

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ševčík** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **392429**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra teorie obvodů**
Studijní program: **Biomedicínské inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Biomedicínské inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využitelnost vybraných senzorů pro monitoraci osob s prediabetem v chytré domácnosti

Název diplomové práce anglicky:

Usability of Selected Sensors for Monitoring People with Prediabetic in a Smart Home

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou včasné diagnostiky prediabetu, případně diabetu II. typu.
2. Navrhněte způsob sběru potřebných dat pro včasný záchyt prediabetu použitelný v domácím prostředí.
3. Realizujte vzorová měření a navrhněte vhodný způsob zpracování naměřených dat.

Seznam doporučené literatury:

- [1] J. Perušičová, T. Peikánová, J. Škrha, M. Kvapil, A. Šmahelová: Doporučený postup péče o nemocné s prediabetem. Společné doporučení České diabetologické společnosti ČLS JEP a České internistické společnosti ČLS JEP, 2012.
[2] KIM, Grace. Chapter 3 - Diagnostic Criteria for Prediabetes. . KIM, Grace ed., Elsevier, 2019. Available from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978032355138000036>>. ISBN 978-323551380.
[3] RAJPUT, Rajesh; GARG, Keshavand RAJPUT, Meena. Prediabetes Risk Evaluation Scoring System [PRESS]: A Simplified Scoring System for Detecting Undiagnosed Prediabetes. , 2019. Available from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751991818303978>>. ISBN 1751-9918.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Havlík, Ph.D., katedra teorie obvodů FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **06.02.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2020**

Ing. Jan Havlík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Radoslav Bortel, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra teorie obvodů



Diplomová práce

**Využitelnost vybraných senzorů pro monitoraci osob s prediabetem
v chytré domácnosti**

Bc. Jan Ševčík

Vedoucí práce: Ing. Jan Havlík, Ph. D

Studijní program: Biomedicínské inženýrství a informatika, Magisterský

Obor: Biomedicínské inženýrství

23. května 2019

Poděkování

Tímto bych rád chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Janu Havlíkovi za odborné vedení při přípravě celé práce a věcné připomínky, které mi byly velkým přínosem a pomohly tuto práci zkompletovat.

Prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 23.5.2019

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou včasného podchycení manifestace diabetu mellitu, známé též pod českým výrazem cukrovka, ze stavu prediabetes. Cílem práce bylo se seznámit se samotným onemocněním a se studiiemi jež se zabývaly vztahy mezi diabetem a faktory BMI, aktivita, tlak apod. Na základě těchto studií byly vybrány senzory, které umožňovaly přenos dat bezdrátovou cestou pro automatické vyhodnocování v chytrých domácnostech. Na získaných dat pacientů s diabetem a prediabetem byl vytvořen rozhodovací algoritmus k podpoře rozhodnutí, zda se jedná stále o prediabetes, či již o diabetes mellitus.

Klíčová slova: prediabetes, diabetes mellitus 2. typu, chytrá domácnost

Annotation

This diploma thesis deals with the problem of early detection of diabetes mellitus, also known under the Czech term diabetes, from the state of prediabetes. The aim of this work was to get acquainted with the disease itself and with the studies dealing with the relationship between diabetes and BMI factors, activity, pressure, etc. Based on these studies, sensors were selected that enabled data transmission by wireless means for automatic evaluation in smart homes. A decision algorithm to support the decision as to whether it is still prediabetes or diabetes mellitus has been made on the data obtained from patients with diabetes and prediabetes.

Keywords: prediabetes, diabetes mellitus 2 type, smart home

Obsah

Seznam použitých zkratk	14
Seznam obrázků	15
Úvod	16
1. Cíle práce	17
2. Prediabetes	18
2.1. Projevy	18
2.2. Diagnostika	19
3. Diabetes mellitus	20
3.1. Diabetes melitus I. typu	22
3.2. Diabetes melitus II. typu	23
4. Základní informace o fungování chytrých domácností	27
5. Senzory	29
5.1. Základní použitelné	29
5.1.1. Glukometr	29
5.1.2. Váhy s bioimpedancí	30
5.1.3. Sensor aktivity	31
5.2. Aplikace	31
6. Praktická část	32
6.1. Konektivita senzorů se systémem	32
6.1.1. Bluetooth	32
6.1.2. Cloudové uložení	33
6.1.3. Bluetooth + Cloudové uložení	33
6.2. Korelace hodnot	34
6.3. Aplikace systému	39
6.3.1. Kritéria	39
6.3.2. Rozhodovací algoritmus	39
7. Vize do budoucna	44
7.1. Možné další použitelné senzory	44
7.2. Sledování životosprávy	46
8. Diskuze	47
Závěr	48
Zdroje	50

Seznam použitých zkratek

ACSM Americká vysoká škola sportovní medicíny (American College of Sport Medicine)

AHA Americká kardiologická asociace (American Heart Association)

BLE Bluetooth Low Energy

BMI Body Mass Index

BT Bluetooth

CGM kontinuální snímání glukózy v krvi

ČDS Česká diabetologická společnost

ČR Česká Republika

DM diabetes melitus

DM2T diabetes melitus 2. Typu

ECR European cardiac review

FPG Fasting plasma glucosa

IGT impaired glucose tolerance

IKEM Institut klinické a experimentální medicíny

OS Operační systém

TxLO transplantace Lang. Ostůvků

WHO Světová zdravotnická organizace (World Health Organisation)

Seznam obrázků

Obrázek 1: Prevalence léčených pacientů s DM.....	21
Obrázek 2: Zastoupení typů DM.....	21
Obrázek 3: Změny glykemie a inzulinémie při vzniku diabetu I. typu	23
Obrázek 4: Změny glykemie a inzulinémie při vzniku diabetu II. typu	24
Obrázek 5: Algoritmus pro laboratorní screening DM u dospělých.....	26
Obrázek 6: Glukometr Medisana meditouch 2 connect s bluetooth	29
Obrázek 7: Váha medisana bs 444 s Bluetooth	30
Obrázek 8: Grafické znázornění propojení jen na základě Bluetooth.	32
Obrázek 9: Grafické znázornění kombinovaného přenosu BT a web cloud	33
Obrázek 10: Změny tlaku v závislosti na věku.....	34
Obrázek 11: Vztah systolického tlaku vůči věku.....	35
Obrázek 12: Vztah mezi aktivitou a věkem (oranžová prediabetici, modrá diabetici).....	36
Obrázek 13: Vztah mezi věkem a BMI.....	37
Obrázek 14: Vztah mezi věkem a tukem	38
Obrázek 15: Vzath mezi tukem a aktivitou.....	38
Obrázek 16: Vybraný výsledný rozhodovací strom.....	40
Obrázek 17: Grafická podoba hlavního okna	41
Obrázek 18: Grafické prostředí nastavení osobních údajů	42
Obrázek 19: Grafická podoba manuálního zadání dat ze senzorů.....	43
Obrázek 20: Senzor pro kontinuální záznam cukru v krvi	44
Obrázek 21: Kontaktní čočka pro měření glukózy v slzách	45

Úvod

Chronické neinfekční onemocnění, označováno i jako civilizační nemoc, se v rozvinutých oblastech světa dostává stále více a více do centra pozornosti. V posledních letech je na vzestupu nejvýrazněji diabetes mellitus. Tomuto stavu však předchází stav známý jako prediabetes. Pokud je prediabetes odhalen včas, je zvýšena šance na snížení pravděpodobnosti rozvinutí, či oddálení rozvinu samotného diabetu.

Stěžejním tématem této diplomové práce je tedy kontrola stavu prediabetu, případně i včasné zjištění, zda již nehrozí riziko rozvoje diabetu v domácích podmínkách za využití chytré domácnosti. Jde o chronický stav, kdy tělo má v krvi přemíru cukru, avšak tento stav ještě neodpovídá hodnotám diabetes mellitus.

V první části práce se budu věnovat rozboru nemoci diabetes mellitus a prediabetes, následně druhá část práce bude obsahovat soupis použitelných senzorů rozděleným do dvou kategorií včetně možností jejich přenosů mezi senzorem a vyhodnocovacím programem. V další části práce představuji svůj návrh řešení včetně vytvořeného programu v prostředí MATLAB a Rstudio. Součástí této části je i potvrzení několika studií na jejichž základě byly senzory vybrány.

Na závěr jsem provedl a zvážil i možnosti zapojení i jiných senzorů v budoucnosti do systémů včetně možnosti změny dohledu z prediabetických pacientů na osoby u nichž se diabetes mellitus již plně rozvinul. Tyto možnosti nebyly vyhodnoceny v rámci této diplomové práce.

1. Cíle práce

V této diplomové práci jsem si stanovil tři cíle týkající se pacientů s prediabetem a diabetem mellitus. Z hlediska komplexnosti tématu jsem se zaměřil jen na vybrané oblasti. Ke splnění cílů jsem si stanovil následující otázky:

- a) Cílem práce je seznámit se s diagnostikou prediabetu a diabetu a změnami v průběhu onemocnění
- b) Cílem je najít vhodnou možnost sběru dat pro včasný záchyt změny stavu prediabetu na diabetes mellitus
- c) Cílem je navrhnout vhodný způsob zpracování naměřených dat a jejich vzorové zpracování

2. Prediabetes

Prediabetes, či také stav známý pod pojmem porucha glukózové tolerance, je klasický stav předcházející rozvinutí samotného diabetes mellitus. Má vlastní definovanou diagnostiku, patogenezi a klinický obraz.

2.1. Projevy

Prediabetes se nevyznačuje na první pohled výraznými projevy jelikož se jedná o tzv. onemocnění asymptomatické. Tedy jedná se o chorobu, která probíhá bez subjektivních příznaků a jeho odhalení se dá provést pouze na základě laboratorního testu, kdy se vyhledávají abnormality ve výsledcích.

Prediabetes značí:

- Náhodná glykemie 7,8 - 11,0 mmol/l
- Glykemie nalačno 5,6 – 6,9 mmol/l
- Glykemie po tolerančním testu 7,8 – 11,0 mmol/l ¹

Existují zde rizikové faktory, které si jsou velmi podobné rizikovým faktorům DM2T. Těmito faktory jsou:

- Nadváha – zejména ti, kteří mají nadváhu kolem pasu (tj. Více než 94 cm pro muže a více než 80 cm pro ženy)
- Být fyzicky neaktivní, či sedavé zaměstnání
- S vysokým obsahem triglyceridů a nízkým HDL-C (dobrý cholesterol) a / nebo vysokým celkovým cholesterolem
- S vysokým krevním tlakem
- S rodinnou anamnézou diabetu 2. typu a / nebo srdečního onemocnění

Mezi další ohrožené osoby patří ženy, jenž trpí polycystickým ovariálním syndromem, či ženy jež prodělaly gestační (těhotenský) diabetes nebo porodily dítě s váhou vyšší jak 4,5kg.²

Prediabetes zvyšuje riziko rozvinutí kardiovaskulárních onemocnění, takže je vhodná i kontrola tlaku a cholesterolu (s ním i spojená kontrola triglyceridů).

Samotný prediabetes však neznačí, že u postiženého se DM plně rozvine, pouze je zde 10x - 20x zvýšené riziko.

2.2.Diagnostika

Pro diagnostiku prediabetu se obdobně jako u diabetu provádí pouze laboratorní vyšetření glukózy na lačno (Fasting Plasma Glucose, zkr. FPG) a test na porušenou glukózová tolerance (impaired glucose tolerance, zkr. IGT)

Diagnostická kritéria prediabetu dle doporučení ADA a WHO:³

1. glykemie nalačno 5,6-6,9 mmol/l
2. glykemie za 2 hodiny 7,8-11 mmol/l
3. Glykovaný hemoglobin 39–47 mmol/l

Při nálezů hodnoty lačné glykémie nad 5.6 mmol/l má být vždy zopakován odběr pro potvrzení patologického nálezů. Samotný odběr lačné glykémie se provádí po minimálně osmihodinovém lačnění přes noc a měla by být vyloučena fyzická námaha a kouření. Odběr se provádí ze žilní krve u pacienta a v klidové poloze do zkumavky s obsahem inhibitoru glykolýzy (směs fluoridu sodného, EDTA a citrátu sodného). Vzorek by měl být zpracován laboratoří do 60 minut.³

3. Diabetes mellitus

Diabetes mellitus, též česky úplavice cukrová, či jen zkráceně cukrovka, je souhrnný název pro druh metabolických onemocnění, které mají podobné příznaky, pro které je charakteristická hyperglykémie, tedy přebytek cukru v krvi, který je důsledkem poruchy inzulínové sekrece, či neúčinnost inzulínu v tkáni, popřípadě se jedná o jejich kombinaci. Dalšími příznaky mohou být:

- Polyurie (nadměrné močení >2,5l/den)
- Žízeň a polydipsie (nadměrný příjem tekutin)
- Únava a malátnost
- Faetor acetonicus (dech zapáchající po acetonu)

Normální koncentrace glykemie je regulována na rozmezí 3,3 mmol/l do 6,6 mmol/l, přičemž po jídle dochází na přechodnou dobu k nárůstu až na 7,5 mmol/l. Pro zvýšení glykemie slouží hormony glukagon, katecholamin, kortizol. Naopak pro snížení glykemie slouží inzulín.

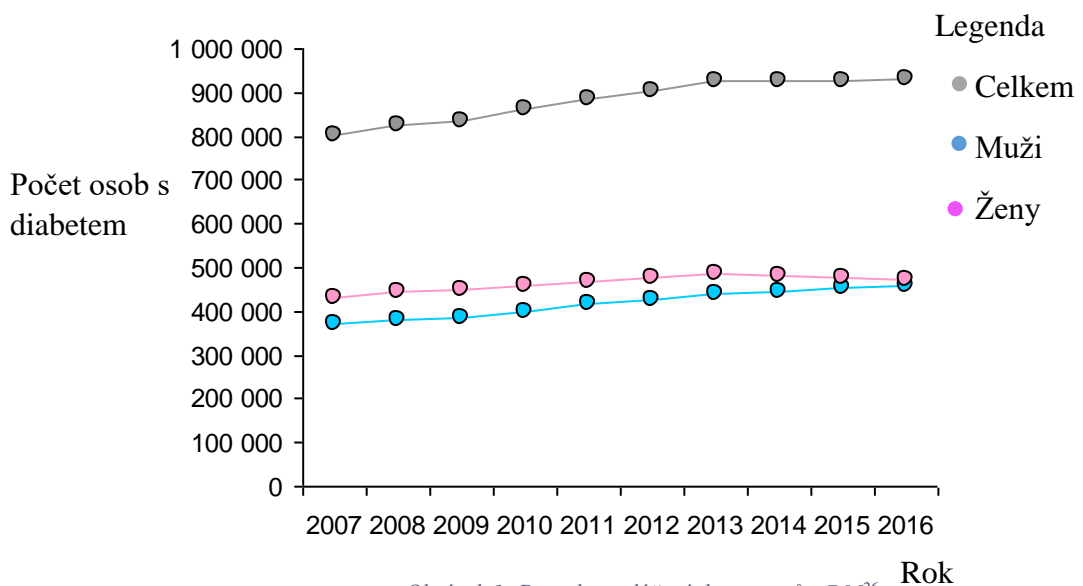
Při poklesu glykémie pod 3,3 mmol/l dochází ke stavu tzv. hypoglykemie, naopak při nárůstu glykemie nad 6,6 mmol/l se hovoří o stavu hyperglykemie.

S onemocněním diabetes mellitus jsou často spojené komplikace v důsledku nestálé hladiny cukru v krvi. Nejčastější komplikací je odumírání a poškozování funkcí periferních nervů, kdy nejvíce jsou postižené dolní končetiny (může dojít tzv. diabetické noze), což může vést až k amputaci končetiny.

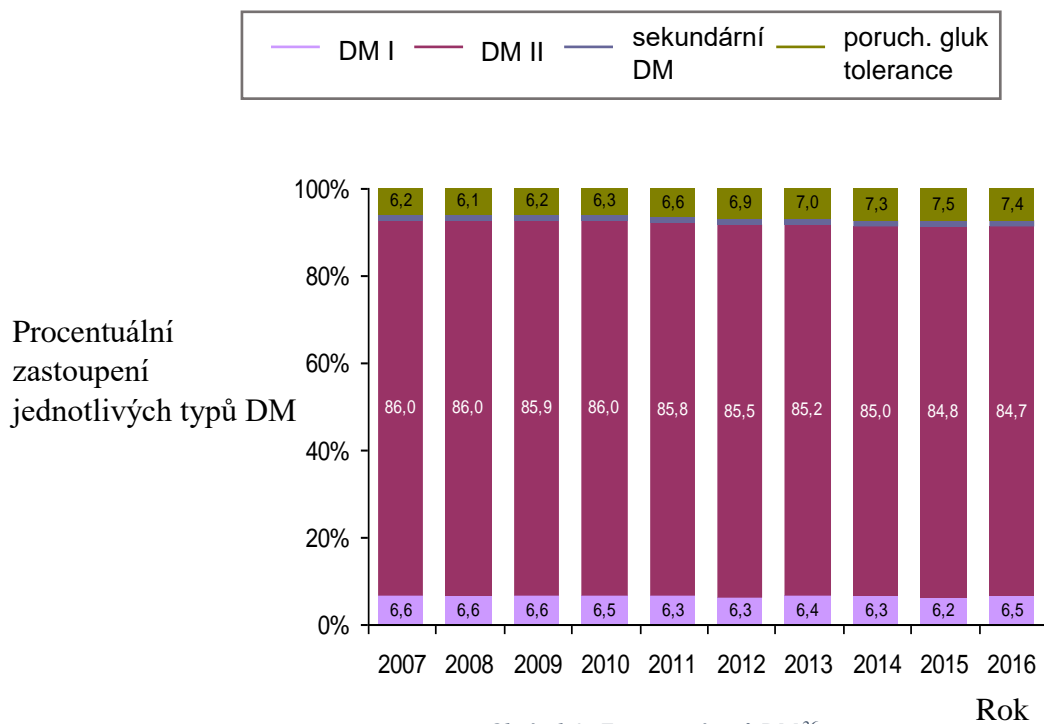
Dalšími častými komplikacemi mohou být i cévní komplikace jako je např. diabetická retinopatie (nedostatečné vyživování sítnice), tedy postupná ztráta zraku končící slepotou.

Pokud nemocný patří mezi fyzicky aktivní jedince, tak při zátěži může dojít ke snížení cukru v krvi, a tedy ke stavu hypoglykemie, kdy v krvi bude cukru nedostatek. Ta ovšem nemusí nastat jen při pohybu, další důvody vzniku hypoglykemie jsou příliš mnoho inzulínu, příliš málo jídla anebo kvůli alkoholu.

Důvody k vyšší míře inzulínu, krom samotného onemocnění, můžou nastat z důvodu píchnutí vyšší dávky inzulínu, či v prvopočátcích onemocnění i ze snahy těla obnovit svou vlastní tvorbu. V tomto případě dochází ke sčítání účinku inzulínu píchnutého v injekci a inzulínu tvořeného vlastním tělem. ⁴



Obrázek 1: Prevalence léčených pacientů s DM²⁶



Obrázek 2: Zastoupení typů DM²⁶

Jak je vidět na obrázku č. 1 počet nemocných DM v ČR v roce 2016 dosahoval téměř 900 tisíc, přičemž postupně dochází ke snížení rozdílu v zastoupení mužů a žen. Zatímco dříve se DM projevoval více u ženské populace, nyní u nich dochází k postupnému snižování nemocných, naopak počty mužů rostou a dnes je zastoupení přibližně shodné pro obě pohlaví. Na obrázku č. 2 je znázorněno procentuální zastoupení jednotlivých druhů

DM. Na první pohled je vidět velké zastoupení DM2T, kdy se počet takto nemocných pohybuje okolo 85 % postižených tímto typem DM. Určité procento z DM2T populace však je zařazeno jen na základě doporučení diabetologické společnosti, kdy mezi nemocné jsou zařazeny i osoby s poruchou glukozové tolerance (prediabetem), kteří překročí hranici určující rozvinutý diabetes. Takovíto pacienti bývají ve většině případů léčeni jen tabletami Metforminu.

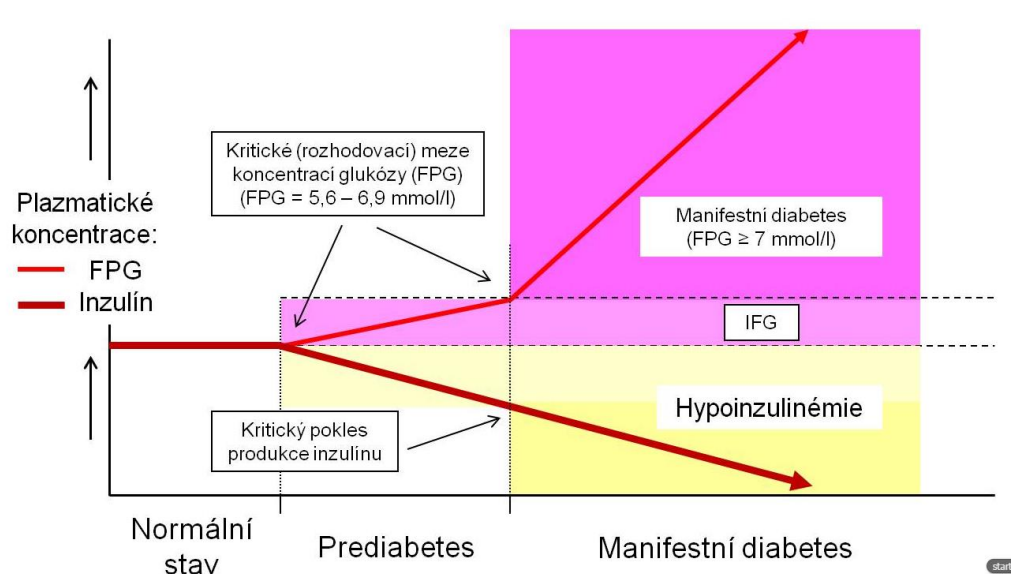
3.1. Diabetes mellitus I. typu

Pro tento druh diabetu je typická ztráta schopnosti těla vytvářet svůj vlastní inzulin nebo jej vytváří ve snížené míře. V krvi se tedy zvyšuje koncentrace cukru.

Tento typ diabetu, často nazýván také jako juvenilní, je charakteristický tím, že vzniká v dětském věku, zpravidla do 20 let. Je doprovázen sníženou tělesnou hmotností, ketoacidózou a nedostatkem inzulinu v krvi. Na obrázku 3 je znázorněn postup vývoje FPG a inzulinu u DM1T. Jeho vznik je často způsoben genetickou predispozicí nebo autoimunitní poruchou, kdy ve slinivce je snížena, či zcela utlumena endogenní produkce inzulinu v β -buňkách Langerhansových ostrůvků, které se nachází na slinivce břišní. K manifestaci choroby dochází při poklesu v β -buněk pod 20 % z původního množství.⁵ Na obrázku č. 3 této 20 % hranici odpovídá hranice mezi manifestujícím diabetem a prediabetem. Léčba spočívá v úpravě diety a aplikaci dávek inzulinu v závislosti na příjmu sacharidů a potřebách pacienta. V případě, kdy tato léčba je nedostatečná, dochází k transplantaci slinivky.^{6,7}

V poslední několika se provádí i možnost léčby v podobě transplantace Langerhansových ostrůvků (TxLO). V České republice se tímto zabývá od roku 2005 IKEM. Problémem TxLO jsou přísné podmínky, jenž musí pacienti splňovat, což je i příčinou, že od roku 2005 do roku 2015 bylo provedeno TxLO na 48 pacientech. V posledních letech však IKEM intenzivně pracuje na možnost jejich zmírnění a zvýšení dostupnosti i dalším pacientům.

Ani jedna z transplantací však neznamená jistotu vyléčení. Během studie bylo pomocí kontinuálního měření tlaku (CGM) zjištěno, že pacienti před TxLO strávili 54 % času v hyperglykémii a 42 % normoglykémii, po měsíci od TxLO se poměr změnil jen nepatrně, na 53 % a 44 % největší změny dosáhl proces léčby po 3 měsících od transplantace, kdy hyperglykemický stav na byl 39 % času a 59 % času bylo normoglykemie.⁸



Obrázek 3: Změny glykemie a inzulinémie při vzniku diabetu I. typu ²⁷

3.2. Diabetes mellitus II. typu

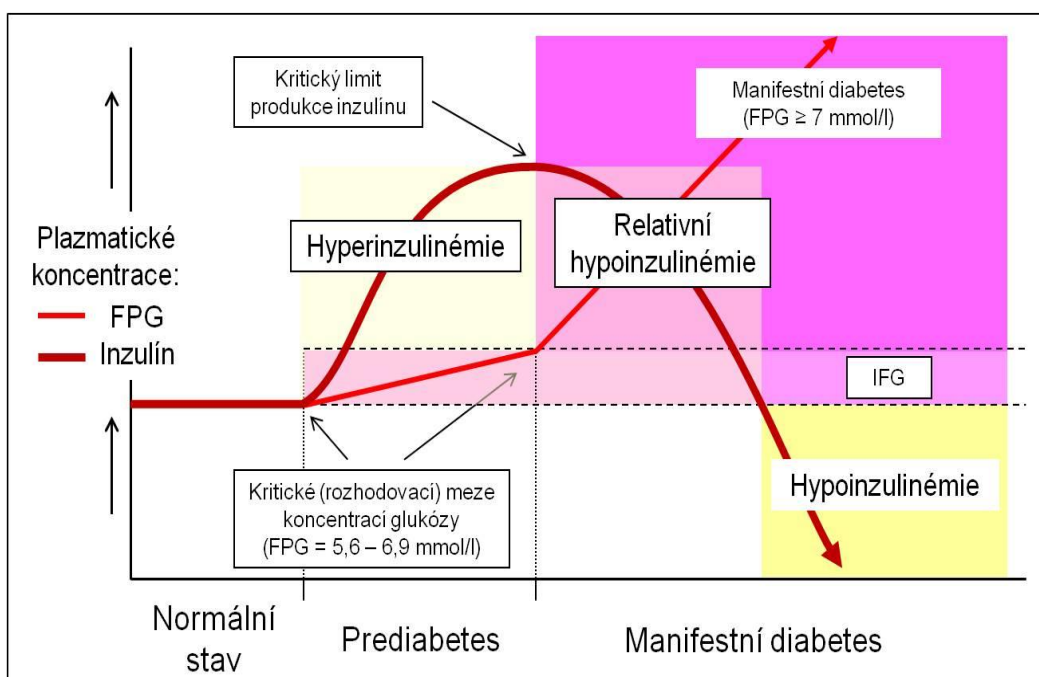
Diabetes 2. typu je nejrozšířenější formou cukrovky u nás. Jde o chronické onemocnění a nejčastěji je spojené s vyšším věkem (nejčastěji po dosažení 40 let), obezitou, nedostatkem pohybu a nezdravým životním stylem.

V posledních letech se DM2T stává i nejvíce se rozšiřující nemocí ve světě. Počet nemocných roste nejen v České republice, ale v celém světě. Nejvíce jsou touto nemocí ohroženi lidé ve vyspělých státech, avšak i v rozvojových zemích se množství nemocných začíná zvyšovat rychlým tempem. Světová zdravotnická organizace již DM2T označila jako globální zdravotní epidemii. V ČR touto formou trpí přibližně 85 % všech diabetiků.⁹ Za tímto vysokým číslem však částečně stojí jak již bylo zmíněno doporučení České diabetologické společnosti, kdy pacient, který přesáhne výrazněji hranici pro DM2T je automaticky do této kategorie zařazen nezávisle na dalších měřeních v budoucnu, a to i kdyby již pouze spadl do kategorie prediabetes.

V DM2T se sice inzulín se vytváří, ale tělo jej neumí efektivně využít. Tento stav je vidět na obrázku č. 4, kdy v době prediabetes inzulín stoupá skokově, kdežto, u FPG dochází k pomalejšímu nárůstu. Jelikož DM2T nemá typické příznaky, jeho záchyt závisí víceméně na náhodě, a to buď nějakým stavem (např. hypoglykemický šok), nebo při diagnostice/terapii jiného onemocnění.

V poslední době se díky nárůstu dětské obezity začínají na DM2T testovat i děti. Dle Americké diabetologické asociace (zkr. ADA) se doporučují testovat děti jež trpí nadváhou či obezitou a mají aspoň 2 z následujících rizikových faktorů:

- Rodinná anamnéza diabetu 2. typu
- Pohlaví a věk
 - DM2 častější u dívek než u chlapců
 - Diagnóza se často vyskytuje kolem puberty
- Nízká porodní váha
- Matka trpěla gestačním diabetem



Obrázek 4: Změny glykémie a inzulínémie při vzniku diabetu II. typu²⁷

K vyhledávání diabetu se používá stejně jako u prediabetu hodnocení glykémie. Dříve se provádělo i vyšetření z moče (tzv. Glykosurie), která však byla ze screeningu vyloučena. Glykémie se vyšetřuje v plné kapilární krvi nebo v žilní plazmě:

- jednou za dva roky (u nerizikových jedinců, zejména ve věku nad 40 let jako součást preventivních prohlídek)
- jednou ročně u osob se zvýšeným rizikem (prediabetes, nemocní s kardiovaskulární příhodou v anamnéze, diabetes v rodinné anamnéze, obezita, arteriální hypertenze, dyslipidémie či hyperlipoproteinémie, výskyt poruchy

glukózové tolerance v anamnéze, gestační diabetes či porod plodu o hmotnosti nad 4 kg, syndrom polycystických ovarií)

- okamžitě u osob se zjevnými příznaky ¹⁰

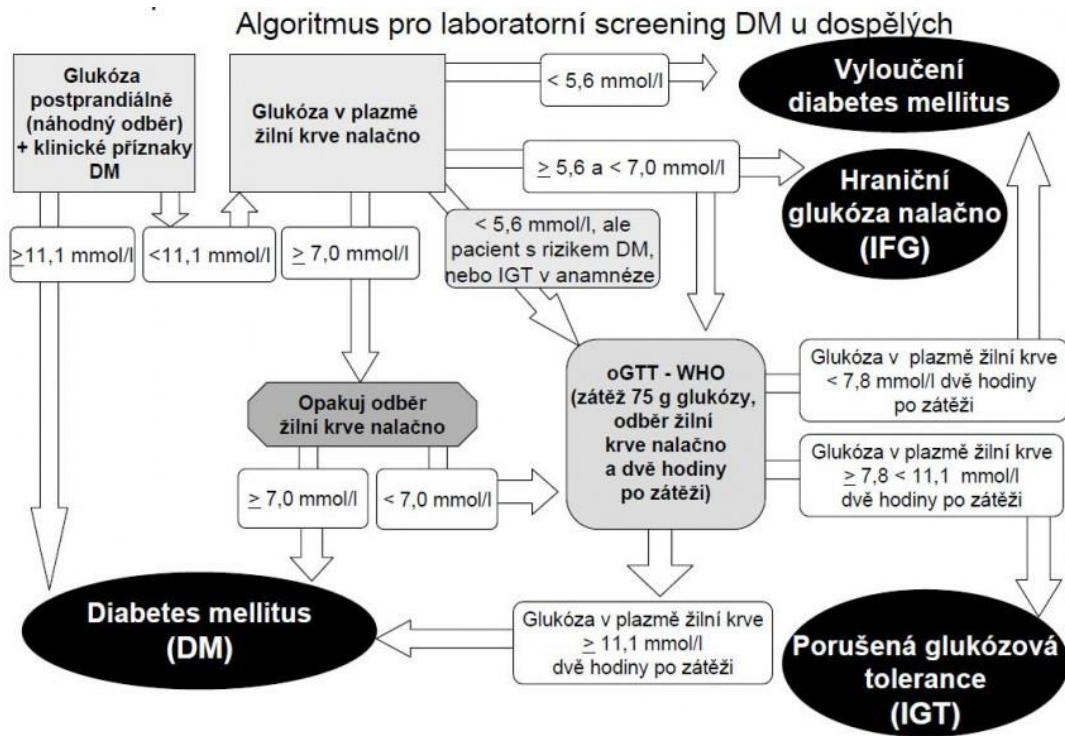
Skríningové vyšetření poruch glukózové homeostázy (diabetu + prediabetu) je pozitivní v případech, kdy je:

- náhodná glykémie (stanovená kdykoliv během dne a nezávisle na jídle) v plné kapilární krvi (stanovení na glukometru je možné) $\geq 7,0$ mmol/l nebo v žilní plazmě $\geq 7,8$ mmol/l nebo – glykémie nalačno v žilní krvi stanovená v laboratoři (nikoliv na glukometru) $\geq 5,6$ mmol/l nebo
- glykovaný hemoglobin (HbA1c) stanovený v laboratoři ≥ 39 mmol/mol dle IFCC (fakultativně) ¹⁰

Při podezření na diabetes mellitus je třeba potvrdit diagnózu onemocnění standardním postupem. O diagnóze diabetu svědčí:

- přítomnost klinické symptomatologie provázené náhodnou glykemií vyšší než 11,0 mmol/l a následně glykemií v žilní plazmě nalačno rovnou nebo vyšší než 7,0 mmol/l (stačí jedno stanovení)
- při nepřítomnosti klinických projevů a nález glykémie v žilní plazmě nalačno rovné nebo vyšší než 7,0 mmol/l po osmihodinovém lačnění (ověřit aspoň dvakrát)
- nález glykémie v žilní plazmě za 2 hodiny při oGTT vyšší než 11,0 mmol/l. ¹⁰

Samotný algoritmus pro postup při laboratorním screeningu je znázorněn na obrázku č. 5, kde jsou i znázorněny jednotlivé hranice pro cukr v krvi.



Obrázek 5: Algoritmus pro laboratorní screening DM u dospělých¹

4. Základní informace o fungování chytrých domácností

Programovatelné automaty (zkr. PLC), na jejichž základu chytré domácnosti fungují, jsou poměrně malé počítače, které slouží k automatizaci činností v reálném čase. Obvykle se jedná o modulární systémy, kdy je možné k automatu připojit různé senzory, ovládače apod. Připojené komponenty je možné ovládat ze vstupního rozhraní, kterým může být tablet, mobilní telefon, či počítač. Dle preferencí výrobce může být ovládání buď vlastním systémem (méně obvyklé), či jako aplikace běžící na obvyklých operačních systémech (Windows, Android, iOS). Systém chytré domácnosti může dle naprogramovaných pokynů též do fungování zasáhnout autonomně, kdy např. pokud v místnosti není detekována osoba, dojde po nastavené době k vypnutí osvětlení.

Adekvátní náhradou za PLC je přímo využití pouze PC. Toto řešení vyjde sice levněji avšak je s ním spojen problém softwarového vybavení pro komunikaci s periferiemi. Oproti PLC ale může sloužit i jako multimediální centrum, či cloud pro uložení dat.

Další variantou pro chytré domácnosti jsou stavebnicové systémy. Ve většině případů se jedná o již předpřipravené senzory a programy v automatu, které se jen seskládají dle návodu. Jejich nevýhodou jsou však omezené možnosti následného rozšíření.

Základem je procesní jednotka, která zpracovává a vyhodnocuje data přijatá ze senzorů na jejichž základě pak vykonává automatizovanou činnost. Příkladem může být regulace osvětlení v domácnosti, kdy např. žaluzie stažením, či natočením lamel sníží osvětlení v místnosti. Reléový typ s možností ovládání přes tablet či telefon obvykle přes wifi. Možno napojit pro analýzu na webová úložiště.

4.1. Standardy pro konektivitu

4.1.1. Bluetooth

Tento bezdrátový standard byl navržen pro propojení dvou a více elektronických zařízení, pro komunikaci využívá frekvenční pásmo ISM (Industrial, Scientific, Medical) a jeho přenosová rychlost je okolo 720 kbit/s. Technika, kterou BT využívá, přeskakuje

rádiové frekvence, tudíž nedochází k jejich vzájemnému rušení. Bluetooth podporuje jak komunikaci dvoubodovou (point to point), tak i mnohobodovou (point to multipoint). Tím umožňuje sloučení více zařízení dohromady. Spadá do kategorie osobních počítačových sítí tzv. PAN a dosah komunikačního uzlu je od 10 do 100 m. Vyskytuje se v několika verzích, z nichž v současnosti nejvíce rozšířená a využívaná je verze 4.0, resp. 4.2. Ta se dnes vyskytuje téměř ve většině prodávaných zařízení s BT do konce roku 2018. Od konce roku 2018 se začala objevovat i Bluetooth verze 5.0. Potíž této verze je, že je zpětně kompatibilní jen s verzí 4.0 a novější. ¹¹

Profily standardu Bluetooth Low Energy (zkr. BLE) jsou od profilů klasického standardu Bluetooth odlišné a jsou založeny na profilu Generic Attribute Profile (GATT). GATT zahrnuje skupiny služeb, atributy, deklaráce a popisy zařízení. V profilu GAP – Generic Access Profile je definován přehled zařízení, spojení a vazeb. Tímto způsobem jsou vytvořeny základní služby a profily jako profily pro hodiny, měření stavu baterie, I/O moduly, zařízení pro automatizaci v budovách (snímače teploty, termostaty, snímače vlhkosti, ovladače osvětlení, vypínače, stmívače atd.), zařízení pro dálkové ovládání, zařízení pro tělocvičné aktivity (počítadlo kroků, měřič pulzu) nebo zdravotnická zařízení (glukometry apod.). ¹²

Stejně jako klasické sítě BT, i sítě BLE využívají topologii s jedním řídicím zařízením (master) a množstvím řízených zařízení (slaves). V sítích BLE může být počet řízených jednotek velmi velký – jejich množství je omezeno jen použitou implementací a velikostí paměti řízené jednotky. Zařízení BLE však vyžívají funkci advertising, která umožňuje řízeným jednotkám sdělovat, že jsou k dispozici data na sdílení. Jednotky v okolí pomocí funkce scanning zjišťují, zda jsou to data určená pro ně. Zpráva typu advertising obsahuje měřené údaje nebo události. ¹²

4.1.2. Wi-Fi

Wi-Fi je označení pro několik standardů IEEE 802.11 popisující bezdrátovou komunikaci. Nejčastěji se využívají verze b, g, n a v poslední době i ac. Jednotlivé verze se liší dle svého pásma, maximální rychlosti a fyzickou vrstvou. Standardy b a g používají pásmo 2,4 GHz, mohou tedy interferovat např. s mikrovlnnými troubami. Standard 802.11b může pracovat s maximální rychlosti 11 Mbit/s a standard 802.11g 54 Mbit/s. ¹³

U standardu 802.11g je možné nastavit, zda bude využívat pásmo 2,4 GHz, či 5 GHz. Výhodou 5 GHz pásma je menší množství přístrojů běžících na stejné frekvenci, a tedy

i menší rušení z okolí. Oproti předchozím standardům má 802.11b/g je zde přenosová rychlost maximálně 600 Mbit/s. ^{13,14}

V poslední době nejvíce rozšířen standardy 802.11ac. Tento standard běží na 5 GHz s přenosovou rychlostí maximálně 1 Gbit/s. ^{13,14}

5. Senzory

Jak bylo naznačeno v předchozích kapitolách, pro rozhodování budou důležité výstupy několika senzorů. Většina z navrhovaných senzorů má možnost přenosu dat po BT do aplikace v telefonu s následným uložením do cloudu.

5.1. Základní použitelné

5.1.1. Glukometr

Pro základní prvotní rozdělení je nutné stanovit glukózu v krvi. Z modelů dostupných na trhu se jako nejvhodnější jeví glukometr medisana meditouch 2 connect (mmol/L) s Bluetooth, který je vidět na obrázku č. 6. Tento glukometr se vyznačuje poměrně velkou rychlostí měření (dle výrobce cca. 5 vteřin) a s možností specifikovat, zda se jedná o měření nalačno, po jídle, či 2 hodiny po měření (k tomuto účelu je v glukometru zvukové upozornění). ¹⁵



Obrázek 6: Glukometr Medisana meditouch 2 connect s Bluetooth¹⁵

Naměřená data jsou přes Bluetooth zaslána a synchronizována s aplikací VitaDock+ ve smartphonu, která je současně nahraje na webové uložení.

5.1.2. Váhy s bioimpedancí

Pro realizaci doplňkového rozhodování je potřeba použití vah s bioimpedancí. Z nabídky byla vybrána váha opět od firmy Medisana. Konkrétně se jednalo o váhu model BS 444 s Bluetooth (obrázek č. 7). Váha umožňuje měřit data až pro 8 osob. Před prvním použitím osobou, jež není ještě v paměti, je nutné do váhy pomocí tlačítek pod displejem nastavit číslo pod kterým bude v paměti evidována a dále zadat svůj věk a výšku pro následné výpočty. Váha po zvážení a případném upřesnění osoby, znázorňuje krom hmotnosti, procento tělesného tuku, vody v těle, svalové hmoty, hmotnost kostí, BMR (Bazální metabolismus) a BMI. Současně dochází stejně jako u glukometru k současné synchronizaci dat s mobilní aplikací a webovým uložištěm. ¹⁶



Obrázek 7: Váha medisana BA 444 s Bluetooth¹⁶

Dle studií se množství svalové hmoty v průběhu diabetes a prediabetes zásadně neliší.

Problém s tabulkou na BMI, některé zdroje a studie berou do 25 ideální váhu, někdy do 28 (berou částečně i nadváhu do ideální oblasti), další problém BMI že nebere v potaz rozložení hmotnosti mezi tkáně -> sportovci mohou padat mezi obézní lidi, poslední dobou nahrazovaná hlavně poměrem boku a pasu, ale pro automatické hodnocení je BMI stále hojně využívána.

5.1.3. Senzor aktivity

Jako senzor aktivity je možné použít přímo samotný telefon, který disponuje akcelerometrem, ten už je dnes ale standardem, a vhodnou aplikaci (Samsung Health, Google Fit apod.). Druhou variantou může být externí senzor buď v podobě náramku, nebo častěji v podobě chytrých hodinek. V podobě hodinek/náramku je měření oproti samotnému telefonu přesnější, jelikož telefon při umístění do tašky, či na měně se pohybující část těla (např. náprsní kapsa obleku), nemusí zaznamenat veškerou aktivitu.

Senzorů aktivity v podobě hodinek/náramku je na trhu hned několik modelů, a proto bylo i složité nalézt vhodnou volbu. Nejlépe v porovnání vyšly hodinky Samsung Galaxy Watch z důvodu možnosti propojení se s aplikací Samsung Health. Pro případ napojení systému chytré domácnosti na OS iOS se pochopitelně jeví jako lepší varianta Apple Watch pro shodnost systému. Vybrané hodinky jsou mimo počítání kroků schopné měřit právě i čas jakékoliv další sportovní aktivity (např. lyžování, fitness, cyklistika apod.), stejně tak jsou i schopné měřit kvalitu spánku, či tep.

Doporučené minimum aktivity dle AHA a ACSM je u střední aktivity aspoň 30 min 5x týdně, pro intenzivní postačí 20 min 3x týdně. Dle Healthy People stačí i 30 min chůze 5x týdně. Intenzivní aktivity zahrnují jogging, aerobic, plavání apod., střední aktivita odpovídá aktivitám typu tanec, zahrádkaření apod.¹⁷

5.2. Aplikace

Jak již bylo zmíněno předtím, jako hlavní aplikace je možné uvést VitaDock+ (slouží pro výrobky od firmy Medisana) a Samsung Health, které slouží současně pro komunikaci se senzorem a synchronizací dat s webovým cloudem. Zatímco VitaDock+ má možnost zobrazovat data i online na PC, Samsung Health tuto možnost nemá a prohlížení dat je možné pouze na mobilním zařízení, či tabletu. Výhodou Samsung Health je neomezenost aplikace jen na jednoho výrobce, nýbrž podporuje několik různých výrobců hlavně náramků/hodinek.

6. Praktická část

6.1. Konektivita senzorů se systémem

Pro možnost připojení senzorů se nabízejí dvě základní možnosti. Jenu je možnost propojit senzor přímo do aplikace k vyhodnocení. Druhou je využití cloudového uložiště, jimiž výrobci chytrých senzorů disponují a dávají tak možnost sledovat vývoj např. váhy bez nutnosti manuálního zapisování dat.

6.1.1. Bluetooth

Připojení přes Bluetooth je nejjednodušší formou komunikace mezi zařízením a senzorem. V dnešní době k tomuto nejčastěji používají tzv. Bluetooth Low Energy (zkráceně Bluetooth LE, či jen BLE). Tento typ je součástí specifikace Bluetooth 4.0. Hlavní výhodou je energy managment, kdy senzor může používat baterie s nižší kapacitou a běžet na ně i roky a současně je možné připojit více senzorů v jeden čas.

Samotné propojení v případě Windows je prováděno na službě GATT, která specifikuje postupy ohledně přenosu dat, konkrétně jejich označení.

Výhoda přenosu jen přes Bluetooth jak je znázorněn na obrázku č. 8, že v případě správného nastavení je možné ukládat hodnoty do jednoho místa, či jednoho souboru a následně načtení pro zpracování. Hlavní nevýhodou je nutnost autorizovat každé zařízení zvlášť, nastavení formátu dat apod.



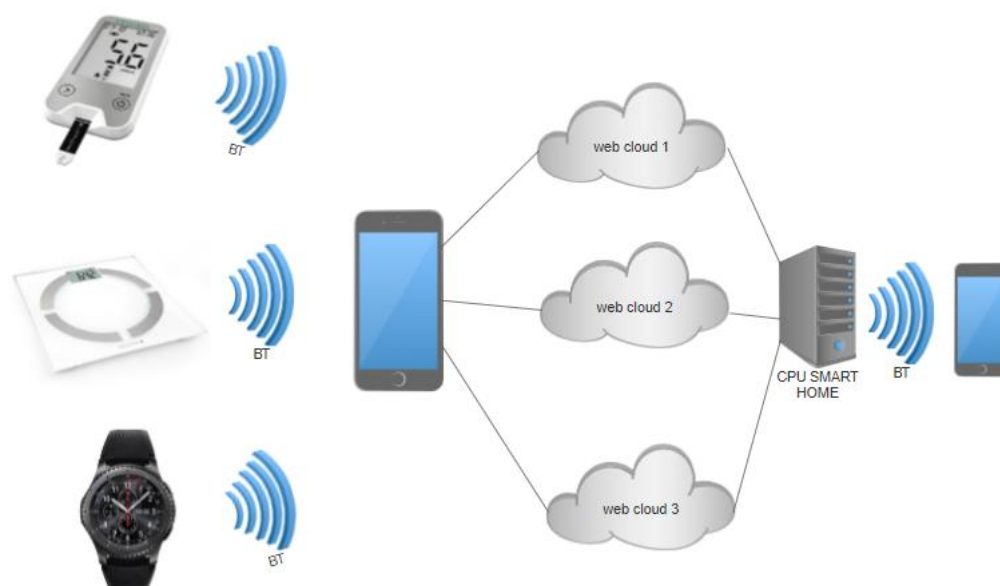
Obrázek 8: Grafické znázornění propojení jen na základě Bluetooth.

6.1.2. Cloudové úložiště

Cloudové úložiště se jeví jako vhodná volba pro export dat. Jeho hlavní výhoda spočívá v úspoře na domácím úložišti, jelikož data se neukládají na náš disk, ale na úložiště obvykle výrobce senzoru, odkud je možné následně data vyexportovat. Současně jsou data dostupná pro více zařízení najednou, či je možné měření provádět i mimo domov (např. měření cukru v krvi před a po jídle v práci). Protože jsou tato úložiště přístupná jen pod heslem a uživatelským jménem je pro ně složitější provést integraci do kódu a je potřeba je připojit přes web API.

6.1.3. Bluetooth + Cloudové úložiště

Jako uživatelsky nejjednodušší varianta je možnost propojení pro přenos dat jak přes Bluetooth, tak i přes web cloud současně jak je znázorněno na obrázku č. 9. V této formě je však nutné definovat jaký senzor bude brát data odkud a v případě, že u některého se nastaví jako zdroje obě možnosti, tak provést i který zdroj bude hlavní a který záložní. Spojení obou metod je vhodné například při cestě na dovolenou, kdy i přesto, že pacient nemá možnost být monitorován v domácím prostředí, chce zachovat nějakou možnost kontroly.






Obrázek 9: Grafické znázornění kombinovaného přenosu BT a web cloud

6.2. Korelace hodnot

Vůči diabetu existuje mnoho studií, jenž dokazují, jak se nemoc odráží na fyzických parametrech postiženého. V této práci vycházím hlavně ze studií denní fyzické aktivity vůči diabetu od Hidetaka Hamasaki, kde se sledoval vztah aktivity vůči diabetu mellitus.¹⁸ Další využitou studií byla souvislost mezi hypertenzí a dyslipidemií u diabetiků od HE Bayse.

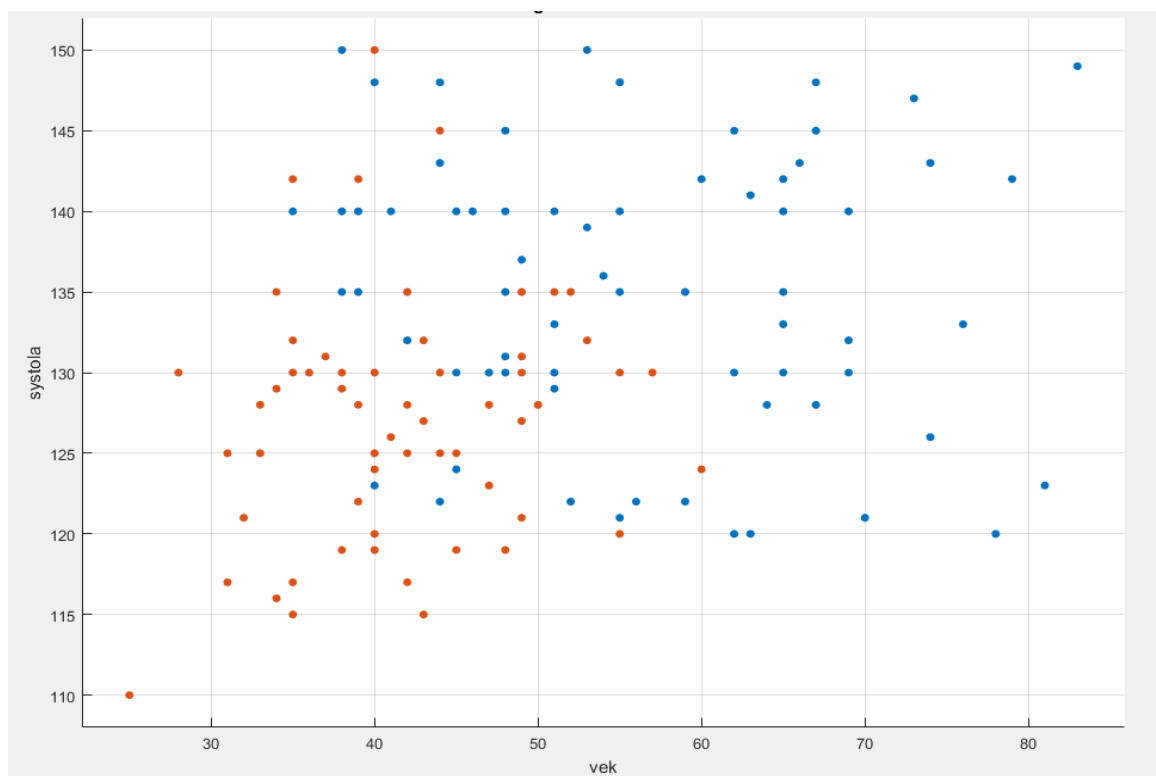
Na závěr byly využity poznatky ze studie Gurushankara Govindarajana, vydané v časopise ECR (European cardiac review). Dle této studie se odhaduje, že 25-47% trpící inzulinovou rezistencí, či zhoršenou glukozovou tolerancí mají současně i zvýšený krevní tlak. Neléčení pacienti s esenciální hypertenzí mají následně vyšší hladinu inzulinu na lačno než normotenzní osoby.²⁰ Stejně tak postupem věku dochází i ke zvýšení hranice pro normotenzi. Dle obrázku 10 z Health freedom alliance je normotenze v produktivním věku přibližně známých 120/80, zatímco po 60. roce již je normotenze udávána jako 134/87. V tabulce na obrázku č. 10 jsou dále uvedené i hodnoty pro minimální a maximální hranice tlaku. Hodnoty pod minimální hranicí jsou hodnoty hypotenzní a nad hranicí maxima jsou hypertenzní. Právě hypertenze, jak bylo výše zmíněno, je jedna z nejčastějších komplikací prediabetu a diabetu.

	Age	Min	Normal	Max
	1 to 12 months	75 / 50	90 / 60	100 / 75
	1 to 5 years	80 / 55	95 / 65	110 / 79
	6 to 13 years	90 / 60	105 / 70	115 / 80
	14 to 19 years	105 / 73	117 / 77	120 / 81
	20 to 24 years	108 / 75	120 / 79	132 / 83
	25 to 29 years	109 / 76	121 / 80	133 / 84
	30 to 34 years	110 / 77	122 / 81	134 / 85
	35 to 39 years	111 / 78	123 / 82	135 / 86
	40 to 44 years	112 / 79	125 / 83	137 / 87
	45 to 49 years	115 / 80	127 / 84	139 / 88
	50 to 54 years	116 / 81	129 / 85	142 / 89
	55 to 59 years	118 / 82	131 / 86	144 / 90
	60 to 64 years	121 / 83	134 / 87	147 / 91

Obrázek 10: Změny tlaku v závislosti na věku²⁸

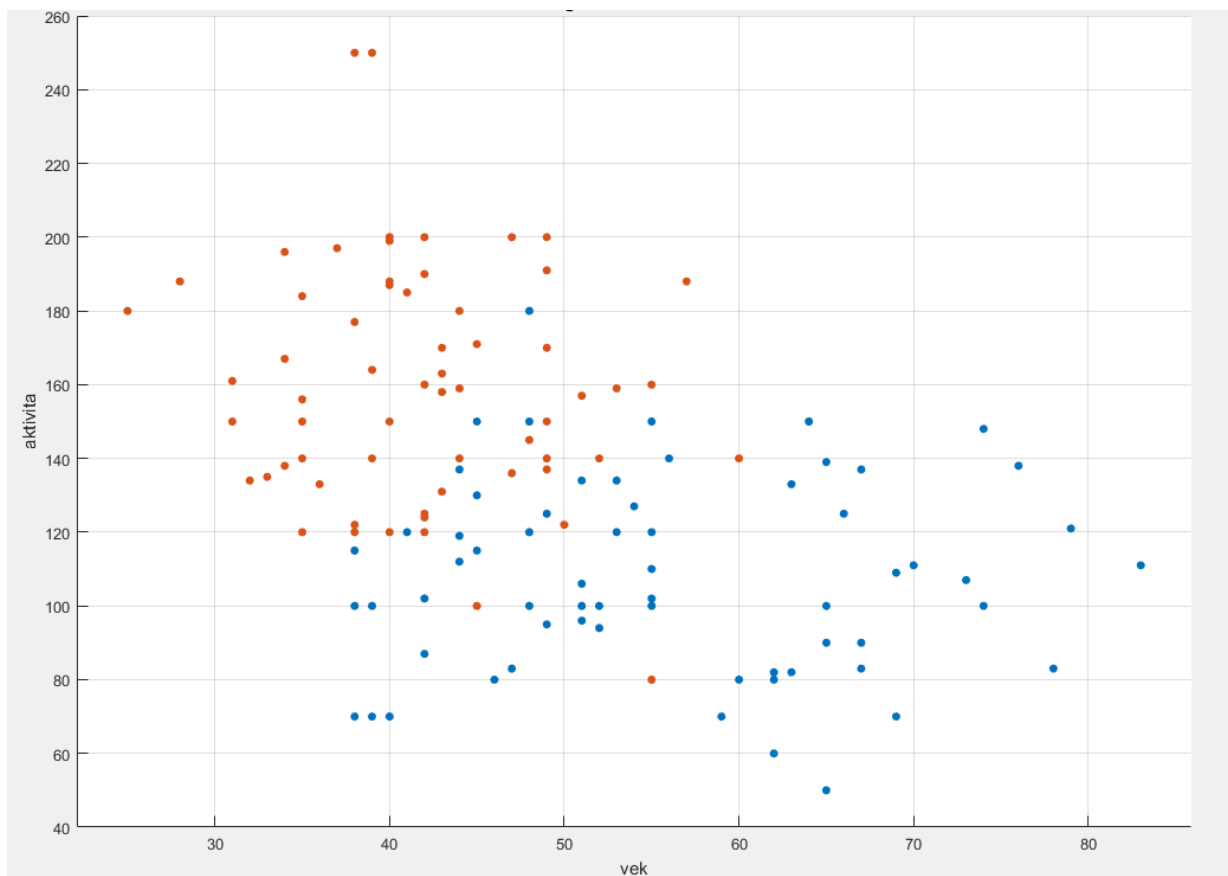
Pomocí SW MATLAB byl vytvořen graf na obrázku č. 11, kde je znázorněno rozložení dat pro osoby s diabetem (modré tečky) a prediabetem (oranžové tečky). Jak je vidět, osoby

ve věku mladším 50 let spolu se systolickým tlakem pod 130 mmHg nacházejí v oblasti prediabetu. Je však i vidět, že systolický tlak nebude jednoznačně určující pro podchycení diabetu. Mezi daty osob, jež byly k dispozici, jsou někteří diabetici jejichž tlak se nachází v oblasti normotenze, někteří jsou i na hranici hypotenze.



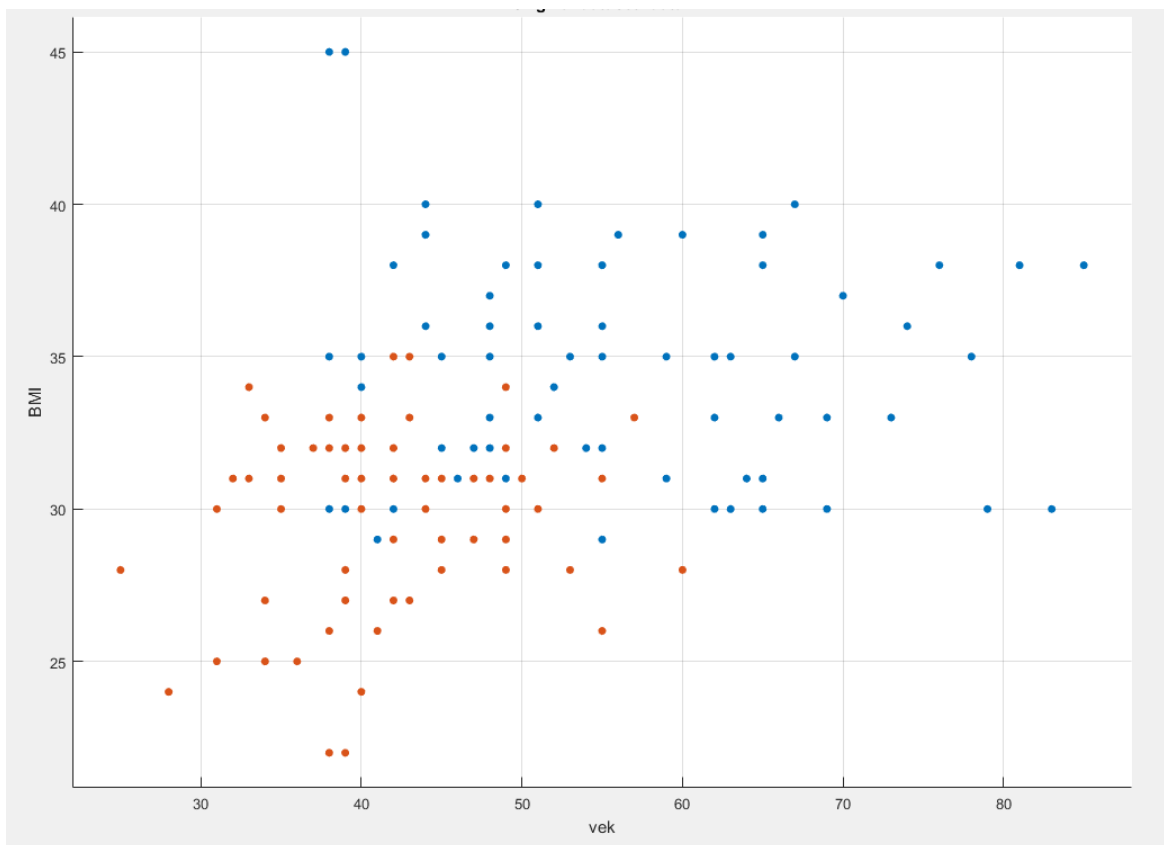
Obrázek 11: Vztah systolického tlaku vůči věku

Dalším z faktorů snižující pravděpodobnost projevu diabetu je váha, resp. aktivita nemocného. Dle několika studií, např. Shari S. Bassuk či Xiaochen Lin zabývající se fyzickou aktivitou vůči kardiovaskulárním nemocem a diabetu, vyplývá, že pro snížení pravděpodobnosti o 30 % - 50 % postačí 30 minut aerobního cvičení 5x týdně (cca 150min cvičení za týden).^{21,22} Ze získaných dat bylo provedeno znázornění opět ke vztahu k věku. Na obrázku č. 12 můžeme pozorovat, že většina prediabetických pacientů má aktivitu vyšší jak 120 min za týden. Současně se potvrzuje, že postupem věku se aktivita pacientů snižuje. Přičemž největší zlom je v okolí 50 roku stáří. Oproti pacientům se stáří 45-49let, kde se max. hodnota aktivity pohybuje okolo 200 min., tak v případě ve věku 50+ dojde k propadu na přibližně 160 min. Dále je z grafu vidět potvrzení výsledků výše zmíněných studií, kdy i v nižším věku nedostatek pohybu může stát jako podpora diagnózy pro diabetes.



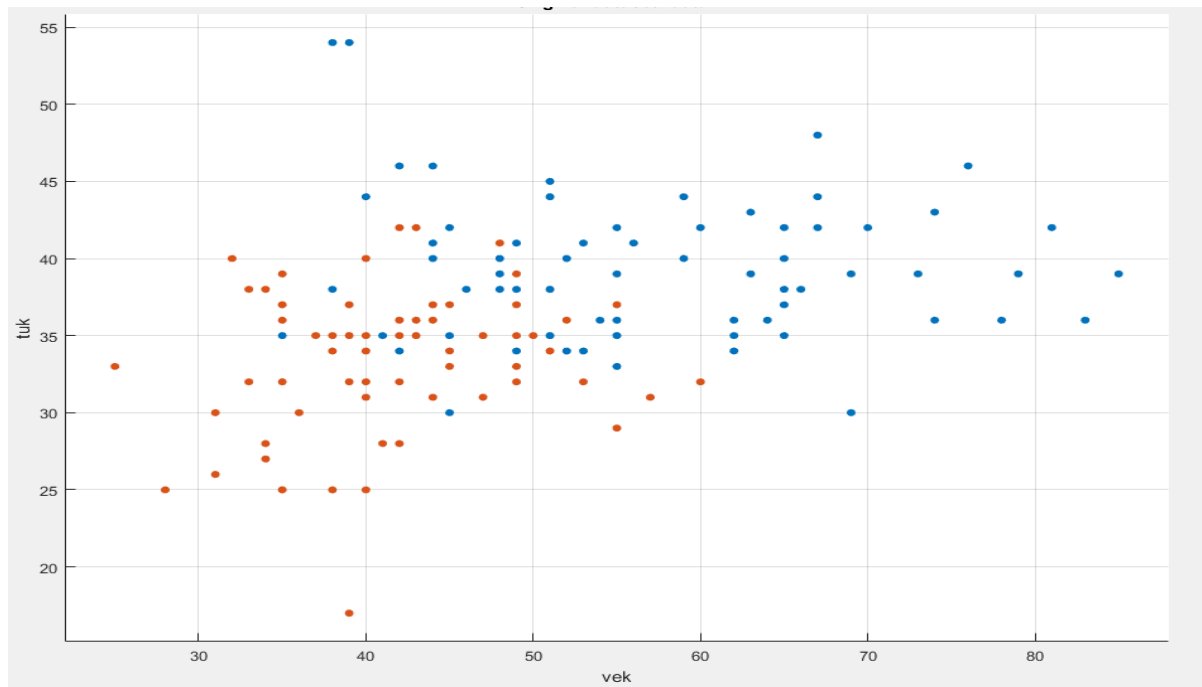
Obrázek 12: Vztah mezi aktivitou a věkem (oranžová prediabetici, modrá diabetici)

Stejně jako vztah mezi aktivitou a věkem je možno takto vykreslit namísto aktivity hodnotu BMI. Jak je vidět na obrázku č. 13 reflektuje vztah BMI vůči věku předchozímu případu věk a aktivita. Tedy aktivnější osoby mají nižší hodnotu BMI. Je zde vidět ostřejší hranice, avšak oproti aktivitě má hodnota BMI jednu negativní vlastnost a tím je, že nerozděluje typy tkání, ale vychází jen z hmotnosti celé tělesné soustavy, a tedy je zde větší promíšení osob diabetických s prediabetickými.



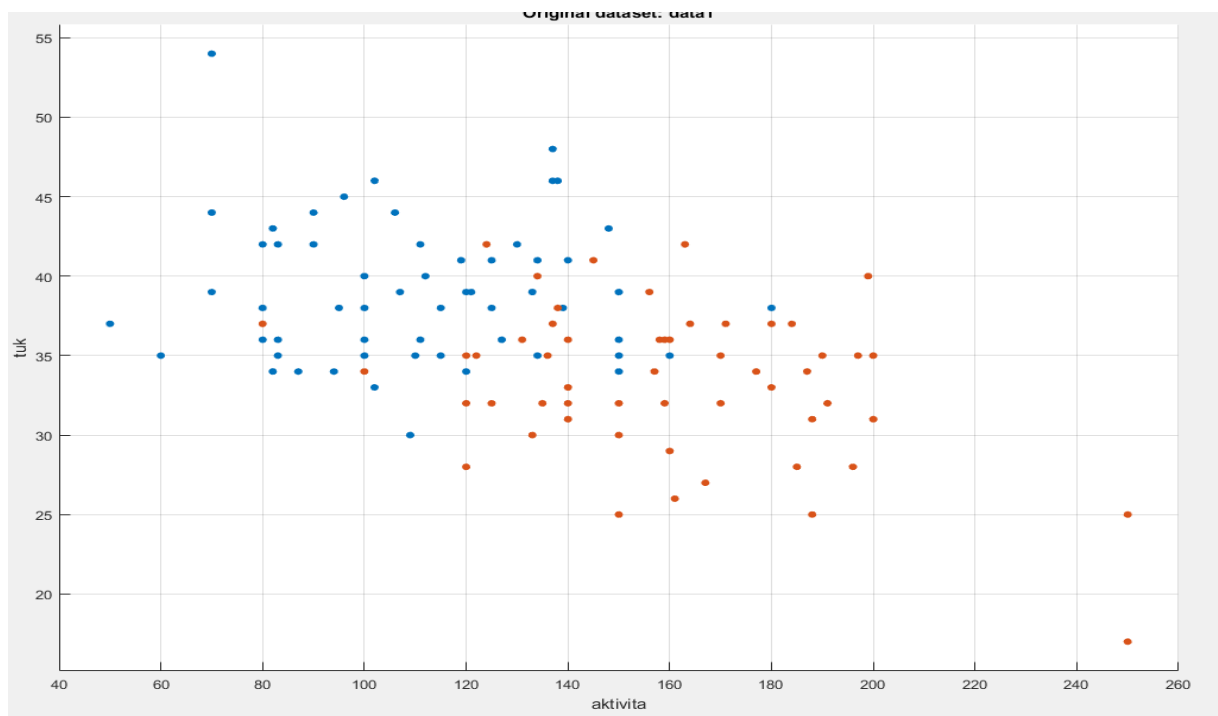
Obrázek 13: Vztah mezi věkem a BMI

Lepším parametrem, než je BMI, jsou poměr boků a pasu, což je v automatické domácnosti složitější na začlení, resp. nevyhne se zde manuálnímu zadání hodnot, a druhou je procentuální zastoupení tuku v těle, což za využití bioimpedančních vah je možné naměřit. Na obrázku č. 14 jsou vyneseny hodnoty tuku vůči věku a na obrázku 15 navzájem aktivita vůči procentům tuku. V případě tuk a věk, se můžeme přesvědčit, že tuk není úplně ideálním pro samostatné určení, avšak prediabetici zde korespondují s aktivitou, kdy aktivnější, resp. mladší osoby myjí nižší procentuální zastoupení tuku oproti starším osobám. Zvýšené množství tuku však souvisí i s metabolickými změnami po 50 roce života.



Obrázek 14: Vztah mezi věkem a tukem

Více směrodatný však je pohled na obrázek č. 15, kde se nachází graf aktivity vůči tuku. Zde dochází k potvrzení výše zmíněným studiím. Aktivnější osoby opravdu mají mnohem častěji nižší zastoupení tuku v těle, a jsou mezi ně spíše zařazeni jen prediabetici.



Obrázek 15: Vztah mezi tukem a aktivitou

6.3. Aplikace systému

6.3.1. Kritéria

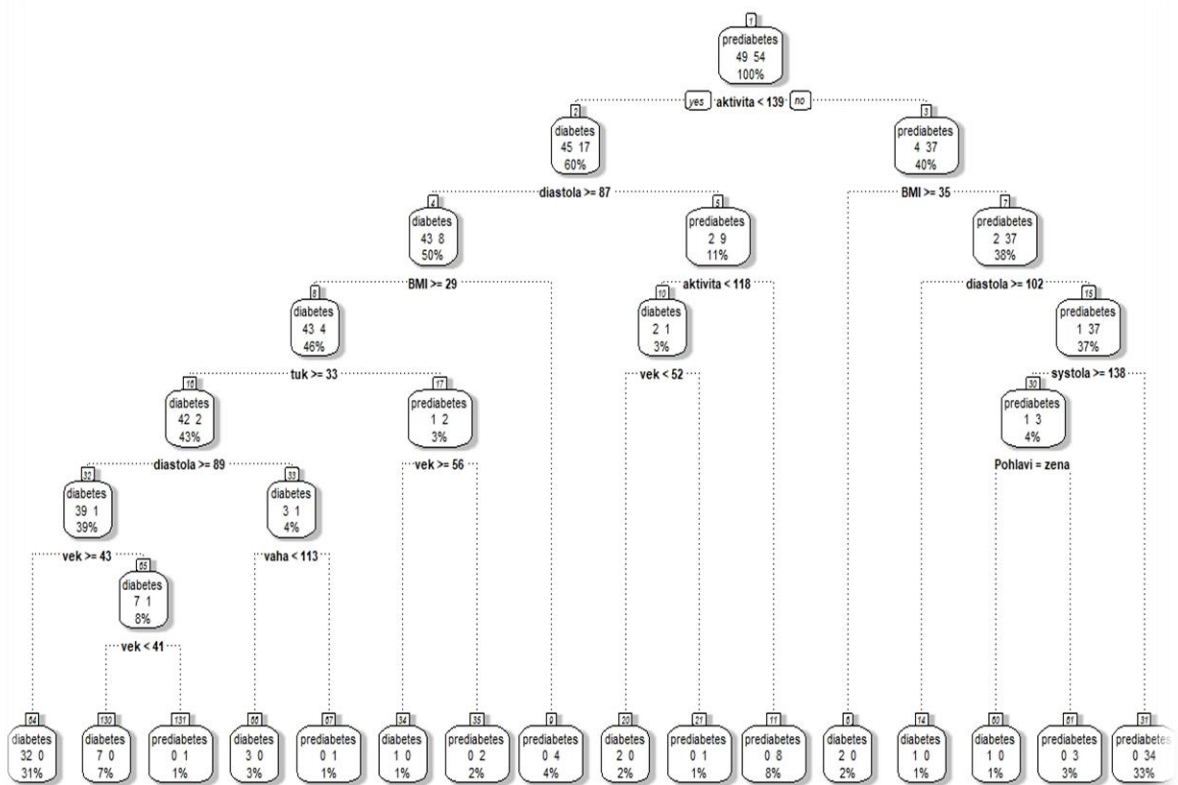
Hlavní dvě kritéria byla spolehlivost a co nejnižší stav, kdy pacient s diabetem bude klasifikován jako prediabetický, tedy stav tzv. falešně negativní. Dalšími kritérii byla i snadná implementovatelnost do následného kódu.

6.3.2. Rozhodovací algoritmus

Jako rozhodovací algoritmus byla z řady možností vybrána varianta rozhodovacího stromu, a to hlavně díky svojí jednoduché interpretovatelnosti a nízké náročnosti na systém.

Pro jeho vypracování bylo získáno 608 anonymních dat. Z těchto dat byly odstraněny záznamy, které obsahovaly pouze naměřený cukr v krvi, či jen jeden z měřených 8 parametrů. Z tohoto celku zůstalo 152 údajů, jenž obsahovaly většinu hodnot. Sledovanými veličinami byly věk, pohlaví, BMI, váha, procentuální zastoupení tuku v těle, přibližná aktivita za týden v minutách, systolický a diastolický tlak.

Tato data byla následně rozdělena na data trénovací a testovací v poměru 7:3, tedy 105 dat sloužilo pro natrénování stromu a zbylých 47 dat bylo použito pro jeho testování. K vytvoření návrhů rozhodovacího stromu byl využit SW Rstudio pro svoji grafickou názornost výsledného stromu.



Obrázek 16: Vybraný výsledný rozhodovací strom

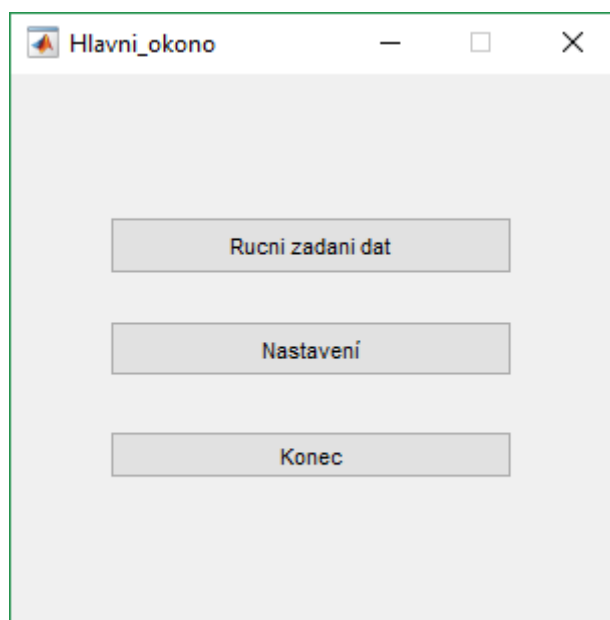
Na obrázku č. 16 je vložen návrh vybraného rozhodovacího stromu jehož výsledky jsou v tabulce 1 pod číslem 2 spolu s výsledky dalších návrhů stromů z programu Rstudio. Jak je vidět ve všech stromech byl jako hlavní rozhodovací parametr vybírán jako nejčastější rozhodovací atribut tuk, BMI a systola. To odpovídá i datům zjištěným výše. Naopak nejméně zastoupeným atributem bylo pohlaví.

Tabulka 1: Tabulka navrhovaných stromů s výsledky na testovacích datech

číslo stromu	TN	FN	FP	TP	Přesnost [%]	Senzitivita [%]	Specificita [%]	Příznaky, na kterých rozhodnutí stojí
1	12	1	4	23	89	85	94	tuk, BMI, systola, diastola, vek, aktivita, váha, tuk
2	25	1	4	15	89	79	96	tuk, BMI, systola, diastola, vek, aktivita, váha, tuk, pohlaví
3	17	1	3	24	91	89	94	tuk, BMI, systola, diastola, vek, aktivita, váha, tuk
4	22	0	5	18	89	78	100	tuk, BMI, diastola, vek, aktivita, váha, pohlaví
5	18	1	5	21	87	80	94	tuk, BMI, systola, diastola, aktivita, pohlaví

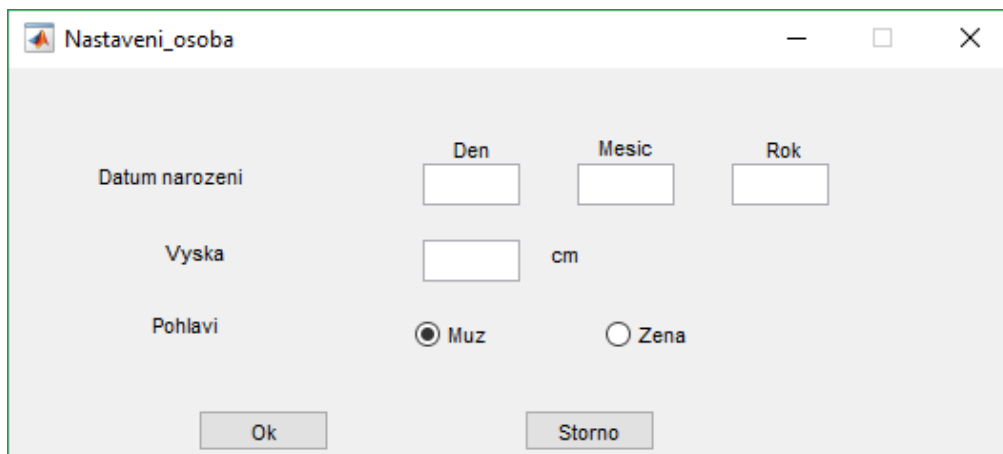
6.3.3. Grafické prostředí

Pro implementaci stromu a nastavení pevných parametrů jako jsou věk, pohlaví či výška bylo vytvořeno grafické prostředí v programu MATLAB. Toto prostředí je možné využít i k manuální synchronizaci dat, případně úpravy nastavení osoby. Dále přes nastavení je možná i konfigurace senzorů. Na obrázku č. 17 je zobrazena design hlavního okna jež se skládá ze tří částí. Po spuštění možnosti Ruční zadání dat vyskočí nové okno pro zadání dat na jejichž základě dojde k vyhodnocení.



Obrázek 17: Grafická podoba hlavního okna

Další položka je Nastavení. Zde se nachází nastavení senzorů a osoby. Pod položkou nastavení osoby (viz. obrázek č. 18) je možné zadat neměnná data. Jak bylo zmíněno výše, jedná se o výšku, pohlaví a datum narození (systém pro kontrolu vypíše aktuální věk).

The image shows a graphical user interface window titled "Nastaveni_osoba". It contains three rows of input fields. The first row is for the birth date ("Datum narozeni"), with three separate boxes for "Den" (Day), "Mesic" (Month), and "Rok" (Year). The second row is for height ("Vyska"), with a single box followed by the unit "cm". The third row is for gender ("Pohlavi"), with two radio buttons: "Muz" (Male) and "Zena" (Female). At the bottom of the window, there are two buttons: "Ok" and "Storno" (Cancel).

Obrázek 18: Grafické prostředí nastavení osobních údajů

Pokud z jakéhokoliv důvodu není možné provést automatické synchronizování dat, je zde možnost využití možnosti ručního zadání dat pomocí okna na obrázku č. 19 přístupného z okna po spuštění. Zadaná data automaticky dostanou aktuální datové razítko a nevyplněné hodnoty naopak získají hodnotu NaN. Okno je stavěno jednoduše a intuitivně, avšak pokud dojde při vyplňování k nejasnostem, je zde eventualita vyvolání nápovědy, kde je vysvětleno, jaké hodnoty zadat a kde je získat. Po potvrzení dat k vyhodnocení dojde ke kontrole hodnoty cukru v krvi a následně k doplňkovému vyhodnocení dle výše znázorněného stromu. Pokud dojde k překročení hodnoty v obou aspektech objeví se okno s informací na zvýšené podezření na diabetes. Jeli podezření na diabetes jen v jedné z obou možností, bude pacientovi pomocí informačního okna sděleno, že jedno z rozhodovacích kritérií překročilo hranici diabetu. V případě, že se takovýto výsledek objevuje delší dobu, bylo by vhodné navštívit lékaře. Pokud kritéria vyjdou pod hranicí diabetu objeví se informace, že z naměřených hodnot není podezření na diabetes.

The image shows a software window titled "manual" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window contains a form for manual data entry. The form has six rows, each with a label, an input field, and a unit. The first row also includes three radio buttons. At the bottom of the window, there are three buttons: "Napoveda", "Ulož a vyhodnot", and "Storno".

Cukr v krvi	<input type="text"/>	mmol/l	<input checked="" type="radio"/> Na lačno	<input type="radio"/> Po jídle	<input type="radio"/> Po 2hod
Systola	<input type="text"/>	mmHg			
Diastola	<input type="text"/>	mmHg			
Vaha	<input type="text"/>	kg			
Aktivita za týden	<input type="text"/>	min			
Tuk	<input type="text"/>	%			

Buttons at the bottom:

Obrázek 19: Grafická podoba manuálního zadání dat ze senzorů

Jelikož je předpokládáno s nasazením u prediabetiků je systém nastaven na rozeznání jen těchto dvou stavů.

Algoritmus v prvním kroku řeší hodnotu cukru. Na základě vybraného typu cukru vyhodnotí cukr v krvi. Za předpokladu, že hodnota bude zvýšená, bude výstupem 1 jako kladný stav. Následně bude provedena kontrola stavu dle stromu. Pokud bude i zde dotyčné měření zapadat mezi skupinu diabetes dostane opět na výstupu příznak 1. V případě, že jsou výsledky negativní dostane příznak stavu přidělenou 0.

7. Vize do budoucna

7.1. Možné další použitelné senzory

Mezi hlavní senzory jež jsou nyní na trhu s nejvyšší mírou využitelnosti se určitě řadí senzory pro kontinuální měření cukru v krvi (zkráceně CGM z angl. continual glucose monitor). Tyto senzory snímají cukr v krvi z podkoží a provádějí synchronizaci s aplikací ve smartphonu např. G5 mobile CGM od firmy Dexcom (viděn na obrázku š. 20).²³ Aplikace na základě naměřených dat vykresluje křivku vývoje cukru v krvi v čase. Na základě několika denního sledování je pak možné provést naučení se typického projevu křivky a sledovat její odchylky od normálního stavu.



Obrázek 20: Senzor pro kontinuální záznam cukru v krvi²³

Tato invazivní metoda by se dala v budoucnu nahradit i neinvazivní metodou kontinuálního senzoru. Konkrétně se jedná o měření na elektrochemickém principu. S tímto senzorem se od roku 2013 zabývaly firmy Google a Novartis (vývoj pozastaven v roce 2018), jenž se snažili vytvořit senzor v podobě kontaktní čočky (viz. obrázek č. 21). Čočka měla snímat množství glukózy v slzách a přenášet data do smartphonu. Samotná čočka se měla skládat ze tří částí. Vrchní a spodní část odpovídala klasické kontaktní čočce z polopropustného materiálu, střední vrstva obsahovala krom samotného senzoru i anténu, kontrolér a kapacitor. Dle výrobce Novartis by neměl pacient poznat, že má aplikovanou takovou čočku, jelikož anténa měla být umístěna mimo zorné pole.



Obrázek 21: Kontaktní čočka pro měření glukózy v slzách²⁹

Na základě kontinuálního sledování cukru je možné do budoucna přidat do systému i chytré dávkovače inzulínu, kdy na základě naměřené hodnoty cukru v krvi dojde k úpravě doporučené dodávané dávky. V případě inzulínových pump by mohlo dojít i k dočasnému pozastavení dodávek. U inzulínových pump je zde i ovšem bezpečnostní problém s možností napadení pumpy a zastavení dodávek, či naopak vyslání bolusu do těla a tím ohrozit život pacienta hypo-, či hyperglykemií.

Dalším sledovaným parametrem by mohlo být sledování spánku, kdy u diabetiků dochází ke zhoršení kvality. K tomuto je možné použít vhodné hodinky (např. v práci zmíněné Samsung Galaxy Watch), či specializované aplikace do telefonu (např. Sleep as Android). Nevýhodou aplikací však bývají horší výsledky. Dle výsledků publikovaných v časopise Diabetes Care měli diabetici s poruchami spánku až o 82% vyšší inzulínovou rezistenci, nežli diabetici bez poruch spánku.²⁴ Jako porucha spánku se nejčastěji objevoval stav spánkové apnoe.

V neposlední řadě je vhodné se také zaměřit na měření cholesterolu, jelikož u diabetiků dochází často k tzv. diabetické dyslipidémii, která je charakterizována snížením HDL cholesterolu.

7.2. Sledování životosprávy

Pro diabetické pacienty je nutné taktéž sledování jejich životosprávy hlavně z důvodu redukce váhy. Na trhu je již nyní několik možností, jak toto sledovat od aplikací pro telefony po chytré spotřebiče. Příkladem může být aplikace Sportvital-Nutrition, jenž vede množství kalorií, které osoba přijmula a na základě pohybu i kolik byl výdej. K měření výdeje krom samotného telefonu využívá možnosti komunikovat s několika druhy fit náramků a chytrých hodinek, které využívá k přesnějšímu výpočtu. Nevýhodou těchto systémů je však hlavně manuální zadávání aktivit, stravy apod.

Ne přímo pro kontrolu životosprávy, ale pro větší podvědomí ohledně vztahu inzulínu k sportu a jídlu je možné do systému zapojení edukačních materiálů. Pro děti je možná forma v podobě edukačních her. Tyto aplikace si dávají za cíl pomoci diabetikům lépe zvládat např. vaření dietnější stravy, či dostávají více do podvědomí i vhodnost, či nevhodnost jimi vybraných potravin.

8. Diskuze

Hlavním cílem práce bylo seznámit se se senzory vhodné pro monitoraci stavu osob s prediabetem a následně navrhnou algoritmus pro včasné upozornění pacienta na zvýšenou pravděpodobnost zhoršení stavu, resp. přechodu do stavu diabetes mellitus. Takto včasné podchycení může snížit rychlost následných projevů nemoci a současně tím i zvýšit kvalitu života pacientů.

Diabetes mellitus je závažné chronické onemocnění, které dnes postihuje cca 425 milionů dospělých osob na planetě. Z toho přibližně 900 tisíc diabetiků je v ČR. Nejvíce postižených je z rozvinutých zemí. Druhý faktor, jenž toto číslo zvyšuje je i prodloužení průměrné doby života. Studie z roku 2016 uvádí, že pokud bude tento trend stále pokračovat, do roku 2025 překročí počet dospělých s diabetem hranici 700 milionů.²⁵

Jelikož toto onemocnění nebolí, jsou často poruchy s cukrem v krvi objeveny jen náhodou jako součást preventivního nebo jiného vyšetření. Po zjištění jsou osoby v diabetickém stavu dle závažnosti buď hned odkázány na injektování si inzulínu, či jsou jen na farmakologické léčbě. Osoby s prediabetem jsou obvykle jen pod větším dozorem lékaře a jejím doporučen zdravější způsob života, což se týká hlavně zvýšení tělesné aktivity a současně důslednější kontroly životosprávy. Jelikož neexistuje doporučení o evidenci dat typu doba aktivity, či procentuální zastoupení tuku záleží jen na lékaři, zda od pacienta danou informaci získá, a to je i problémem z oblasti získání dat.

Touto problematikou je neúplnost dat, jelikož parametry hlavně tedy výše zmíněna aktivita v posledním týdnu, nepatří mezi obvykle evidovaná data. Dalším často neuvažovaným parametrem je zastoupení tuku v těle. V dnešní době se stále bere pro svou jednoduchost BMI, které však nebere ohled na zastoupení ostatních tkání. Tedy následně osoby svalnatější postavy mohou mít stejný index jako osoby, jako osoba, která má naopak tuto hmotnost v tuku a už opticky je vidět její větší tloušťka. Vzhledem k této neúplnosti dat tedy došlo k odstranění většiny hodnot z původní sady 608 dat a pro konečnou práci jich bylo vhodné pouze 152, což odpovídalo přibližně 24% původní sady. Tento výsledný počet dat se však ukázal jako dostačující pro vytvoření rozhodujícího stromu, který byl vybrán pro svou jednoduchou názornost. Algoritmus vykazoval poměrně nízké číslo osob s falešně negativní prognózou, což bylo jedním z požadavků.

Takto získaný algoritmus byl implementován do aplikace vytvořené v prostředí MATLAB. Pro možnost testování byla do aplikace zařazena i možnost vložení dat manuální cestou. Ta byla využita při testování konečného řešení na osobách. Z 18 testovaných osob, které poskytly svá data pomocí dotazníku, mělo 8 z nich diagnostikované DM2T. Ostatní osoby laboratorními testy neprošly a nebylo tedy možné přesně říci, zda trpí DM2T, prediabetem, či netrpí ani jednou z variant. Dle algoritmu byly testované osoby rozděleny na 8 diabetiků a 10 prediabetiků, resp. nediabetiků. Což by na první pohled odpovídalo původnímu šetření, ale jeden nediabetik a jeden diabetik však byli zaměněni, jak je vidět ve výsledné tabulce 2.

Tabulka 2: Tabulka naměřených dat na základě vytvořeného algoritmu

		Očekávané výsledky	
		Diabetes	Prediabetes
Reálné výsledky	Diabetes	TP = 7	FP = 1
	Prediabetes	FN = 1	TN = 9

Výsledná senzitivita tedy byla 90 % a specificita 87,5 %. Tato drobná nepřesnost je však dána dvěma faktory, a to malým počtem osob jež byly použity na testování a druhým neovlivnitelným faktorem je samotné lidské tělo, kdy ne vždy funguje stroj a za určitých podmínek může vykazovat špatné výsledky.

Závěr

Diplomová práce byla věnována problematice prediabetu a diabetu mellitu se zaměřením na monitoraci v rámci chytré domácnosti. V rámci analýzy problému byl zpracován přehled jednotlivých druhů diabetů. Bylo zjištěno, že hlavní příčinou prevalence je nezdravý způsob života.

V další části byl nastíněn způsob řešení a fungování chytrých domácností, kde hlavní zaměření bylo na způsob bezdrátové konektivity zařízení s okolními senzory.

V následující oblasti jsem se již věnoval sensorům, jež odpovídala předpokladům o použití. Na základě několika studií zabývajících se různými fyzickými projevy s diabetem mellitu byly jako vhodné vybrány chytré hodinky, glukometr, váhy s bioimpedancí a tlakoměr. Pro snadnější konektivitu byly vybírány senzory od stejné firmy.

Na základě zpracování dat byly v další části vytvořeny grafy pro potvrzení použitých studií a současně tyto grafy sloužily i jako podklad pro oprávněnost použití senzoru. Grafické výsledky potvrdily prvotní zjištění o nezdravém způsobu života, kdy aktivnější pacienti převážně v nižším věku měli diagnostikovaný prediabetes, zatímco starší a méně aktivní měli již rozvinutý DM2T.

Stejná data v dalším kroku posloužila k vytvoření rozhodovacího stromu v program Rstudio, který slouží v chytré domácnosti k podpoře tvrzení o manifestaci DM2T. Jako hlavní a dnes nejpoužívanější faktor, dle kterého se stav obou onemocnění projevuje, je krevní cukr. Tento strom by měl fungovat, že v případě, kdy bude zvýšen jak cukr, tak i z tohoto stromu vyjde jako výsledek podezření na rozvinutý DM2T, mělo by být pacientovi důrazněji doporučeno, pokud se výsledek opakuje delší dobu, zajít si na odborné vyšetření.

Na závěr bylo vytvořeno v SW MATLAB grafické prostředí pro manuální zadání dat a jejich vyhodnocení. V tomto systému bylo provedeno i otestování, kdy byla získána data 18 osob. Systém se spletl ve 2 případech, kdy prohodil osobu s diabetem s osobou zdravou a naopak.

Tato práce tedy přináší návrh algoritmu na řešení včasného zachycení manifestace DM2T, což by mělo mít velký přínos pro včasný začátek léčby a zvýšení kvality života do budoucna, tak i snížení či zamezení následných komplikací, kde tím jedním z horších případů je diabetická neuropatie, která může skončit i amputací nohy.

Zdroje

- [1] FRIEDECKÝ, Bedřich, Tomáš ZIMA, Josef KRATOCHVÍLA a Drahomíra SPRINGER. Diabetes mellitus - laboratorní diagnostika a sledování stavu pacientů. *Česká společnost klinické biochemie* [online]. Praha: Lexis, 2015. Dostupné z: http://www.cskb.cz/res/file/doporuceni/DM_dop_ver_2012-20150218.pdf
- [2] Pre-diabetes. *Diabetes Australia* [online]. Sydney, c2015 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.diabetesaustralia.com.au/pre-diabetes>
- [3] GROSSMANOVÁ, Olga. Laboratorních vyšetření v diabetologii. *Interní propedeutika.cz* [online]. Praha: Interní propedeutika.cz, c2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://new.propedeutika.cz/?p=469>
- [4] SZABÓ, Marcela. Hypoglykémie – její prevence a léčba. *Medical tribune* [online]. 2012, 8(10), A6 [cit. 2019-05-22]. ISSN 1214-8911. Dostupné z: <https://www.tribune.cz/clanek/26734-hypoglykemie-jeji-prevence-a-lecba>
- [5] E-klinická biochemie. *Lékařská fakulta v Plzni | Univerzita Karlova* [online]. Plzeň: Karolinum [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://elius.lfp.cuni.cz/ebio/KlinickaBiochemieCZ.pdf>
- [6] PELIKÁNOVÁ, Terezie a Vladimír BARTOŠ. *Praktická diabetologie*. 5., aktualiz. vyd. Praha: Maxdorf, c2011. Jessenius. ISBN 978-80-7345-244-5.
- [7] JAN, Stříteský. *Patologie*. 1. Olomouc: Epava, 2001. ISBN 978-80-86297-06-4.

- [8] ZAHRADNICKÁ, Martina, Peter GIRMAN, Jan KŘÍŽ a Zuzana BERKOVÁ. Transplantace langerhansových ostrůvků v léčbě syndromu porušeného vnímání hypoglykemie. Vyhodnocení pilotního programu a porovnání s transplantací pankreatu. *Časopis českých lékařů* [online]. 2016, **155**(7), 349-356 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/311765788_TRANSPLANTACE_LANGERHANSOVYCH_OSTRUVKU_V_LECBE_SYNDROMU_PORUSENEHO_VNIMANI_HYPOGLYKEMIE_VYHODNOCENI_PILOTNIHO_PROGRAMU_A_POROVNANI_S_TRANSPLANTACI_PANKREATU
- [9] ZVOLSKÝ, Miroslav. Činnost oboru diabetologie, péče o diabetiky v roce 2013. *Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR* [online]. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2015 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.uzis.cz/rychleinformace/cinnost-oboru-diabetologie-pece;-diabetiky-roce-2013>
- [10] *Doporučený postup péče o diabetes mellitus 2. typu* [online]. Praha: Česká diabetologická společnost, 2017 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.diab.cz/dokumenty/standard_lecba_dm_typ_II.pdf
- [11] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Bluetooth* [online]. c2019 [citováno 22. 05. 2019]. Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Bluetooth&oldid=17237199>
- [12] Bluetooth Low Energy není jen nová verze standardu Bluetooth. *Automa* [online]. 2013, **18**(12), 40-43 [cit. 2019-05-23]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10907.pdf
- [13] BRADÁČ, Zdenek, FIEDLER, Petr a KAČMÁŘ, Milan. *Bezdrátové komunikace v automatizační praxi III: standard IEEE 802.11*. Automa. [Online] 2003. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/bezdratove-komunikace-v-automatizacni-praxi-iii-standard-ieee-802-11-cast-2-2003_12_29029_2650/
- [14] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Wi-Fi* [online]. c2019 [citováno 22. 05. 2019]. Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Wi-Fi&oldid=17080288>

- [15] Medisana Glukometr MediTouch 2 Connect (mmol/l) s bluetooth 79046. *Moje-Medisana.cz - internetový obchod Medisana* [online]. Panenský Týnec: Medisana [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.moje-medisana.cz/image/data/medisana/glukometry/glukometr-medisana-meditouch-2-connect-mmoll-s-bluetooth-79046.pdf>
- [16] Medisana Glukometr MediTouch 2 Connect (mmol/l) s bluetooth 79046. *Moje-Medisana.cz - internetový obchod Medisana* [online]. Panenský Týnec: Medisana, c2016 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.moje-medisana.cz/zdravi/osobni-vahy/analyza-tela/osobni-vaha-medisana-40444-bs-444-bluetooth>
- [17] Základy ekonomie, managementu a marketingu. *Informační systém* [online]. Brno: Muni Press, 2009 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1451/jaro2009/bk009/8273060/DoporuceniProPADospelychASenioru.pdf>
- [18] HAMASAKI, Hidetaka. Daily physical activity and type 2 diabetes: A review. *World Journal of Diabetes* [online]. 2016, **7**(12) [cit. 2019-05-23]. DOI: 10.4239/wjd.v7.i12.243. ISSN 1948-9358. Dostupné z: <http://www.wjgnet.com/1948-9358/full/v7/i12/243.htm>
- [19] BAYS, H. E., R. H. CHAPMAN a S. GRANDY. The relationship of body mass index to diabetes mellitus, hypertension and dyslipidaemia: comparison of data from two national surveys. *International Journal of Clinical Practice* [online]. 2007, **61**(5), 737-747 [cit. 2019-05-23]. DOI: 10.1111/j.1742-1241.2007.01336.x. ISSN 13685031. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1742-1241.2007.01336.x>
- [20] GOVINDARAJAN, Gurushankar, James R SOWERS a Craig S STUMP. Hypertension and Diabetes Mellitus: A review. *European Cardiology Review* [online]. 2006, **2**(1) [cit. 2019-05-23]. DOI: 10.15420/ECR.2006.1.1a. ISSN 1758-3756. Dostupné z: <https://www.ecrjournal.com/articles/hypertension-and-diabetes-mellitus-0>

- [21] LIN, Xiaochen, Xi ZHANG, Jianjun GUO a Christian K. ROBERTS. Effects of Exercise Training on Cardiorespiratory Fitness and Biomarkers of Cardiometabolic Health: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of the American Heart Association* [online]. 2015, **4**(7), 737-747 [cit. 2019-05-23]. DOI: 10.1161/JAHA.115.002014. ISSN 2047-9980. Dostupné z: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/JAHA.115.002014>
- [22] BASSUK, Shari S., JoAnn E. MANSON, Jianjun GUO a Christian K. ROBERTS. Epidemiological evidence for the role of physical activity in reducing risk of type 2 diabetes and cardiovascular disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Applied Physiology* [online]. 2005, **99**(3), 1193-1204 [cit. 2019-05-23]. DOI: 10.1152/jappphysiol.00160.2005. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappphysiol.00160.2005>
- [23] Dexcom. *Pomůcky pro diabetiky | zdravotní pomůcky | aimport.cz* [online]. Praha: aimport.cz, 2018 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.aimport.cz/cz/dexcom-g4>
- [24] Spánek a cukrovka | Diasvět - o cukrovce aktuálně. *Diasvět* [online]. Jenišovice u Jablonce nad Nisou, c2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.diasvet.cz/cukrovka-ovlivnuje-kvalitu-spanku/>
- [25] Worldwide trends in diabetes since 1980: a pooled analysis of 751 populationbased studies with 4·4 million participants. *The Lancet* [online]. 2016, **387**(10027), 1513-1530 [cit. 2018-05-16]. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)00618-8. ISSN 01406736. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673616006188>
- [26] ZDRAVOTNICTVÍ ČR: *Stručný přehled činnosti oboru diabetologie a endokrinologie za období 2007–2015* [online]. 2016, (09) [cit. 2019-05-23]. ISSN 1210-8626. Dostupné z: http://www.uzis.cz/system/files/NZIS_REPORT_c_K1_09_16_A004diabet_endokrin.pdf
- [27] Patofyziologie a klinická fyziologie diabetes mellitus. In: *Tvorba a ověření e-learningového prostředí pro integraci výuky preklinických a klinických předmětů na LF a FZV UP Olomouc* [online]. Olomouc, 2010 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://pfyziolklin.upol.cz/?p=6887>

[28] [Blood pressure ageing]. In: *Health freedom alliance* [online]. Pennsylvania: Health freedom alliance, c2008-2018 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.healthfreedom.org/surprising-study-blood-pressure-should-be-according-to-your-age/>

[29] Google Contact Lens | Big Community Portal, Bigcommunity.net, 2017. [Online]. Dostupné z: http://bigcommunity.net/big_news/google-contact-lens/.

Příloha A – Dotazník pro evidenci výsledku

Jméno

Příjmení

Věk

Výška cm

Je diagnostikován diabetes* ano ne

	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
Aktivita za posledních 7 dní [min]							
Váha [kg]							
Systolický tlak [mmHg]							
Diastolický tlak [mmHg]							
Procentuální zastoupení tuku [%]							
Cukr v krvi [mmol/l]							

*nehodící se škrtněte