysvetlené viac na obrázku číslo 8.1. Po vytvorení obsahu požiadavky

¹Viac o knižnici `requests` na: <https://docs.python-requests.org/en/latest/>.

²Viac o knižnici `lxml` na: <https://lxml.de/>.

s položkami email, heslo a csrf token môžeme zaslať požiadavku POST aj s danými dátami a pokúsiť sa o prihlásenie.



Obrázek 8.1: Na obrázku je popísaná schéma vyhľadávacieho textu použitého pri extrakcii bezpečnostného tokenu z HTML kódu v odpovedi na požiadavku.

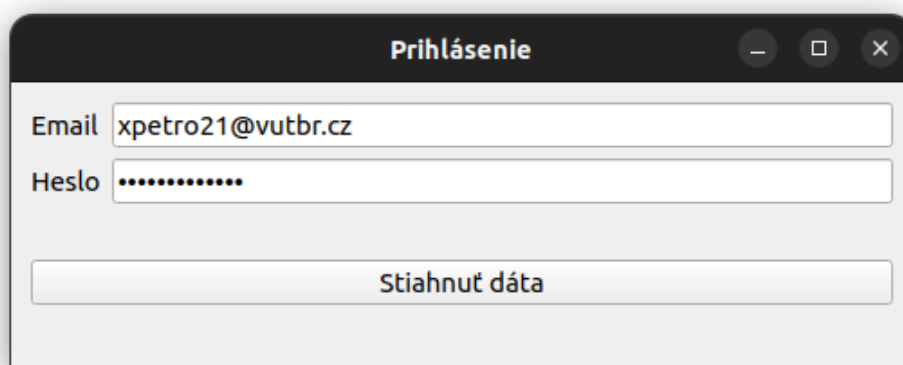
Po získaní kladného výsledku na pokus o prihlásenie sa otvárajú možnosti ovládania webovej aplikácie. V zozname vo webovej aplikácii je možné nájsť položku export, ktorá nás presmeruje na stránku, kde je používateľ schopný exportovať svoje výsledky do formátu CSV a následne ich stiahnuť do svojho počítača. Bolo potrebné preskúmať, ako daná požiadavka vyzerá a čo všetko musí obsahovať pre správne získanie dát. Keďže tento portál sa nezaobrá iba tonometrami ale aj inými prístrojmi, napríklad na meranie EKG, glukózy, laktátu a mnoho iných, je potrebné správne nastaviť požiadavku, aby sme zabránili získaniu nepotrebných dát. Po observácií požiadaviek v programe na sledovanie webovej aktivity bolo možné odchytiť tvar požiadavky a zreplikovať ju v pripravovanom skripte. S vytvorením správnej štruktúry dát v požiadavke, ktorá obsahuje dátum od a do, typ merania, o ktorý má používateľ záujem a formát, do ktoré sa majú dané dáta skonvertovať môžeme daný skript využívať v pripravovanom programe.

Aby bolo možné sťahovať dáta bez obmedzenia, je nutné vyžadovať prihlasovací email a heslo od používateľa aplikácie. Na túto úlohu slúži jednoduchý formulár vytvorený pomocou PyQt5 knižnice, ktorá je popísaná v sekcii číslo 7.5. Po vytvorení vstupných polí pre email a heslo, nastavení a prepojení tlačidla na prihlásenie s kódom na stiahnutie dát a umiestnenia týchto elementov do grafického okna môžeme používateľovi zobraziť vlastnú prihlasovaciu stránku na získanie údajov o pacientoch. Na obrázku číslo 8.2 je zobrazený návrh okna na zadávanie údajov pre prihlásenie.

8.2 Zobrazenie UI a prepojenie s Matplotlib

Dizajn a šablóna hlavného okna je vytvorená pomocou programov zo skupiny aplikácií Qt s názvom Qt Designer³. Jedná sa o program na tvorenie grafického rozhrania pomocou systému Drag-n-Drop, vďaka ktorej je vytvorenie hrubej kostry aplikácie veľmi jednoduché. Je nutné správne umiestnenie položiek v hlavnom okne. Najdôležitejšiu časť aplikácie tvorí priestor na zobrazovanie dát a panel s nástrojmi pre ovládanie grafu. Tento priestor

³Viac o aplikácii Qt Designer na: <https://doc.qt.io/qt-5/qtdesigner-manual.html>.

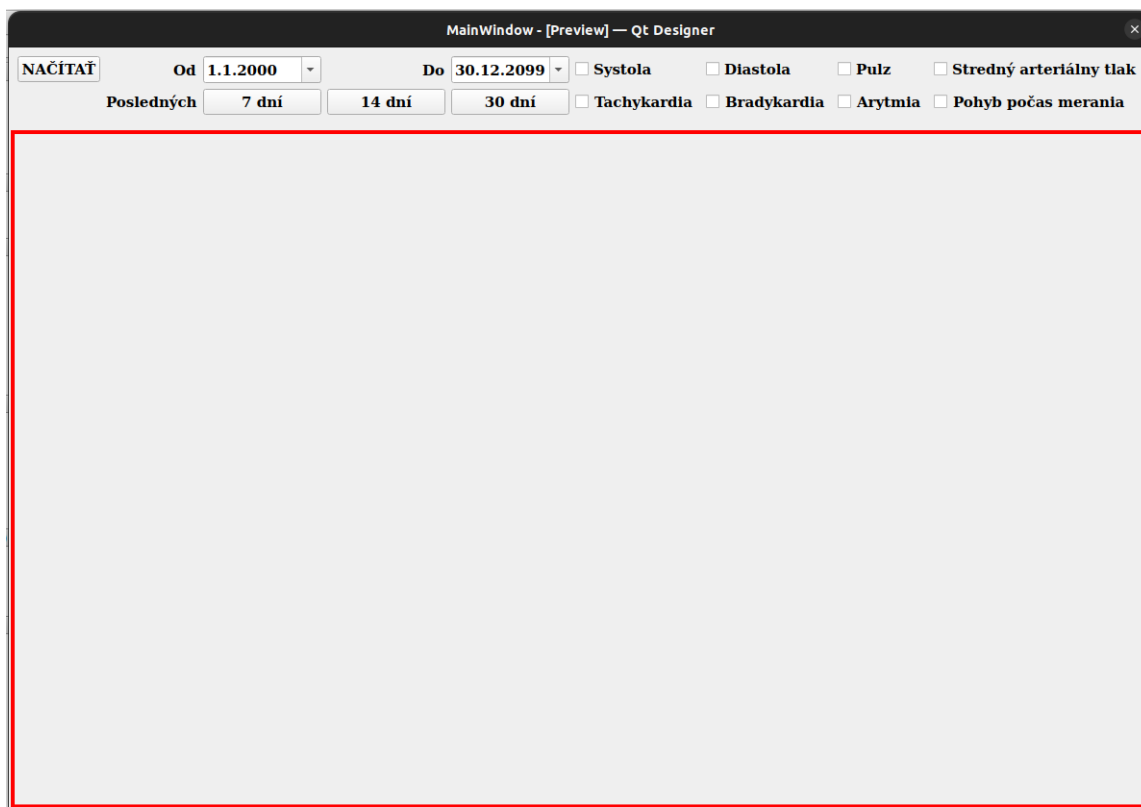


Obrázek 8.2: Na obrázku sa nachádza návrh prihlasovacieho okna do ktorého používateľ zadáva údaje na stiahnutie dát o pacientovi.

je umiestnený od spodného okraja aplikácie až po ďalšie elementy, ktoré sa zobrazujú vo vrchnej časti. Vo danej časti sú umiestnené tlačidlá pre rôzne akcie používateľa. V ľavom hornom rohu je umiestnené tlačidlo, ktoré umožňuje načítanie nových dát, tak aby si používateľ mohol zobrazíť údaje ďalšieho pacienta bez nutnosti reštartovania aplikácie. Po kliknutí sa zobrazí formulár na prihlásenie, ktorý je popísaný v sekcii 8.1. Na pravo od daného tlačidla sú umiestnené polia na zadanie časového intervalu. Na tieto polia sa využíva vstavané dátové pole, ktoré ponúka funkcionality na zadanie dátumu. Po kliknutí sa objaví kalendár s možnosťou výberu dňa, mesiaca a roku. Pre rýchle nastavenie dátumu sú k dispozícii predvoľby na posledných 7, 14 a 30 dní. Ďalej sú v pravom hornom rohu k dispozícii zaklikávacie tlačidlá pre zapnutie a vypnutie daných dát. V danom priestore sú na výber 4 tlačidlá na zobrazenie jednotlivých dát v grafoch. Pod nimi sa nachádzajú ďalšie 4 tlačidlá s možnosťou výberu, ktoré indikujú špeciálne vlastnosti pre dané meranie. Lekár alebo zdravotník si teda môže vybrať iba dáta pre neho v danej chvíli potrebné. Priestor na zobrazovanie údajov, ako už bolo spomenuté vyššie, bude tvoriť väčšinu plochy hlavného okna. Tento priestor je prepojený s knižnicou matplotlib. Vďaka API, ktoré táto knižnica ponúka, stačí priradiť novovytvorený objekt grafu na miesto, kde sa má graf zobrazovať. Rovnako treba postupovať aj s ovládacím panelom grafu, ktorého objekt priradíme na miesto, kde si ho želáme zobrazovať. Po nastavení všetkých potrebných pozícií môžeme šablónu uložiť vo formáte XML a následne vložiť do spustiteľného kódu. Náhľad hlavného okna aplikácie z programu Qt Designer je možné vidieť na obrázku 8.3.

8.3 Zobrazovanie dát

V tejto časti je popísaná implementácia zobrazovania dát. Ako už bolo spomenuté, dáta sa načítavajú z CSV súboru, ktorý je prebratý z webovej aplikácie spoločnosti MedM. Avšak, nie všetky údaje, ktoré je potrebné zobrazíť v aplikácii sa v danom súbore nachádzajú. V danom súbore sa nachádzajú hodnoty popisujúce pulz, systolický a diastolický tlak [25]. Ďalej tu nachádzame informácie ohľadom nepravidelnosti pulzu či pohybu počas merania. Tieto dáta je teda možné vyextrahovať zo súboru a ďalšie potrebné údaje sa algoritmicky dopyčujú. Ku trom krivkám zobrazovaných v grafe je potrebné pridať štvrtú a tou je stredný arteriálny tlak, ktorý je popísaný v sekcii 2.3. Po dopyčovaní štvrtej hodnoty pre

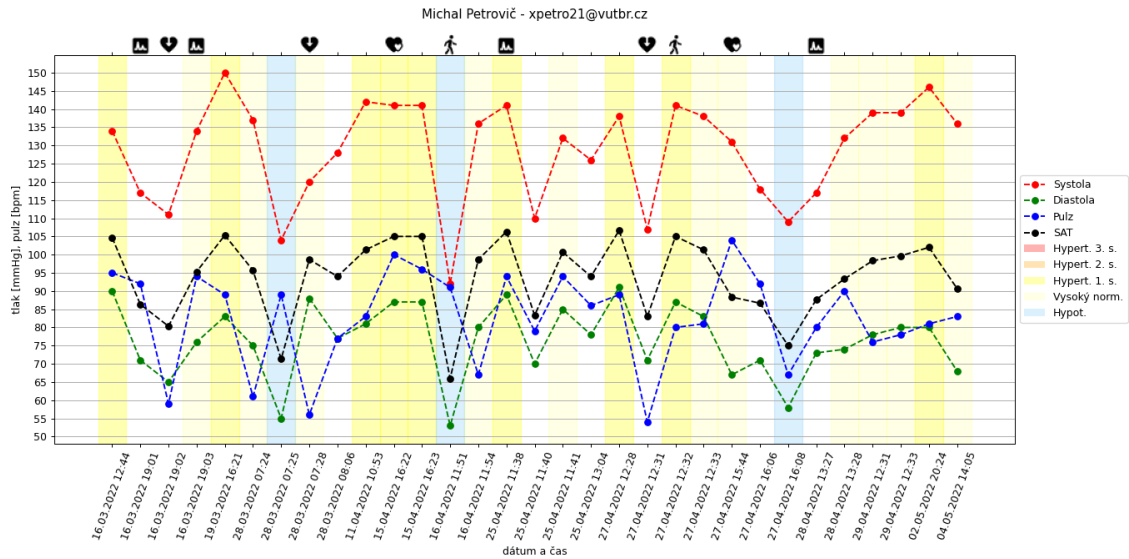


Obrázek 8.3: Na obrázku sa nachádza návrh hlavného okna aplikácie s pozíciami ovládacích prvkov. Červené ohraničenie značí umiestnenie zobrazenia dát.

každý záznam je možné zobrazit krivky s výsledkami. Používajú sa tu osi X a Y. Na osi X sa zobrazujú časové známky, ktoré používateľa aplikácie informujú o čase a dátume merania. Na osi Y sa zobrazujú číselné hodnoty. Keďže všetky štyri údaje sa pohybujú okolo rovnakých čísel v priemere od 50 do 180 je možné ich zobrazit na jednej úrovni. Druhá osa X nachádzajúca sa na hornej strane, je vyhradená pre zobrazovanie údajov, ktorá sú nezobraziteľné medzi krivkami, keďže sa jedná iba o binárne hodnoty Áno a Nie. Tieto informácie sú zobrazované ako ikony. Zo súboru je možné vytiahnuť iba údaje ohľadom nepravidelnosti pulzu a pohybu. Ďalšie informácie ohľadom tachykardie a bradykardie, popísanej v časti číslo 5.3, je nutné implementovať osobitne. Tomuto sa venuje časť 7.4. Po zhodnotení, že z daných štyroch údajov možno naraz zobrazit iba tri z nich, je miesto vyhradené práve na nie viac ako 3 ikony. V jednu chvíľu pre daný záznam môžu byť zobrazené iba tieto kombinácie:

- Pohyb, Arytmia, Bradykardia
- Pohyb, Arytmia, Tachykardia

V aplikácii bolo nutné pripraviť kombinácie týchto položiek, pre jednoduché zobrazenie na sekundárnej osi X. Pre poslednú množinu údajov týkajúcich sa hypertenzie a hypotenzie bolo vybrané umiestnenie vo vnútri grafu pri krivkách. Táto klasifikácia popísaná v sekcii číslo 7.4 je implementovaná pomocou farebne rozdelených obdĺžnikov, ktoré vyfarbujú pozadie v danom časovom stĺpci. Na obrázku číslo 8.4 je možné vidieť ukážku zobrazovania dát.



Obrázek 8.4: Obrázok ukazuje návrh poľa pre zobrazenie dát aj s kompletnými dátami na všetkých osiach. Jedná sa o testovacie dáta.

8.4 Ovládanie a filtrovanie dát

Pre lepšiu prehľadnosť bolo pridané ovládanie a časové filtrovanie dát. Keďže, množstvo kriviek spojené s farebným odlíšením môže pre neskúseného používateľa pôsobiť mätúce, v aplikácii je pridaná možnosť zapnutia a vypnutia kriviek, ikon na hornej osi X a farebného rozlíšenia stavu pacienta. Ako predvolená možnosť je zapnutie všetkých možností. V prípade, že používateľ vypne určitú možnosť pri jednom pacientovi, dôjde k zapamätaniu aj u nasledujúceho pacienta. V prípade, ak zdravotník usúdi, že je nutné zobrazit iba stredný arteriálny tlak pri každom pacientovi, nastaví to iba pri prvom použití od zapnutia aplikácie. Dané nastavenie urobí program pre používateľa prehľadnejší a každému umožní vlastný výber zobrazenia jednotlivých dát.

Používateľ má tiež možnosť zvoliť výsledky podľa dátumu. Po požiadavke na zobrazenie nových dát sa defaultne zobrazia dáta, ktoré časovo odpovedajú siedmym dňom od posledného merania. Je to z dôvodu rýchlosti zobrazenia. Ak používateľ nepotrebuje vidieť dáta mesiace dozadu, tak nemusí čakať, kým sa údaje zobrazia. Pri potrebe porovnať výsledky za posledné mesiace, existuje možnosť nastaviť si osobitne dátum od kedy do kedy požadujeme dáta zobraziť. Všetky potrebné údaje sú pred-pripravené ešte pred samotným zobrazením, aby sa minimalizovala doba filtrovania a ovládania a nebolo potrebné údaje znovu kalkuovať. Práca so získanými informáciami funguje na knižnici pandas⁴, ktorá slúži pre analýzu a prácu s dátami v jazyku python. Vďaka tejto knižnici sú dáta umiestnené v tabuľkovej štruktúre a môžu s ňou pracovať ako s databázou. Umožňuje jednoduché vyberanie a získavanie údajov podľa aktuálne zapnutých a vypnutých atribútov a filtrovať podľa dátumu medzi dátami.

⁴Viac o knižnici pandas na: <https://pandas.pydata.org/>.

8.5 Experimentovanie a testovanie

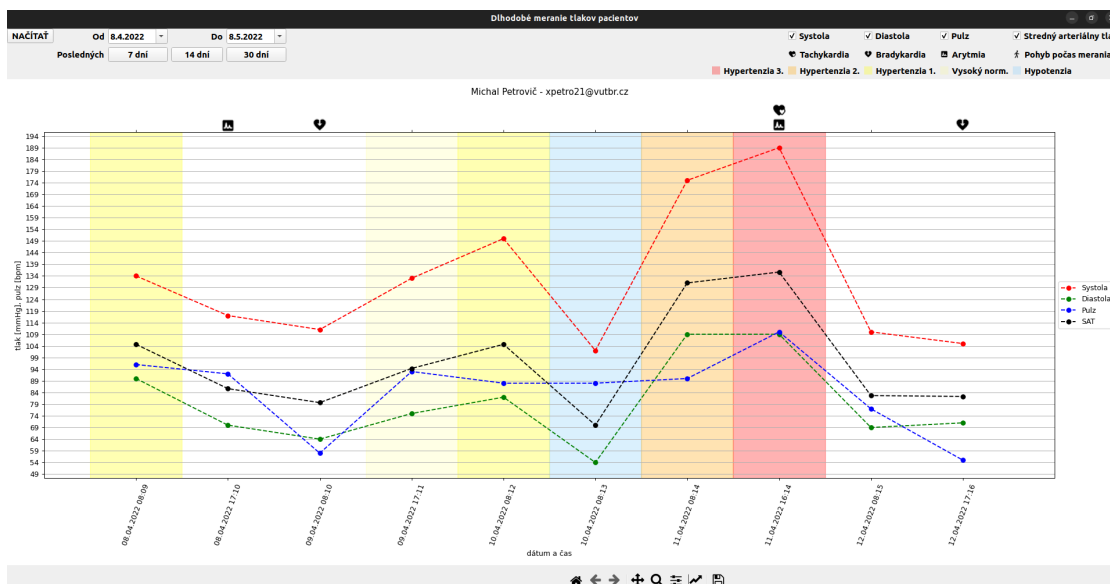
Keďže je k dispozícii na testovanie iba jedno zariadenie s podporou bluetooth, na experimentovanie s meraním a následným zobrazením údajov sa využívali iba mobilné zariadenia s aplikáciou, ktorá je opísaná v sekcii číslo 6.2. Testovania sa zúčastnilo 10 účastníkov, ktorí boli požiadaní aby zadávali rôzne hodnoty do aplikácie. Aplikácia umožňuje spätné manuálne zadanie a podporuje aj zadanie detekcie nepravidelného pulzu. Pripomienky počas testovania, ako napríklad drobné chyby alebo chýbajúca funkcionálnosť pre zdravotníka boli postupne implementované.

Úloha pacienta

V roli pacienta bolo 10 účastníkov, ktorí mali za úlohu v priebehu dvoch mesiacov vykonávať pravidelne merania každý deň. V prípade že pacient nemá tlakomer od spoločnosti ETA s podporou bluetooth, jeho úlohou bolo zadávať tieto hodnoty ručne do danej aplikácie. Účastníkom boli vytvorené používateľské účty, cez ktoré sa pripojili vo svojej mobilnej aplikácii. Získané dáta boli odoslané na cloud, ku ktorým má prístup zdravotník. Po získaní všetkých potrebných dát a kombinácií úloha pacienta končí.

Úloha zdravotníka

Úlohou zdravotníka pri testovaní bolo získať testovacie dáta o pacientovi a následne vykonať sadu úkonov na otestovanie všetkých funkcionalít v aplikácii. Medzi dáta boli pridané aj virtuálni pacienti, ktorí neobsahovali žiadne dáta alebo poskytli zlé prihlasovacie údaje. V úlohe zdravotníka testovali dve osoby, každá na inom operačnom systéme, pre otestovanie software-u na viacerých platformách. Na obrázku číslo 8.5 je zobrazená finálna verzia aplikácie počas testovania zdravotníkom.



Obrázek 8.5: Obrázok ukazuje aplikáciu počas testovania zdravotníkom. Jedná sa o kompletnú aplikáciu z platformy Ubuntu OS.

8.6 Možné rozšírenia

Je pravdepodobné, že aplikácia sa môže v budúcnosti rozširovať prípadne upravovať po nasadení do ostrej prevádzky v nemocničnom prostredí. Pri testovaní sa javil ako najväčší problém nevedomosť zdravotníka ohľadom spôsobu merania. Pacient by mal vždy tlak merať podľa pokynov lekára, prípadne podľa všeobecných pokynov, ktoré nájdeme v sekcii číslo 4.3. V tomto postupe, nedokážeme overiť, či pacient dodržal jednotlivé pokyny. Na eliminovanie tejto možnej chyby by bolo potrebné zasiahnuť do software-u tonometra a implementovať pokyny priamo do prístroja. V prípade v tej úpravy, by bolo možné vykonávať viacnásobné merania za sebou a odosielať do aplikácie iba relevantné výsledky.

Druhým možným rozšírením, tentokrát bez zásahu do prístroja, by bolo napojenie na mobilnú aplikáciu špeciálne vytvorenú pre tento účel. Tým pádom by sa dáta pacientov pre jedného zdravotníka mohli zjednotiť a lekár alebo sestra by mohli vyberať zo zoznamu pacientov bez potreby sťahovať dáta pre každého pacienta osobitne. Dáta by obsahovali aj ďalšie informácie, ktoré sú súčasťou zdravotníckej dokumentácie. Napríklad naordinovaná farmakoterapia alebo pridružené ochorenia. Aplikácia by bola rovno napojená do informačného systému kliniky a tým by sa dáta ukládali priamo na servery nemocnice a nie ku tretej osobe. Aplikácia by získavala údaje z prístroja pomocou bluetooth cez pripravené rozhranie. Mobilná aplikácia by mohla rovnako fungovať aj na pripomienky o meraní či prípadnú komunikáciu medzi zdravotníckym personálom a pacientmi.

Napojením mobilnej aplikácie pacienta na informačný systém nemocnice by bolo možné vykonávať zmeny v naordinovaných liekoch, prípadne predpísaných postupoch rovno v počítačovom programe lekára. Lekár po zhladnutí a vyhodnotení výsledkov, by bol schopný okamžite potvrdiť doterajší postup, alebo upraviť gramáž liekov, ktoré pacient užíva. Tým pádom by mal pacient okamžitý prístup k informácii o úprave nariadeného liečebného režimu.

Rozšírením počítačovej aplikácie lekára by sme dosiahli funkčnejšie filtrovanie dôležitých meraní. V prípade potreby sa lekárovi zobrazí iba úsek, kedy mal pacient stabilne zvýšený tlak vo viacerých meraniach za sebou. Momentálne je možné danú skutočnosť odčítať podľa farebného rozlíšenia, ale môže nastať situácia, kedy chce mať lekár informácie iba o určitej skupine a zobrazí ju v množstve dát. Rovnako by bolo možné do budúcnosti rozšíriť aplikáciu o rôzne štatistické údaje o tlaku krvi pacienta.

Poslednou diskutovanou možnou úpravou aplikácie by bolo vytvorenie vnútornej databázy, ktorá by slúžila k uchovávaniu zašifrovaných prihlasovacích údajov pacientov a lekár alebo zdravotník by sa prihlasoval pod svojim hlavným heslom na dešifrovanie údajov. To by umožnilo výber údajov, prípadne vyhľadávanie v dátach všetkých pacientoch naraz. Lekár by dokázal zistiť čas posledného merania u jednotlivých pacientov a či nedošlo ku náhlemu zvýšeniu alebo zníženiu tlaku krvi do takej miery, kedy je potrebné pacienta skontrolovať prípadne skontaktovať.

Kapitola 9

Záver

Cieľom tejto práce bolo naštudovať odbornú literatúru popisujúcu krvný tlak, dostupné typy prístrojov na meranie a literatúru ohľadom spôsobu merania krvného tlaku. Následne s pomocou daných informácií navrhnuť algoritmické riešenie pre dlhodobé meranie tlaku pacienta s uľahčením prenosu dát medzi pacientom a lekárom a zobrazením výsledkov pre lekára. Tento návrh bolo nutné implementovať, otestovať a následne diskutovať možné rozšírenia na ďalší vývoj.

Teoretická časť práce je rozdelená na niekoľko častí. Venujú základným informáciám o fungovaní tlaku krvi v ľudskom organizme, spôsobe jeho merania, informáciám ohľadom dostupných prístrojov pre merania a častým ochoreniam, ktoré sa pomocou tonometra dajú odhaliť a sledovať. Ďalej je popísaný návrh a implementácia software-u, ktorý umožňuje lekárovi zobraziť dáta od pacienta po jednotlivých meraniach na prehľadom grafe s farebným odlíšením rizikových hodnôt.

Vďaka informáciám, ktoré som naštudoval počas fázy návrhu som bol schopný vytvoriť aplikáciu, ktorá zjednodušuje prístup ku informáciám pre lekára. Existencia a využívanie tejto aplikácie tak uľahčuje prácu nie len zdravotníkovi ale aj pacientovi, ktorému tiež odbremení od množstva písania výsledkov na papier a diktovania cez telefón. Aplikácia ponúka rozšírené možnosti kontroly výsledkov, pretože poskytuje aj informácie o tom, či sa pacient počas merania hýbal alebo či netrpí nepravidelným srdečným rytmom, čo môže spôsobiť skreslenie výsledkov.

Na základe vykonaného testovania môžeme zhodnotiť, že prvá verzia navrhnutého a implementovaného software zjednodušila prácu zdravotníka a pacienta tým, že zdravotník môže skontrolovať hodnoty pacienta v akýkoľvek čas a nepotrebuje na takýto úkon plánovať prezenčné návštevy pacienta na klinike.

Ako pokračovanie v tejto práci by som navrhoval preskúmať možnosti prenosu informácií z tonometra priamo do zdravotníckeho zariadenia bez nutnosti využívať aplikácie tretích strán. Rovnako by sa ďalšia fáza vývoja mohla zaoberať možnosťou správneho merania tlaku v domácom prostredí tak, aby bol celý postup prístroja automatický bez nutnosti zásahu pacienta do merania.

Literatura

- [1] *Accuracy Criteria* [online]. dabl Educational Trust, 2022 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: http://www.dableducational.org/accuracy_criteria.html.
- [2] CHRASTINA, J., DOUPALOVÁ, P. a VÁCLAVÍK, J. Neinvazivní měření krevního tlaku u hypertenzních pacientů. *Interventional Cardiology*. 2015, sv. 14, č. 2, s. 70–73. ISSN 1213807X. Dostupné z: <https://www.iakardiologie.cz/artkey/kar-201502-0004.php>.
- [3] CONTRIBUTORS, W. C. *File:Blood Pressure Information.jpg* [online]. Wikimedia Commons, the free media repository., říjen 2020 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Blood_Pressure_Information.jpg&oldid=480159654.
- [4] CONTRIBUTORS, W. C. *File:Cardiac cycle pressure only.png* [online]. Wikimedia Commons, the free media repository., říjen 2020 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Cardiac_cycle_pressure_only.png&oldid=505793527.
- [5] CRUICKSHANK, J. M. *Essential Hypertension*. Shelton, CT: People's Medical Publishing House, 2013. ISBN 9781607951681.
- [6] DOC. MUDR. JOZEF BULAS, C. a MUDR. JÁN MURÍN, C. prof. Princípy diagnostiky a léčby arteriální hypertenze. *Primárny kontakt*. 2014, č. 2, s. 10–16. Dostupné z: <http://www.primarykontakt.sk/casopis/pk201406.pdf>.
- [7] *NÁVOD K OBSLUZE* [online]. 2020 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.eta.cz/images/cz/uploader/document//1/4448401.pdf>.
- [8] FELSON, S. *Ankle-brachial index (ABI) test: Procedure, risk factors, and results*. WebMD, Oct 2021. Dostupné z: <https://www.webmd.com/heart-disease/ankle-brachial-test#1>.
- [9] GANONG, W. F. *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén, 2005. ISBN 80-7262-311-7.
- [10] HALL, A. *Best blood pressure monitors of 2022* [online]. Forbes Magazine, prosinec 2021 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/health/healthy-aging/best-blood-pressure-monitors/>.
- [11] *High blood pressure symptoms and causes* [online]. 2021 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/bloodpressure/about.htm>.

- [12] HOEVEN, N. V. van der, BORN, B. J. van den a MONTFRANS, G. A. van. Reliability of palpation of the radial artery compared with auscultation of the brachial artery in measuring SBP. *J Hypertens*. Jan 2011, sv. 29, č. 1, s. 51–55.
- [13] *What is high blood pressure?* [online]. 2021 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.heart.org/en/health-topics/high-blood-pressure/the-facts-about-high-blood-pressure/what-is-high-blood-pressure#.WrqtReR1rcs>.
- [14] *Hypertension* [online]. 2021 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>.
- [15] *Low Blood Pressure* [online]. 2022 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.nhlbi.nih.gov/health/low-blood-pressure>.
- [16] *Hypotenzia* [online]. 2017 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://encyklopedia.akv.sk/diagnozy/hypotenzia/>.
- [17] *Hypotenzia* [online]. 2010 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.vusch.sk/ochorenia/hypotenzia/>.
- [18] KARAMANOU, M., PAPAIOANNOU, T. G., TSOUCALAS, G., TOUSOULIS, D., STEFANADIS, C. et al. Blood pressure measurement: lessons learned from our ancestors. *Curr Pharm Des*. 2015, sv. 21, č. 6, s. 700–704.
- [19] KAUTZNER, J. *Poruchy srdečního rytmu – arytmie* [online]. IKEM, 2022 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.ikem.cz/cs/poruchy-srdecniho-rytmu-arytmie/a-398/>.
- [20] KITTNAR, O. *Fyziologie*. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-3068-4.
- [21] KLENER, P. *PROPEDEUTIKA VE VNITŘNÍM LÉKAŘSTVÍ*. 2. vyd. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-246-1254-2.
- [22] LEWIS, O. Stephen Hales and the measurement of blood pressure. *J Hum Hypertens*. Dec 1994, sv. 8, č. 12, s. 865–871.
- [23] LINHART, A., CERAL, J. a FILIPOVSKÝ, J. Praktický postup České společnosti pro hypertenzi: Měření krevního tlaku. 1. část: Obecné principy. *Hypertenze & kardiovaskulární prevence*. 2016, sv. 5, č. 2, s. 24–27. ISSN 1805–4129.
- [24] MALÁSKA, J., STAŠEK, J., KRATOCHVÍL, M. a ZVONÍČEK, V. *Intenzivní medicína v praxi*. Praha: Maxdorf, 2020. ISBN 978-80-7345-675-7.
- [25] *Introduction* [online]. MedM, 2022 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://documentation.medm.com/v2.11.517/api/v3/index.html#measurements-blood-pressure>.
- [26] NORTON, B. *Tachycardias* [online]. 2020 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://app.pulsenotes.com/clinical/ecgs/notes/6-tachycardias>.
- [27] PHILLIPS, D. *Python 3 object oriented programming*. Packt Publishing, 2010. ISBN 9781849511261.

- [28] PICKERING, T. G., HALL, J. E., APPEL, L. J., FALKNER, B. E., GRAVES, J. et al. Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals: part 1: blood pressure measurement in humans: a statement for professionals from the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research. *Circulation*. Feb 2005, sv. 111, č. 5, s. 697–716.
- [29] POKORNÁ, A. a KOMÍNKOVA, A. *Ošetrovatelské postupy založené na důkazech*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2013. ISBN 978-80-210-6331-0.
- [30] ROKYTA, R. *Fyziologie*. 3. vyd. Praha: Galén, 2016. ISBN 978-80-7492-238-1.
- [31] SIDDIQI. *PyQt vs Tkinter – The better GUI library* [online]. CodersLegacy, 28. června 2020 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://coderslegacy.com/pyqt-vs-tkinter/>.
- [32] SILBERNAGL, S. a DESPOPOULOS, A. *Atlas fyziologie člověka: překlad 8. německého vydání*. 8. vyd. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4271-7.
- [33] SNIČÁK, M. a KUJANÍK Štefan. PATOGENÉZA PRIMÁRNEJ HYPERTENZIE. *VOJENSKÉ ZDRAVOTNICKÉ LISTY*. 2004, sv. 73, č. 4, s. 130–141. ISSN 2571113X. Dostupné z: <https://www.mmsl.cz/pdfs/mms/2004/04/03.pdf>.
- [34] STAFF, M. C. *Low blood pressure (hypotension)* [online]. Mayo Clinic, 2020 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/low-blood-pressure/symptoms-causes/syc-20355465>.
- [35] STAFF, M. C. *Heart arrhythmia* [online]. Mayo Clinic, 2021 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/heart-arrhythmia/symptoms-causes/syc-20350668>.
- [36] STAFF, M. C. *High blood pressure (hypertension)* [online]. Mayo Clinic, 2021 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/high-blood-pressure/symptoms-causes/syc-20373410>.
- [37] TROJAN, S. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Publishing,, 2033. ISBN 80-247-0512-5.
- [38] WHELTON, P. K., CAREY, R. M., ARONOW, W. S., CASEY, D. E., COLLINS, K. J. et al. 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018, sv. 71, č. 19, s. e127–e248. DOI: 10.1016/j.jacc.2017.11.006.
- [39] WIDIMSKÝ, J. *Hypertenze*. 4. vyd. Praha: Triton, 2014. ISBN 978-80-7387-811-5.
- [40] WIDIMSKÝ, J. Léčba izolované systolické hypertenze starších osob. *Hypertenze & kardiovaskulární prevence* [online]. 2014, sv. 3, č. 2, s. 8–15. ISSN 1805–4129. Dostupné z: <http://www.hypertension.cz/sqlcache/csh-02-2014-web.pdf>.
- [41] WIKISKRIPT, P. *Ateroskleróza* [online]. 2020 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Ateroskler%C3%B3za&oldid=442706>.

Příloha A

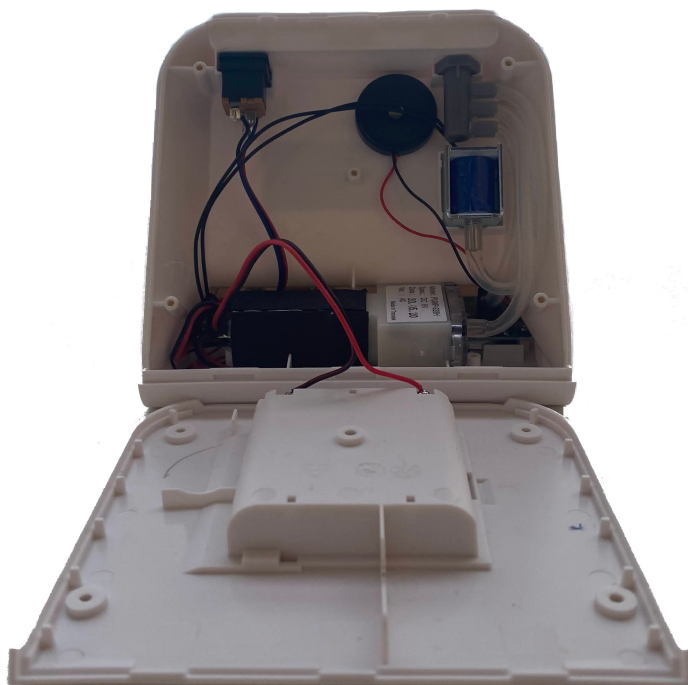
Obsah priloženého paměťového média

Štruktúra súborov na priloženom pamäťovom médiu je nasledujúca:

```
/
├── app
│   ├── dist
│   │   ├── Ubuntu
│   │   │   └── LTMAApp
│   │   └── Win
│   │       └── LTMAApp.exe
│   ├── images
│   │   ├── interface.ui
│   │   └── *.png
│   ├── LICENSE
│   ├── modules
│   │   ├── canvas.py
│   │   ├── Forms.py
│   │   └── helpers.py
│   ├── project.py
│   ├── README.md
│   ├── requirements.txt
│   └── thesis
│       └── xpetro21_IBT.pdf
```

Příloha B

Bližšie fotky zariadenia



Obrázek B.1: Obrázok zobrazuje časť komponentov tonometra nachádzajúcich sa vo vnútri prístroja.



Obrázek B.2: Obrázok zobrazuje prednú stranu prístroja so segmentovým displejom a ovládaním.