



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Tomáš Svoboda

**ASISTENČNÍ VOZIDLOVÝ SYSTÉM MONITOROVÁNÍ
HYPOGLYKEMIE ŘIDIČE**

Diplomová práce

2015



K623 Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Tomáš Svoboda

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – BD – Bezpečnost dopravních prostředků a cest

Název tématu (česky): **Asistenční vozidlový systém monitorování hypoglykemie řidiče**

Název tématu (anglicky): Assistance Vehicle System Monitoring of Driver Hypoglycemia

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Popis diabetu melitus a stavu hypoglykemie, projevy hypoglykemie
- Vysvětlení nebezpečí hypoglykemie při řízení
- Popis nehodovosti způsobené řidiči diabetiky
- Způsoby měření hypoglykemie
- Vypracování průzkumu mezi diabetiky o vhodnosti různých řešení měření hypoglykemie
- Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů měření hypoglykemie, výběr optimálního řešení
- Návrh asistenčního systému

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: PELIKÁNOVÁ, Terezie a Vladimír BARTOŠ. Praktická diabetologie. 5., aktualiz. vyd. Praha: Maxdorf, c2011, 742 s. Jessenius. ISBN 978-80-7345-244-5.
- LEBL, Jan. Abeceda diabetu: příručka pro děti, mladé dospělé a jejich rodiče. Praha: Maxdorf, c1998, 170 s. Medica. ISBN 80-858-0086-1.

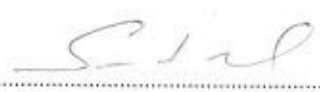
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Hedvika Kovandová, Ph.D.**
prof. Ing. Jan Kovanda, CSc.

Datum zadání diplomové práce: **15. července 2013**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)


Datum odevzdání diplomové práce: **31. května 2015**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


.....
doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.
vedoucí
Ústavu bezpečnostních technologií a inženýrství




.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


.....
Bc. Tomáš Svoboda
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 27. ledna 2015

Čestné prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr magisterského studia na ČVUT v Praze, Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti použití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 31. května 2015

Podpis.....

Abstrakt

Název diplomové práce: Asistenční vozidlový systém monitorování hypoglykemie řidiče

Autor: Tomáš Svoboda

Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

Obor: Bezpečnost dopravních prostředků a cest

Rok: 2015

Místo: Praha

Předmětem této diplomové práce je studie monitoringu hypoglykemie ve vozidle během řízení. Práce popisuje onemocnění diabetes mellitus, vysvětluje nebezpečí stavu zvaný hypoglykemie v běžném životě a během řízení. Dále práce popisuje možnosti udržení glykemie v bezpečných mezích a její standardní a kontinuální měření. Práce nabízí možnosti kontinuálního měření glykemie ve vozidle a detekci hypoglykemie, popisuje výsledky dotazníkového šetření, vybírá vhodné řešení a jeho návrh.

Klíčová slova

Asistenční vozidlový systém, diabetes mellitus, hypoglykemie, nebezpečí hypoglykemie při řízení, řidiči diabetici, kompenzace diabetu, měření glykemie, kontinuální měření glykemie, detekce hypoglykemie, dopravní nehody řidičů diabetiků

Abstract

Title of diploma thesis: Assistance Vehicle System of Driver's Hypoglycaemia Monitoring

Author: Tomáš Svoboda

University: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transport Sciences

Field: Safety of Transport Vehicles and Routes

Year: 2015

Place: Prague

The subject of this thesis is the study of monitoring hypoglycaemia in vehicles which are in transit. The work describes the illnesses of diabetes mellitus, explains the danger of the state of hypoglycaemia in the context of ordinary life, and whilst driving. Furthermore, the work describes the possibility of keeping the glycaemia within safe levels and the continuation of monitoring this. The work offers ways for the continuous measuring of glycaemia in vehicles and hypoglycaemia detection, describes the results of the conduction of public surveys, chooses the proper solution, and sets out a proposal for this system.

Keywords

Assistance vehicle system, diabetes mellitus, hypoglycaemia, danger of hypoglycaemia while driving, drivers – diabetics, diabetes compensation, glycaemia measuring, continual glycaemia measuring, hypoglycaemia detection, traffic accidents of the drivers - diabetics

Obsah

Úvod	12
1. Popis DM	14
1.1. Historický přehled	14
1.2. Základní poznatky o DM	14
1.2.1. Fyziologie glukoregulace	14
1.2.2. Struktura pankreatu a Langerhansových ostrůvků	16
1.2.3. Popis inzulínu a jeho funkce	17
1.2.4. Popis glukagonu a jeho funkce	18
1.3. Klasifikace DM	19
1.3.1. Klasifikace podle WHO	19
1.3.2. Klasifikace podle ICD	19
1.4. Patogeneze DM	20
1.4.1. DM 1. typu	20
1.4.2. DM 2. typu	20
1.4.3. Ostatní specifické typy DM (sekundární diabetes)	20
1.4.4. Gestační DM	21
1.4.5. Poruchy glukózové homeostázy	21
1.5. Statistické údaje o DM	21
1.5.1. ČR	22
1.5.2. Svět	28
1.6. Epidemiologie	33
1.6.1. DM 1. typu	33
1.6.2. DM 2. typu	36
1.7. Akutní komplikace DM	36
1.7.1. Hyperglykemie	36
1.7.2. Hypoglykemie	37
1.8. Chronické komplikace DM	38
1.8.1. Diabetická nefropatie	38

1.8.2.	Diabetická retinopatie	38
1.8.3.	Diabetická neuropatie	39
1.8.4.	Ostatní komplikace DM.....	39
1.9.	Kompenzace diabetu	39
1.9.1.	Kompenzace inzulínem.....	39
1.9.2.	Kompenzace glukagonem	43
1.9.3.	Léčba hyperglykemie.....	43
1.9.4.	Léčba hypoglykemie	44
2.	Možnosti detekce hypoglykemie během řízení motorových vozidel	45
2.1.	Řízení motorových vozidel diabetiky	45
2.2.	Nehodovost způsobená řidiči diabetiky	47
2.3.	Projevy a nebezpečí hypoglykemie během řízení automobilu	49
2.4.	Standartní měření glykemie (v klidu).....	52
2.4.1.	Měření glykemie glukometry	52
2.4.2.	Kontinuální měření glykemie.....	53
2.5.	Možnosti monitorování hypoglykemie ve vozidle	55
2.5.1.	Invazivní senzory	55
2.5.2.	Dotykové senzory	56
2.5.3.	Distanční senzory	57
2.6.	Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů rozpoznávání hypoglykemie ve vozidle, výběr optimální varianty	57
2.7.	Dotazníkové šetření mezi diabetiky o vhodnosti různých řešení měření hypoglykemie	58
2.7.1.	Výsledky průzkumu.....	60
3.	Návrh systému	66
3.1.	Výstup asistenčního systému	66
3.2.	Přenos informace.....	66
3.2.1.	Přenos pomocí systému Bluetooth	66
3.3.	Stanovení kritických hodnot pro aktivaci varování.....	67
3.3.1.	Varování o nízké glykemii a nebezpečí vzniku hypoglykemie	67

3.3.2.	Varování o klesající glykemii a nebezpečí vzniku hypoglykemie	67
3.3.3.	Vznik hypoglykemie	68
3.3.4.	Normální stav glykemie	68
3.4.	Stavy systému	69
3.5.	Schéma systému	70
3.6.	Vizuální a akustické provedení systému	71
3.6.1.	Umístění interface systému na palubní desce.....	71
3.6.2.	Barevné provedení	72
3.6.3.	Akustické provedení	72
3.7.	Návrh systému pro detekci hyperglykemie.....	72
3.7.1.	Schéma systému pro detekci hyperglykemie	74
3.8.	Způsob uvedení na trh	75
	Závěr	76
	Použitá literatura.....	79
	Seznam obrázků.....	83
	Seznam tabulek	84
	Seznam grafů	85
	Seznam diagramů.....	86
	Seznam příloh.....	87

Seznam použitých zkratk

DP – Diabetes mellitus

ČR – Česká republika

PAD – Perorální antidiabetika

DPP-IV – Dipeptidylpeptidáza IV

USA – Spojené státy americké

ADA – American Diabetes Association

WHO – World Health Organization

ICD – International Classification of Diseases and Related Health Problems

IKEM – Institut klinické a experimentální medicíny

MKN – Mezinárodní statistická klasifikace nemocí a přidružených zdravotních problémů

LADA – Latent autoimmune diabetes of adults

MODY – Maturity-onset type diabetes of the young

ATP – Adenosintrifosfát

GLUT – Glukózové transportéry

IU – Inzulinová jednotka

MA – Mikroaneurysmata

Předmluva

Tato diplomová práce je vypracována z důvodu nebezpečí výskytu hypoglykemie při řízení. Cílem práce je posoudit možnosti kontinuálního měření glykemie během řízení a detekci hypoglykemie, vybrat optimální řešení a systém navrhnout. Práce je rozdělena do tří částí, v první se nachází analýza onemocnění diabetes mellitus a vysvětlení nebezpečí hypoglykemie, ve druhé části možnosti měření glykemie a ve třetí části návrh systému kontinuálně měřící glykemií během řízení vozidla se schopností detekce hypoglykemie.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval mým vedoucí vedoucím diplomové práce doc. Ing. Hedvice Kovandové, Ph.D. a prof. Ing. Janu Kovandovi, CSc. za odborné vedení, konzultace, poskytnutí informací a cenných rad. Dále kantorům naší fakulty, díky nimž jsem získal cenné vědomosti, které jsem použil při vypracování této práce. Dále také diabetikům, kteří mi pomohli s vykonáním dotazníkového šetření, a také vedení IKEMu, které mi toto šetření povolilo. V neposlední řadě také rodině a blízkým za morální podporu v celé době mého bakalářského a magisterského studia.

Úvod

Cukrovka neboli diabetes mellitus je jedno z nejnebezpečnějších a nejzávažnějších onemocnění současné společnosti. Závažnost tohoto onemocnění je dáno především stále více narůstajícím počtem nemocných a přitom lékaři i přes množství hypotéz stále přesně neví, proč a jak diabetes mellitus vlastně vzniká.

Na rozdíl od minulých století je možné s cukrovkou vést plnohodnotný život. Může za to především objev inzulínu v roce 1921, kdy byl inzulín extrahován z psí slinivky. Do té doby neléčeným diabetikům mnoho života po vzniku cukrovky nezbyvalo. Za posledních sto let technika v oblasti diabetologie pokročila, diabetici jsou schopni sami si aplikovat inzulín či měřit si hladinu cukru v krvi. Na trhu už jsou diabetické pumpy (na principu kanyly), které inzulín dodávají automaticky a bez přestání a jsou tak lepší než injekční stříkačky či inzulínová pera, pomocí kterých se inzulín dodává nepravidelně (jen několikrát denně při vpichu a tudíž i v nepravidelných dávkách). Také měření hladiny cukru (glykemie) je na lepším stupni, než v minulých desetiletích. Elektronické glukometry jsou nyní samozřejmostí, stačí vyvolat krvácení (vpich speciální jehlou např. do prstu, stačí jedna malá kapka), přiložit glukometr a hladina cukru je ihned a přesně změřena.

Výzkum šel ale ještě dále a nyní jsou na trhu senzory měřící glykémii neustále. Stačí mít senzor připíchnut na těle (např. na zádech) a hodnota glykemie je měřena po celý den, díky čemuž je i možné sledovat její průběh v rámci dne, což glukometry neumožňují. Tedy v případě, že si diabetik neměří glykémii alespoň pětkrát za hodinu. Pomocí moderních technologií (Bluetooth) senzory komunikují s počítačem a je tedy možné si data prohlížet. Nové typy diabetických pump jsou také schopny se senzory komunikovat, a tedy tato kombinace plně nahrazuje lidskou slinivku. Senzor zjistí vyšší hladinu cukru, pošle informaci do pumpy a ta automaticky přidá inzulín. Tato technologie je ale stále otázkou blízké budoucnosti, protože senzory nejsou příliš spolehlivé a tato technologie je tedy zaváděna jen velmi pomalu.

Jak již bylo řečeno, trendem je usnadňovat diabetikům život. I když důsledky cukrovky v normálním životě již nejsou tolik zřejmé, stále tu hrozí bezprostřední nebezpečí, kdy diabetik má sníženou (hypoglykemie) nebo zvýšenou (hyperglykemie) hladinu cukru. V těchto případech se diabetici mohou vlivem výkyvů glykemie chovat nestandardně, a mohou tak ohrožovat sebe či okolí. A to právě v případech, kdy se stanou řidiči a členy dopravního proudu.

Tato práce se tedy zabývá možnostmi kontinuálního měření glykemie ve vozidle během řízení a detekce hypoglykemie.

V první části práce je cílem analyzovat diabetes mellitus, vysvětlit glukoregulaci, popsat inzulin a glukagon a jejich funkce v těle, dále uvést statistické údaje o diabetu a vysvětlení vzniku a nebezpečí hyperglykemie a hypoglykemie.

Ve druhé části je cílem rozebrat nehodovost řidičů diabetiků a jejich možnosti řízení vozidel z právních aspektů, poté vysvětlit projevy hypoglykemie při řízení a jejich nebezpečí, dále uvést možnosti měření glykemie na dnešním trhu a popsat možnosti monitoringu glykemie ve vozidle. Dále bude cílem provést dotazníkové šetření mezi diabetiky, zjistit jejich potřeby a zvolit tak optimální řešení.

Ve třetí části je cílem navrhnout optimální řešení včetně výstupu systému, způsobu přenosu informace mezi zařízeními, navrhnout schéma systému, způsoby předání informace řidiči a možnosti uvedení na trh systému.

1. Popis DM

1.1. Historický přehled

První záznamy o diabetu jsou známy z Egypta, kdy se našly záznamy o diabetu datované do roku 1550 př. Kristem. Nemoc dostává jméno ve druhém století, kdy Aretaeus z Kapadocie používá název „diabetes“. V roce 1674 T. Willis odlišuje diabetes od jiných stavů z důvodu sladké chuti moči. Cukr v krvi a moči nemocných je ale nalezen až roku 1776 M. Dobsonem. Přídumek „mellitus“ pak dostává onemocnění v roce 1787. Ve druhé polovině devatenáctého století se začíná postupně mapovat diabetes, vztah mezi nemocí a pankreatem, a i chronické onemocnění DM.

V roce 1907 jsou objeveny α a β buňky (M. A. Lane), samotný inzulin je objeven v roce 1921 z pankreatu psa (University of Toronto, F. Banting a Ch. Best), glukagon je objeven o dva roky později. Funkce inzulinu (transport glukózy do buněk) je objeven téměř o tři desetiletí později, v roce 1949 (R. Levine). Léky začíná být diabetes kompenzován v roce 1955 lékem Sulfonylureas. Hned za 8 let vzniká první diabetická pumpa, která má ovšem velikost batohu.

Glykemie se dá poprvé měřit v roce 1964 (The Ames Company). V University of Minnesota hospital v roce 1966 probíhá první transplantace pankreatu. V roce 1970 pak vznikají první glukometry, o tři roky později D. Kamen vyvíjí první přenosnou inzulinovou pumpu, která je za tři roky ve velkém na trhu (D. Kamen, AutoSyringe Inc). V posledních letech dochází především ke zdokonalování měření glykemie, kompenzace inzulinu (např. inzulinové pumpy) a i nové typy inzulinu, např. Lispro, dosud nejrychleji reagující inzulin (1996). [1, Str. 12-13] [2] [3]

1.2. Základní poznatky o DM

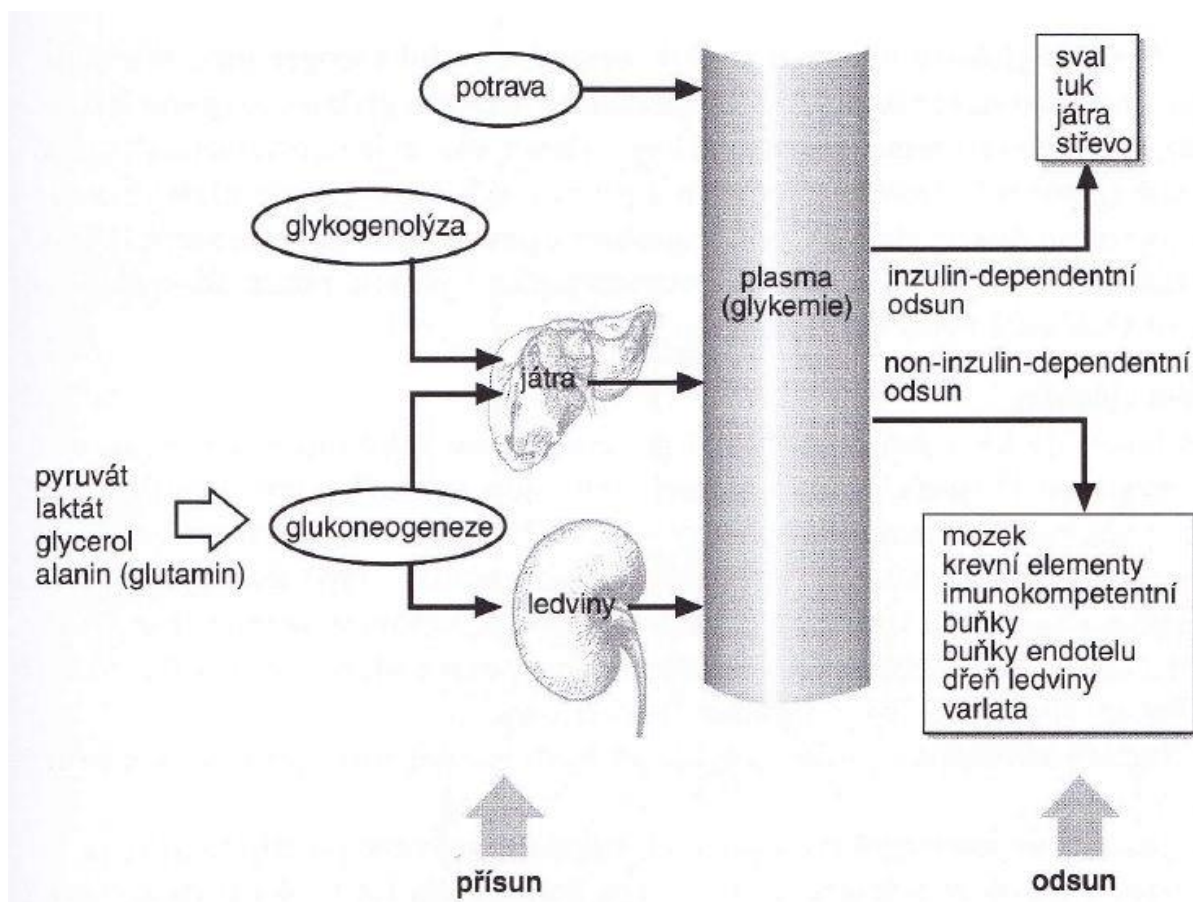
Diabetes mellitus je skupinou chronických onemocnění, jejichž základním rysem je hyperglykemie (vysoká hodnota glukózy v krvi). Vzniká v důsledku nedostatečného účinku inzulinu při jeho absolutním nebo relativním nedostatku a je provázen komplexní poruchou metabolismu cukrů, tuků a bílkovin.¹

1.2.1. Fyziologie glukoregulace

Hladina glykemie je u zdravého jedince udržována v relativně úzkém rozmezí 3-8 mmol.l⁻¹ řadou hormonálních, autoregulačních a neuroregulačních mechanismů, které zajišťují rovnováhu mezi přísunem a odsunem glukózy z plasmy, viz obrázek 1. [1, Str. 13]

¹ [1, Str. 58] PELIKÁNOVÁ, Terezie a Vladimír BARTOŠ. *Praktická diabetologie*

1.2.1.1. Přísun glukózy



Obrázek 1: Přísun a odsun glukózy z plasmy, zdroj: [1, Str. 13]

Glukóza, jakožto zdroj energie, se do těla dostane buď zvenčí potravou, nebo je vytvořena uvnitř organismu. Protože příjem glukózy (zdroj energie) potravou není kontinuální a její potřeba k udržení energetického metabolismu je trvalá, je přísun glukózy v podmínkách na lačno zajištěn její tvorbou v organismu. Tkáněmi, které jsou schopné produkovat glukózu, jsou játra a kůra ledvin, viz obrázek 1.

Zdrojem glukózy v játrech je glykogenolýza. Protože v ledvinách jsou zanedbatelné zásoby glykogenu, je zdrojem produkce glukózy pouze glukoneogeneze. [1, Str. 13-14] [4, Str. 8]

1.2.1.2. Odsun glukózy

Při odsunu glukózy jsou dvě fáze, katabolická (na lačno) a anabolická (postprandiálně). V katabolické fázi jsou zdrojem energie většinou mastné kyseliny (např. tuk), pro některé tkáně je to ovšem glukóza (např. pro mozek), při dlouhém hladovění ketolátky.

Spotřeba glukózy činí asi $2\text{mg}\cdot\text{min}^{-1}$ na 1kg tělesné hmotnosti. Z toho 50% je vychytáváno mozkem, 15% ve dřeni ledviny, 15% v játrech a ve střevě a pouze kolem 20% je zadrženo typickými inzulin-dependentními tkáněmi, jako je kosterní sval, myokard a tuková tkáň.

Po 8-12 hodinovém lačnění se asi 75% glukózy tvoří jaterní glykogenolýzou, na 25% se rovnoměrně podílí glukoneogeneze v játrech a v ledvinách. Při pokračujícím hladovění (nad 12-16 hodin) podíl glukoneogeneze roste. [1, Str. 16] [5]

1.2.1.3. Regulace glykemie

Regulace glykemie probíhá autoregulací pomocí inzulínu, glukagonu a adrenalinu. [1, Str. 16]

1.2.2. Struktura pankreatu a Langerhansových ostrůvků

Pankreat neboli slinivka břišní je nepárový lidský orgán o velikosti přibližně 25 cm a hmotnosti 75 gramů a je orgánem, který je, mimo jiné, důležitou žlázou s vnitřní sekrecí, zejména díky sekreci inzulínu a glukagonu. [6]

Součástí pankreatu jsou Langerhansovy ostrůvky o 2-3% hmoty slinivky a dosahují počtu kolem jednoho milionu.

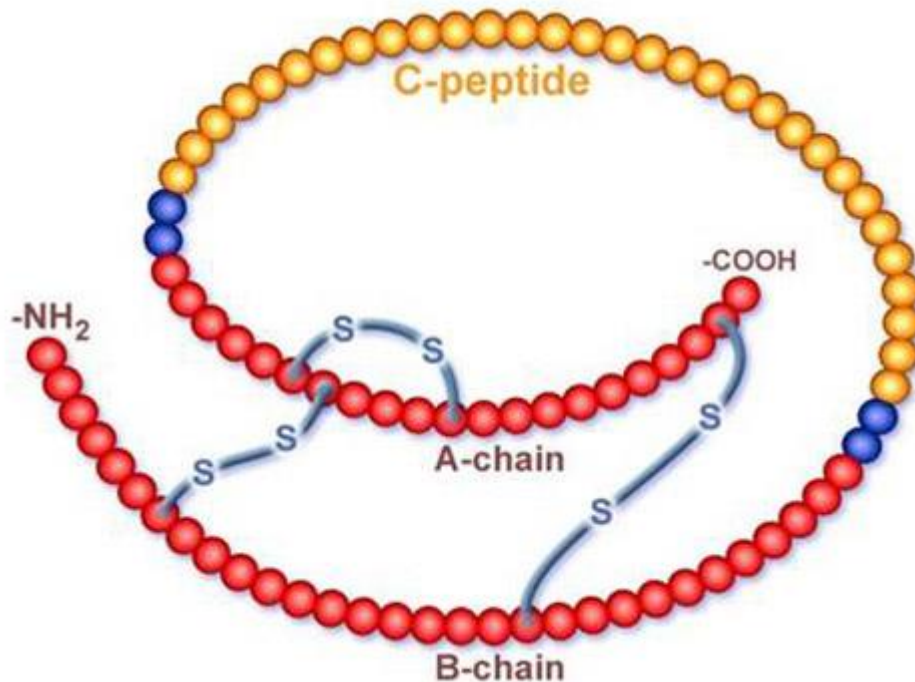
V Langerhansových ostrůvkách se vyskytují 4 různé druhy buněk:

- α buňky: produkují glukagon
- β buňky: produkují inzulín
- δ buňky: produkují somatostatin
- PP buňky: produkují pankreatický polypeptid.

Jako první vznikají α buňky, poté β buňky a PP buňky, jako poslední vznikají δ buňky. [1, Str. 18-19]

1.2.3. Popis inzulínu a jeho funkce

1.2.3.1. Biosyntéza inzulínu



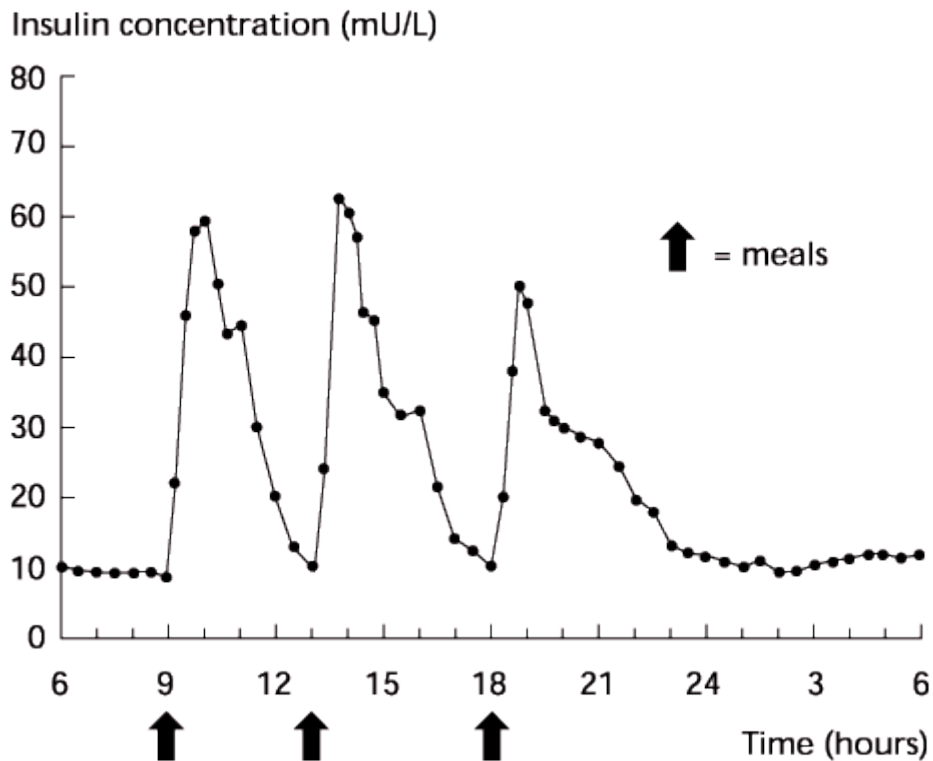
Obrázek 2: Schéma proinzulinu, zdroj: [7]

Hormon inzulín je glykoprotein, který má za úkol udržovat glukózovou homeostázu. Nejdříve vzniká preproinzulin, který se přemění na proinzulin, který je tvořen inzulínovými řetězci A a B spojenými spojovacím peptidem (C-peptid), viz obrázek 2, kde je C-peptid vyznačen žlutou barvou a A a B řetězce červenou barvou. Posléze je inzulín v sekrečních granulách β buněk proteázami rozštěpen na C-peptid a inzulín. Celý proces trvá půl až dvě hodiny. [1, Str. 21-23]

1.2.3.2. Sekrece a regulace inzulínu

Inzulín se uvolňuje z β buněk společně s C-peptidem v intervalech 5-15 minut. Přibližně 60 % inzulínu je zachyceno v játrech, 40 % pak v ledvinách. Během dne je u zdravého organismu vyprodukováno 20-40 IU, přičemž je za hodinu vyprodukováno 0,25-1,5 IU za hodinu. Inzulín se uvolňuje neustále nehlédě na příjem glukózy, i během spánku.

Stimulovaná sekrece (prandiální) představuje inzulín vyplavovaný při příjmu potravy a hraje důležitou roli v regulaci postprandiální glykémie. [1, Str. 23-29]



Graf 1: Sekrece inzulínu zdravého člověka v průběhu jednoho dne, zdroj: [8]

Na grafu 1 lze vidět průběh sekrece inzulínu zdravého člověka během jednoho dne. Osoba pozřela potravu celkem třikrát, viz šipky. Množství inzulínu v krvi narostlo a po určité době opět začalo klesat a přibližně po dvou hodinách se vrátilo na původní úroveň. Během noci zůstává koncentrace inzulínu v krvi stejná a množství inzulínu je tak v čase kontinuální. K tomu může dojít i mezi jídly, pokud je mezi nimi dostatečně velké časové rozpětí.

1.2.3.3. Účinek inzulínu

Inzulín stimuluje pochody v metabolismu glukózy, tuků a bílkovin. Citlivost inzulínu je navíc různá v různých tkáních a orgánech. Inzulínová rezistence je pak porucha účinku inzulínu. Dochází k tomu, kdy koncentrace normálního stavu inzulínu v organismu způsobuje sníženou odpověď. Jde o stav, kdy normální koncentrace volného plasmatického inzulínu vyvolává jeho sníženou odpověď organismu. [1, Str. 37-38] Ve stáří, v pubertě, v těhotenství, při stresu a hladovění a při různých onemocnění (např. DM 2. stupně) bývá rezistence vyšší. Pro diabetiky 1. typu to znamená, že ve stáří je potřeba více IU denně, aby nedocházelo k hyperglykemiím. Inzulínová citlivost se naopak zvyšuje při fyzickém tréninku, dochází tedy k hypoglykemiím. [1, Str. 35, 37-38, 42]

1.2.4. Popis glukagonu a jeho funkce

Glukagon byl objeven v roce 1923, ovšem o jeho významu se začalo více vědět po roce 1959. Jeho cílem je zabránit hypoglykemiím [1, Str. 46]

1.2.4.1. Biosyntéza glukagonu

Glukagon vzniká degradací preproglukagonu. [1, Str. 46]

1.2.4.2. Sekrece a regulace glukagonu

Sekrece glukagonu je způsobena především glykemií. Glukóza v krvi způsobuje sekreci α buněk přímo a také pomocí inzulínu. [1, Str. 47]

1.2.4.3. Účinek glukagonu

Díky systému založenému na účinku glukagonu a inzulínu je glykemie v normálních hodnotách, nedostatek glukagonu způsobuje hypoglykémii, jako je tomu u diabetiků prvního typu DM. [1, Str. 47]

1.3. Klasifikace DM

1.3.1. Klasifikace podle WHO

V roce 1997 byl navržen nový klasifikační systém DM (ADA), který byl v roce 1999 přijat WHO:

- *Diabetes mellitus*
 - *DM 1. typu*
 - *Imunitně podmíněný*
 - *Idiopatický*
 - *DM 2. typu*
 - *Ostatní specifické typy diabetu*
 - *Gestační DM*
- *Poruchy glukózové homeostázy*
 - *Zvýšená (hraniční) glykemie na lačno*
 - *Porušená glukózová tolerance²*

1.3.2. Klasifikace podle ICD

Kód	Název diagnózy
E10	Diabetes mellitus závislý na inzulínu
E11	Diabetes mellitus nezávislý na inzulínu
E12	Diabetes mellitus spojený s podvýživou
E13	Jiný určený diabetes mellitus
E14	Neurčený diabetes mellitus

² [11, Str. 6] Péče o nemocné cukrovkou 2012

Tabulka 1: Klasifikace DM podle ICD, zdroj: [11, Str. 6]

Podle ICD (International Classification of Diseases and Related Health Problems), v češtině MKN (Mezinárodní statistická klasifikace nemocí a přidružených zdravotních problémů), která byla publikována WHO, je DM zařazena do kapitoly: Nemoci endokrinní, výživy a přeměny látek. Podkapitoly a jejich kódy ukazuje tabulka 1. [9] [11, Str. 6]

1.4. Patogeneze DM

1.4.1. DM 1. typu

Onemocnění vzniká z důvodu destrukce β buněk, které má za následek absenci inzulínu, který musí být dodáván do těla z vnější, nejčastěji injekčně.

Existují dva druhy DM 1. typu, imunitně podmíněný DM a idiopatický DM.

Imunitně podmíněný diabetes je častější, dochází k autoimunitní reakci. Způsob, proč vzniká, není zatím známý, pravděpodobně se jedná o virovou infekci, přičemž je zde i genetický vliv. [1, Str. 60]

Druhým druhem je idiopatický DM 1. typu, které je běžnější spíše v Africe a Asii. Diabetici nepotřebují inzulín z vnější a nejedná se o autoimunitní reakci. [1, Str. 61]

Při diabetu prvního typu nejdříve dochází k poruchám sekrece inzulínu až do překročení určité hranice destrukce β buněk. První fáze přitom může trvat až několik let. Teprve až počet zničených β buněk přesáhne hranici 70 % (u dospělých osob o něco méně), diabetes se naplno projeví. K destrukci přitom může docházet už i před narozením dítěte. [1, Str. 85]

1.4.2. DM 2. typu

Při tomto typu diabetu dochází k poruše sekrece inzulínu a nedochází k úplné destrukci β buněk. Důvodem onemocnění jsou genetické dispozice, obezita, stres, malá fyzická aktivita či kouření a dochází k němu většinou až po dosažení 40 let, i když se vyskytuje už v dětství. Detekce onemocnění bývá ze začátku náhodná z důvodu pozvolného počátku nemoci. Pro léčbu stačí ze začátku pouze dieta, později perorálními antidiabetika, a při tzv. sekundárním selhání inzulínu. [1, Str. 61]

1.4.3. Ostatní specifické typy DM (sekundární diabetes)

Existují další typy diabetu jako např. MODY (Maturity-onset type diabetes of the young) způsobený genetickým defektem, vzniká ve věku do 25 let a minimálně po dobu pěti let není potřeba kompenzovat inzulínem. [1, Str. 62]

Diabetes bývá způsoben také různými nemocemi jako např. karcinom pankreatu, cystická fibróza pankreatu nebo i Alzheimerovou chorobou, která způsobuje inzulinovou rezistenci v mozku. Někdy bývá nazýván diabetes mellitus 3. typu. [1, Str. 62] [10]

1.4.4. Gestační DM

Tento typ DM je vzniká v průběhu těhotenství, nejčastěji po 20. týdnu. V populaci je jeho výskyt 3-4% (v některých zemích až 6%). Je charakterizován vyšším stavem inzulinu (kdy plod sám vytváří inzulin) a také rezistence na inzulin. Vrchol nastává mezi 24. a 30. týdnem gravidity. [1, Str. 568]

V průběhu těhotenství bývá zásadně narušena kompenzace diabetu, především u pacientek s DM 1. typu. Dokud není pankreat plodu plně vyvinut, je potřeba dodávat inzulin také jemu, a mohou tak vznikat hyperglykemie. Po jeho vyvinutí (pokud je plod zdravý) začne produkovat inzulin, který začne ovlivňovat matku, a mohou vznikat hypoglykemie. Tento jev nastává právě v případě gestačního DM, u pacientek s DM 1. typu je mnohem nebezpečnější.

1.4.5. Poruchy glukózové homeostázy

Je na přechodu mezi normální tolerancí glukózy a diabetem, obvykle nastává zvýšená glykemie před jídlem. [1, Str. 64]

1.5. Statistické údaje o DM

V následujících kapitolách se objevují tyto dva pojmy:

- Incidence – nemocnost; demografický ukazatel počtu nových případů onemocnění k počtu obyvatel za časovou jednotku, většinou za rok.
- Prevalence - demografický ukazatel o celkovém počtu nemocných se sledovanou chorobou k počtu obyvatel v určité oblasti.³

³ [1, Str. 53] PELIKÁNOVÁ, Terezie a Vladimír BARTOŠ. *Praktická diabetologie*

1.5.1. ČR

1.5.1.1. Vývoj počtu diabetiků léčených na konci roku, incidence, úmrtí

Rok	Počet osob léčených na konci roku	Počet nově zjištěných onemocnění	Počet úmrtí za období
1980	317 144	41 247	18 152
1985	396 007	45 208	23 292
1990	479 125	59 737	26 045
1995	552 236	43 831	19 637
2000	654 164	52 649	22 852
2001	653 418	52 375	23 460
2002	667 135	51 644	23 421
2003	686 865	56 683	24 603
2004	712 079	54 303	23 725
2005	739 305	56 545	23 326
2006	748 528	56 311	23 521
2007	754 961	56 398	22 869
2008	773 561	55 975	22 259
2009	783 321	61 357	21 747
2010	806 230	64 997	22 286
2011	825 382	68 494	23 290
2012	841 227	72 063	23 886

Tabulka 2: Vývoj počtu diabetiků léčených na konci roku, incidence, úmrtí, zdroj: [11, Str. 21]

V České republice jsou počty registrovaných diabetiků sledovány Ústavem zdravotnických informací a statistiky ČR.

Počet diabetiků v ČR za poslední roky roste, za 32 let od roku 1980 do roku 2012 více než zdvojnásobil, z počtu 317 144 diabetiků z roku 1980 na počet 841 227 z roku 2012, nárůst tak byl 165 %. Vzhledem k mírnému nárůstu počtu obyvatel (z 10 291 927 obyvatel v roce 1980 [12] na 10 505 445 obyvatel v roce 2012, [13] nárůst tedy o 213 518 obyvatel) byl reálný nárůst počtu diabetiků 162 %.

Zvýšil se i počet nově zjištěných onemocnění, ze 41 247 v roce 1980 na 72 063 v roce 2012. Nárůst tak činil 75 %, vzhledem ke zvýšenému počtu obyvatel ČR byl reálný nárůst 73 %, viz tabulka 2.

1.5.1.2. Vývoj léčených osob v členění podle jednotlivých typů diabetu

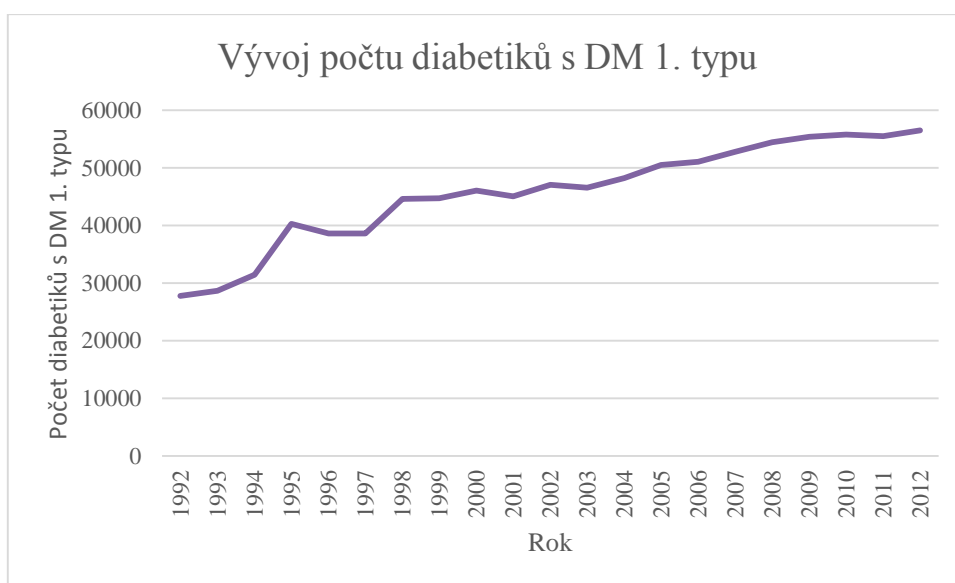
Rok	Celkem	DM 1. typu (E10)				DM 2. typu (E11)	Sekundární DM (E13)
		0–14 let	15–19 let	20 let a více	Celkem		
1992	465 687	247	217	27 301	27 765	433 449	4473
1993	493 110	219	196	28 251	28 666	459 716	4728
1994	500 992	255	312	30 885	31 452	464 361	5179
1995	552 236	408	893	38 983	40 284	507 132	4820
1996	582 426	360	492	37 759	38 611	536 480	7335
1997	600 306	409	539	37 694	38 642	556 218	5446
1998	609 030	408	576	43 633	44 617	557 395	7018
1999	624 086	417	520	43 797	44 734	572 104	7248
2000	654 164	497	716	44 870	46 083	599 782	8299
2001	653 418	528	660	43 905	45 093	599 640	8685
2002	667 135	530	564	45 995	47 089	610 868	9178
2003	686 865	566	602	45 386	46 554	630 330	9981
2004	712 079	758	817	46 642	48 217	654 153	9709
2005	739 305	804	815	48 887	50 506	678 760	10 039
2006	748 528	808	864	49 398	51 070	686 159	11 299
2007	754 961	816	869	51 128	52 813	692 074	10 074
2008	773 561	858	913	52 703	54 474	708 847	10 240
2009	783 321	830	940	53 644	55 414	717 365	10 542
2010	806 230	890	860	54 061	55 811	739 859	10 560
2011	825 382	981	862	53 699	55 542	758 719	11 121
2012	841 227	1071	895	54 548	56 514	772 585	12 128

Tabulka 3: Vývoj léčených osob v členění podle jednotlivých typů diabetu, zdroj: [11, Str. 24]

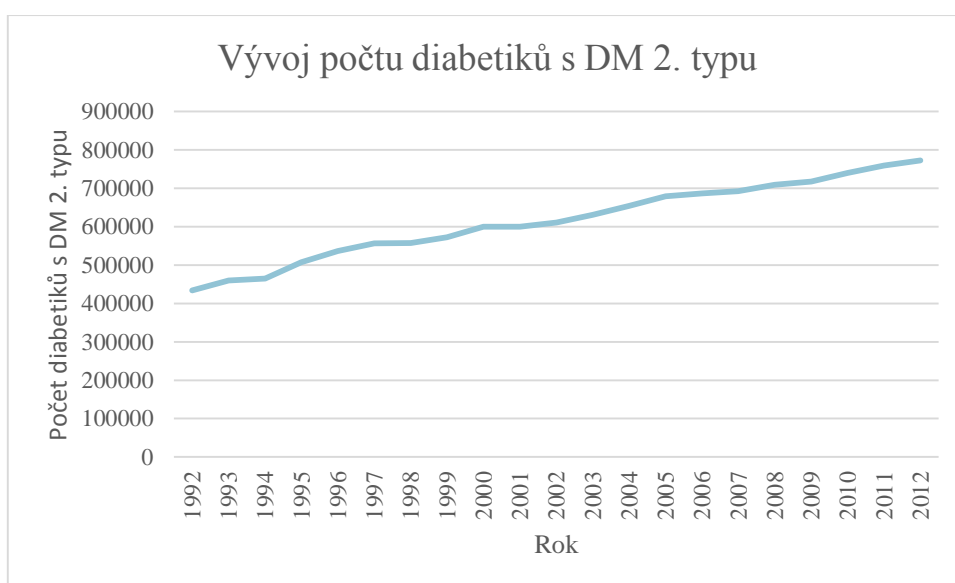
Co se týče jednotlivých typů DM, má vyšší růst 1. typ DM nežli 2. typ. Počet diabetiků s DM 1. typu narostl za dvacet let od roku 1992 do roku 2012 o více než dvojnásobek, z 27 765 diabetiků na 56 514, nárůst o 104 %, reálný nárůst vzhledem ke změně počtu obyvatel byl 102 % (počet obyvatel za tuto dobu stoupl z 10 325 697 obyvatel v roce 1992 na 10 505 445 obyvatel v roce 2012, [13] nárůst tedy o 179 748 obyvatel). Počet diabetiků s DM 2. typu narostl za toto období z počtu 433 449 diabetiků na 772 585, nárůst o 78 % (reálný 77 %).

Počet diabetiků s DM 2. typu je ale ještě vyšší, mnoho pacientů o svém onemocnění ani neví. Těchto diabetiků je v ČR přibližně 250 000, celkově pacientů s DM 2. typu je přes jeden milion, viz kapitola 1.4.1. DM 1. typu. [17]

DM 1. typu zaznamenal nejvyšší nárůst hlavně u mladších pacientů, u pacientů do 14 let z 247 pacientů v roce 1992 na 1071 pacientů v roce 2012 a u pacientů ve věku 15-19 let z 217 v roce 1992 na 895 v roce 2012 (v obou případech nárůst více než 4násobný). U starších pacientů byl nárůst také výrazný, z 27 301 v roce 1992 na 54 548 v roce 2012 (téměř dvojnásobný nárůst). Většina (96,5 %) pacientů s DM 1. typu je věku 20 nebo více, viz tabulka 3.



Graf 2: Vývoj počtu diabetiků s DM 1. typu



Graf 3: Vývoj počtu diabetiků s DM 2. typu

Vývoj počtu diabetiků s DM 1. typu zachycuje graf 2, vývoj počtu diabetiků s DM 2. typu zachycuje graf 3.

1.5.1.3. Počet diabetiků v závislosti na pohlaví a typu DM

Pohlaví	DM celkem	Primární diabetes mellitus				Sekundární diabetes mellitus (E13)	
	Počet pacientů	1. typu (E10)		2. typu (E11)		Počet pacientů	%
		Počet pacientů	%	Počet pacientů	%		
Muži	398839	28 219	7,1	364 080	91,3	6540	1,6
Ženy	442388	28 295	6,4	408 505	92,3	5588	1,3
Celkem	841227	56 514	6,7	772 585	91,8	12 128	1,4

Tabulka 4: Počet diabetiků v závislosti na pohlaví a typu DM, rok 2012, zdroj: [11, Str. 11]

Počet diabetiků s DM 1. typu v závislosti na pohlaví se téměř neliší (28 219 mužů a 28 295 žen). Toto se dá vysvětlit mírně vyšším zastoupením žen v české populaci (5 351 776 žen oproti 5 164 349 mužů). [14] Výrazně se ale liší počet diabetiků mužů a žen s DM 2. stupně (364 080 mužů a 408 505 žen). Toto se dá vysvětlit tím, že DM 2. typu postihuje především osoby vyššího věku, kterého se dožívají spíše ženy než muži. [11]

Co se jednotlivých typů DM týče, největší zastoupení má DM 2. typu (772 585 v roce 2012, 91,8 %), oproti tomu DM 1. typu trpí výrazně méně pacientů (56 514 v roce 2012, 6,7 %), sekundárním DM ještě méně (12 128 v roce 2012, 1,4 %). Pacientů s DM 2. typu je tedy téměř 14krát více než pacientů s DM 1. typu, viz tabulka 4.

1.5.1.4. Počty předepsaných jednotlivých druhů léčby podle typu DM

Počet diabetiků k 31. 12. 2012							
Druh léčby		DM 1. typu (E10)			DM 2. typu (E11)	Sekundární DM (E13)	
		0–14 let	15–19 let	20 let a více			Celkem
Jen dietou						116 196	3342
PAD	deriváty sulfonylmočoviny		4	1981	1985	199 863	1954
	metforminem	3	14	2737	2754	418 254	2995
	glinidy			453	453	13 019	287
	glitazony			432	432	17 180	115
	akarbózou		1	126	127	4872	44
	inhibitory DPP-IV			611	611	43 003	137
Inkretinovými mimetiky				457	457	11 132	47
Inzulinem	konvenčně	1	11	4458	4470	64 042	1691
	intenzifikovaně	843	621	41 551	43 015	86 776	2932
	inzulinovou pumpou	230	275	4335	4840	1305	31

Tabulka 5: Počty předepsaných jednotlivých druhů léčby podle typu DM, zdroj: [11, Str. 39]

Druh léčby závisí především na závažnosti a stupni onemocnění. Zatímco pacienti s DM 2. typu se léčí především perorálními antidiabetiky (v 71 % případů) nebo i pouze dietou (12 %), pacienti s DM 1. typu se léčí především inzulinem (88 %), perorálními antidiabetiky pak výrazně méně (11 %), inkretinovými mimetiky pak minimum pacientů (1 %) a dieta je u DM 1. typu vyloučena.

Léčba inzulinem je nastolena v nejzávažnějších stupních DM, tedy obvykle při DM 1. stupně. U DM 2. stupně je inzulin podáván konvenčně (v 7 % případů) nebo intenzifikovaně (v 9 % případů, počet uživatelů inzulinové pumpy je zanedbatelný (méně než 1 %)). U DM 1. stupně jsou pacienti léčeni intenzifikovaně (73 %), konvenčně pouze v rané fázi DM, kdy je stále zachována určitá sekrece inzulinu (8 %) a inzulinovou pumpou (8 %). Celkem je inzulinovou pumpou léčeno 4 840 pacientů s DM 1. typu, 1305 pacientů s DM 2. typu a 31 pacientů se sekundárním DM, celkem 6176 diabetiků.

Z pacientů s DM 1. typu používající inzulinovou pumpu bylo 230 do věku 14 let (touto formou bylo léčeno 21 % pacientů), 275 ve věku 15-19 let (30 %) a 4335 ve věku 20 let a více (8 %), viz tabulka 5.

Vzhledem k tomu, že některým diabetikům s DM 1. typu je špatně DM diagnostikován za DM 2. stupně (v případě typu LADA až 15 %), mohou být někteří pacienti s DM 2. typu léčeni pouze inzulínem (tedy jako závažnější stupeň DM) v tabulce 4 špatně zařazeni a např. diabetiků s DM 1. typu léčených inzulínem (tedy i inzulínovou pumpou) by mohlo být více, viz kapitola 1.3.1.1. DM 1. typu.

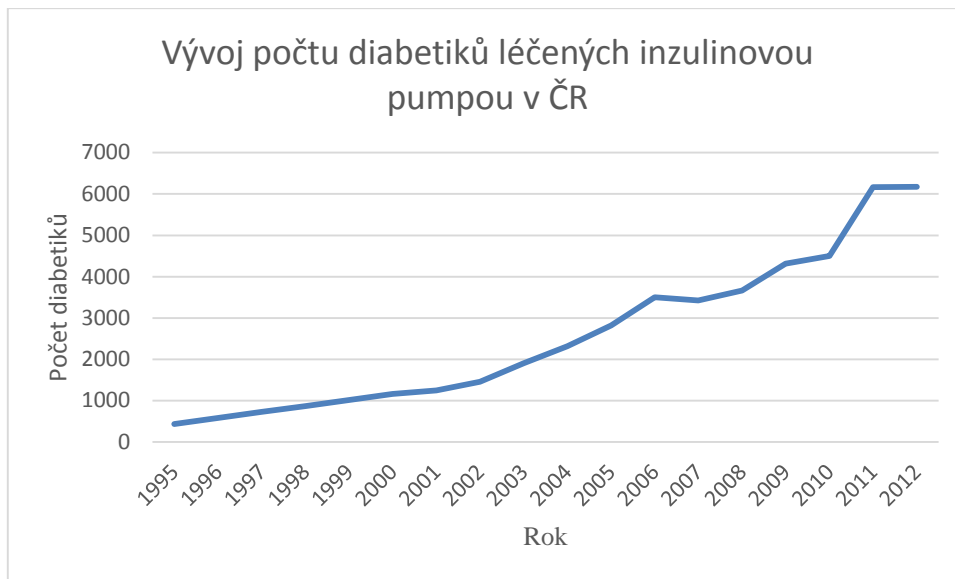
1.5.1.5. Vývoj počtu diabetiků léčených inzulínovou pumpou

Počet diabetiků léčených inzulínovou pumpou					Počet diabetiků		Uživatelů inz. pumpy [%]	
Rok	Celkem	DM 1. typu (E10)	DM 2. typu (E11)	Sekundární DM (E13)	Celkem	DM 1. typu	Celkem	DM 1. typu (E10)
1995	434				552 236	40 284	0,08	
2000	1161				654 164	46 083	0,18	
2001	1250				653 418	45 093	0,19	
2002	1456				667 135	47 089	0,22	
2003	1908				686 865	46 554	0,28	
2004	2319				712 079	48 217	0,33	
2005	2823				739 305	50 506	0,38	
2006	3504				748 528	51 070	0,47	
2007	3423				754 961	52 813	0,45	
2008	3666				773 561	54 474	0,47	
2009	4312				783 321	55 414	0,55	
2010	4501				806 230	55 811	0,56	
2011	6167	4787	1325	55	825 382	55 542	0,75	8,62
2012	6176	4840	1305	31	841 227	56 514	0,73	8,56

Tabulka 6: Vývoj počtu diabetiků léčených inzulínovou pumpou, zdroj: [11, Str. 23]

Počet pacientů léčených inzulínovou pumpou v ČR postupně narůstá. První inzulínové pumpy byly v ČR v osmdesátých letech, [15] ovšem kvalitou značně zaostávaly za dnešními pumpami a tak je pacienti začali užívat až v letech devadesátých. [16]

Od roku 1995 narostl počet pacientů léčených inzulínovou pumpou ze 434 na 6176 v roce 2012, nárůst tedy více než 14tinásobný. Reálný nárůst vzhledem k vyššímu počtu diabetiků byl z 0,08 % diabetiků užívající inzulínovou pumpu z jejich celkového počtu na 0,73 % v roce 2012, nárůst tedy devítinásobný, viz tabulka 6.



Graf 4: Vývoj počtu diabetiků léčených inzulinovou pumpou

Vývoj počtu diabetiků léčených inzulinovou pumpou zachycuje graf 4.

1.5.1.6. Úmrtnost

V průběhu roku 2012 zemřelo 23 886 osob s diabetickým onemocněním. Diabetes jako základní příčina úmrtí byl uveden v 2 247 případech. [11, Str. 10]

1.5.2. Svět

1.5.2.1. Incidence DM 1. typu v EU a vybraných zemích

Ve světě se velmi různí výskyt diabetu, ať už DM 1. typu nebo DM 2. typu a liší se právě i v závislosti na typu DM. Výskyt obou typů DM v ČR je nadprůměrný.

Pro porovnání výskytu DM ve světě bylo vybráno všech 28 zemí EU (Belgie, Bulharsko, ČR, Dánsko, Estonsko, Finsko, Francie, Chorvatsko, Irsko, Itálie, Kypr, Litva, Lotyšsko, Lucembursko, Maďarsko, Malta, Německo, Nizozemsko, Polsko, Portugalsko, Rakousko, Rumunsko, Řecko, Slovensko, Slovinsko, Spojené Království, Španělsko a Švédsko), vybrané země Evropy, které nejsou členy EU (Island, Makedonie, Norsko, Rusko a Švýcarsko), země Severní Ameriky (Kanada, Mexiko a USA), Jižní Ameriky (Argentina, Brazílie a Venezuela), Afriky (Egypt, Etiopie a Nigérie), Asie (Čína, Indie, Izrael, Japonsko a Saúdská Arábie) a Austrálie.

Pořadí	Země	Incidence [1/100 000]	Pořadí	Země	Incidence [1/100 000]
1	Finsko	57,6	25	Francie	12,2
2	Švédsko	43,1	26	Itálie	12,1
3	Saúdská Arábie	31,4	27	Rusko	12,1
4	Norsko	27,9	28	Maďarsko	11,3
5	Spojené Království	24,5	29	Slovinsko	11,1
6	USA	23,7	30	Izrael	10,4
7	Austrálie	22,5	31	Řecko	10,4
8	Dánsko	22,2	32	Bulharsko	9,4
9	Kanada	21,7	33	Švýcarsko	9,2
10	Nizozemsko	18,6	34	Chorvatsko	9,1
11	Německo	18,0	35	Egypt	8,0
12	Polsko	17,3	36	Litva	7,8
13	ČR	17,2	37	Brazílie	7,7
14	Estonsko	17,1	38	Lotyšsko	7,5
15	Irsko	16,3	39	Argentina	6,8
16	Malta	15,6	40	Rumunsko	5,4
17	Lucembursko	15,5	41	Indie	4,2
18	Belgie	15,4	42	Makedonie	3,9
19	Kypr	14,9	43	Nigérie	2,9
20	Island	14,7	44	Japonsko	2,4
21	Slovensko	13,6	45	Mexiko	1,5
22	Rakousko	13,3	46	Čína	0,6
23	Portugalsko	13,2	47	Etiopie	0,3
24	Španělsko	13,0	48	Venezuela	0,1

Tabulka 7: Odhad incidence DM 1. typu v EU a vybraných zemích, věk 0-14, rok 2014, zdroj:

[18]

Země s nejvyšším výskytem DM 1. typu ve věku 0-14 let jsou státy na světové mapě severně položené, zejména státy Skandinávie, výjimku tvoří Saúdská Arábie. Vůbec nejvyšší incidenci DM 1. typu má Finsko, odhad pro rok 2014 je 57,6 nových případů ročně na 100 000 dětí ve věku 0-14. Na druhém místě je pak soused Finska Švédsko (43,1), poté Saúdská Arábie (31,4), která přitom přibližně z půlky zasahuje i do tropického pásu, a tvoří v tomto seznamu jistou anomálii. Poté následuje další skandinávská země Norsko (27,9) dále Spojené

Království (24,5), které také lze považovat za zemi severní Evropy, navíc v rámci země převažuje výskyt diabetu ve Skotsku než ve zbytku země, vysoké hodnoty incidence DM 1. typu má i další severská země Dánsko. Státy střední Evropy mají hodnoty incidence o něco nižší, např. Nizozemsko (18,6), Německo (18,0), Polsko (17,3) nebo ČR (17,2). Oproti Skandinávii má výrazně nižší hodnoty i Island (14,7), ačkoliv leží severněji než skandinávské země a byl i kolonizován obyvateli Norska, Švédska a Dánska. Naopak státy jižní Evropy mají hodnoty ještě výrazněji nižší, např. Itálie (12,1) nebo Řecko (10,4), především pak jihoevropské země z bývalého východního bloku, např. Bulharsko (9,4), Rumunsko (5,4) a Makedonie (3,9), jejichž hodnoty jsou nejnižší v celé Evropě. Výjimkou jsou pobaltské země Litva (7,8) a Lotyšsko (7,5), jejichž hodnoty jsou výrazně nižší než v případě nedalekých zemí Finska, Švédska a Estonska.

I na jiných kontinentech jsou různorodé hodnoty incidence DM 1. typu. V Jižní Americe nejvyšší incidenci nalezneme v Brazílii (7,7), či v Argentině (6,8), naopak Venezuela má hodnoty vůbec nejnižší na světě (pouze 0,1). Oproti tomu Finsko má incidenci více než 500 x vyšší. Severní Amerika se podobá Evropě, nejhůře je na tom USA (23,7), přičemž vyšší incidenci mají Američané evropského původu než Afroameričané (přibližně v poměru 3:2), poté Kanada (21,7), naopak Mexiko je na výrazně odlišných číslech (1,5). Také Afrika má velké rozdíly mezi jednotlivými zeměmi. Vyšší výskyt DM 1. typu je na severu Afriky, např. Egypt (8,0), nižší hodnoty jsou pak v Nigérii (2,9), či v Etiopii (0,3). Vysokou různorodost najdeme i v Asii. Nejvyšší hodnoty má již zmíněná Saúdská Arábie, nižší poté Izrael (10,4), výrazně nižší hodnoty pak jsou v Indii (4,2), Japonsku (2,4) a Číně (0,6). Austrálie, i když zasahuje do tropického a subtropického podnebného pásu má jako jiné vyspělé země hodnotu incidence DM 1. typu vysokou (22,5), viz tabulka 7.

Důvody vyššího výskytu DM 1. stupně jsou uvedeny a rozebrány v kapitole 1.5. Epidemiologie DM.

1.5.2.2. Prevalence DM v EU a vybraných zemích

Země	Počet diabetiků [1/1000]	Nezjištěný DM [1/1000]	Prevalence DM [%]	Úmrtí v souvislosti s DM	Cena léčby pacienta [USD]
Argentina	1626	452	6,0	15 221	1422,73
Austrálie	859	464	5,1	4963	7931,05
Belgie	507	172	6,3	4076	5678,98
Brazílie	11 623	3229	8,7	116383	1527,57
Bulharsko	403	122	7,3	6299	611,64
Čína	96288	51273	9,3	1205923	421,32
ČR	729	248	8,9	7264	1669,56
Dánsko	337	115	8,3	3098	7505,37
Egypt	7593	3797	15,4	72372	213,20
Estonsko	73	25	7,7	932	1198,29
Etiopie	2135	1603	4,8	34262	32,73
Finsko	353	120	8,9	2894	4824,07
Francie	3241	1102	7,2	26183	5600,24
Chorvatsko	220	75	6,9	2107	1060,64
Indie	66847	35496	8,6	1039980	94,96
Irsko	208	71	6,4	1529	4977,38
Island	9	3	4,0	60	5207,42
Itálie	3516	1196	7,7	23062	3371,23
Izrael	309	105	6,4	2300	3294,68
Japonsko	7212	3891	7,6	64715	4908,07
Kanada	3034	841	11,6	17923	6741,48
Kypr	87	30	10,2	488	2295,60
Litva	109	37	4,8	1704	1098,05
Lotyšsko	104	35	6,7	1241	954,66
Lucembursko	22	8	5,8	170	9423,69
Maďarsko	565	171	7,5	7383	1158,60
Makedonie	180	55	11,4	1914	403,05
Malta	35	12	10,7	269	2113,78
Mexiko	9019	2255	11,9	68660	892,53
Německo	7279	2475	11,5	59543	4943,62
Nigérie	3747	1723	4,6	105091	178,39

Nizozemsko	887	302	7,2	7204	6943,11
Norsko	249	85	6,9	1658	11144,28
Polsko	2049	697	7,1	20535	1061,83
Portugalsko	1042	354	13,1	7994	2011,88
Rakousko	574	195	9,0	4335	6137,21
Rumunsko	1530	464	9,3	17286	490,64
Rusko	6763	2300	6,2	123483	1120,69
Řecko	585	199	7,0	4735	2354,47
Saúdská Arábie	3806	1549	20,5	25527	1067,32
Slovensko	387	132	9,3	4892	1633,93
Slovinsko	159	54	10,0	1434	2183,93
Spojené Království	2453	834	5,4	21406	4466,07
Španělsko	3704	1260	10,6	24428	3090,59
Švédsko	427	145	6,1	2929	6308,58
Švýcarsko	438	149	7,2	2487	10592,28
USA	25 779	714 346	11,4	198 208	10 902,17
Venezuela	1252	348	6,6	9778	935,45

Tabulka 8: Počet diabetiků 20-79 let a jejich prevalence v EU a vybraných zemích, zdroj: [19]

Nejvíce pacientů s DM na světě, ať už s DM 1. typu nebo 2. typu (DM 2. typu ovšem převažuje) najdeme v Číně, Indii, USA a Brazílii. Toto je ovšem způsobeno počtem obyvatel, první tři jmenované země jsou nejpočetnějšími zeměmi světa. [21]

Nejvíce diabetiků, kteří o ale svém onemocnění nevědí, je opět nejvíce v Číně, Indii a USA, opět zejména kvůli nejvyššímu počtu obyvatel. Celkový počet diabetiků je i tak nejvyšší v těchto zemích. Nejvyšší podíl pacientů se zjištěným a nezjištěným DM je v Africe; v Etiopii 43 %, Egyptu 33 % a Nigérii 32 %, a v Asii; v Číně, Indii a překvapivě i Japonsku shodně 35 %. Vysoký podíl zjištěného a nezjištěného diabetu má i Austrálie (35 %). Nejméně naopak na západní hemisféře, v Mexiku (20 %), USA, Kanadě, Brazílii, Argentině a Venezuele (22 %).

Mnohem více vypovídající údaj je ovšem prevalence DM. Vzhledem k vyššímu výskytu DM 2. typu než DM 1. typu data z tabulky 7 vypovídají spíše o DM 2. typu. NA rozdíl od DM 1. typu, který se vyskytuje spíše v severních oblastech, se DM 2. typu vyskytuje spíše v jižních oblastech. Nejvyšší prevalence DM z vybraných zemí je v arabském světě, v Saúdské Arábii (20,5 %) a Egyptě (15,4 %). Vysoké hodnoty prevalence jsou i v Portugalsku (13,1 %), Mexiku (11,9 %), Kanadě (11,6 %), Německu (11,5 %), Makedonie a USA (obě země 11,4 %). Obzvláště situace Makedonie se může zdát paradoxní, ačkoliv tato balkánská země má v Evropě nejnižší výskyt DM 1. typu, výskyt DM 2. typu má z Evropy jeden z nejvyšších.

Nejnižší hodnoty má naopak Island (4 %), Nigérie (4,6 %), Litva (4,8 %), Etiopie (4,8 %) a Austrálie (5,1 %). Vůbec nejnižší prevalenci DM na světě má Mali (1,3 %), Afrika obecně má nejnižší hodnoty výskytu DM (výjimkou jsou severoafrické arabské země). Naopak nejvyšší prevalenci DM mají tichomořské či karibské ostrovy, země s nejvyšším výskytem DM jsou Marshallovy ostrovy (37,4 %), více než každý třetí obyvatel země trpí DM. [19]

Data prevalence DM jsou mírně ovlivněna věkem, zatímco ve vyspělých zemích se lidé dožívají vyššího věku a s vyšším věkem roste pravděpodobnost onemocnění DM během života, v rozvojových zemích, pokud by se lidé dožívali stejného věku, jako v zemích vyspělých, byla prevalence DM vyšší. Např. Saúdská Arábie by byla na hodnotě 23,9 %, Portugalsko na hodnotě 9,6 % (rozdíl mezi těmito dvěma zeměmi by narostl o 6,9 %). [19]

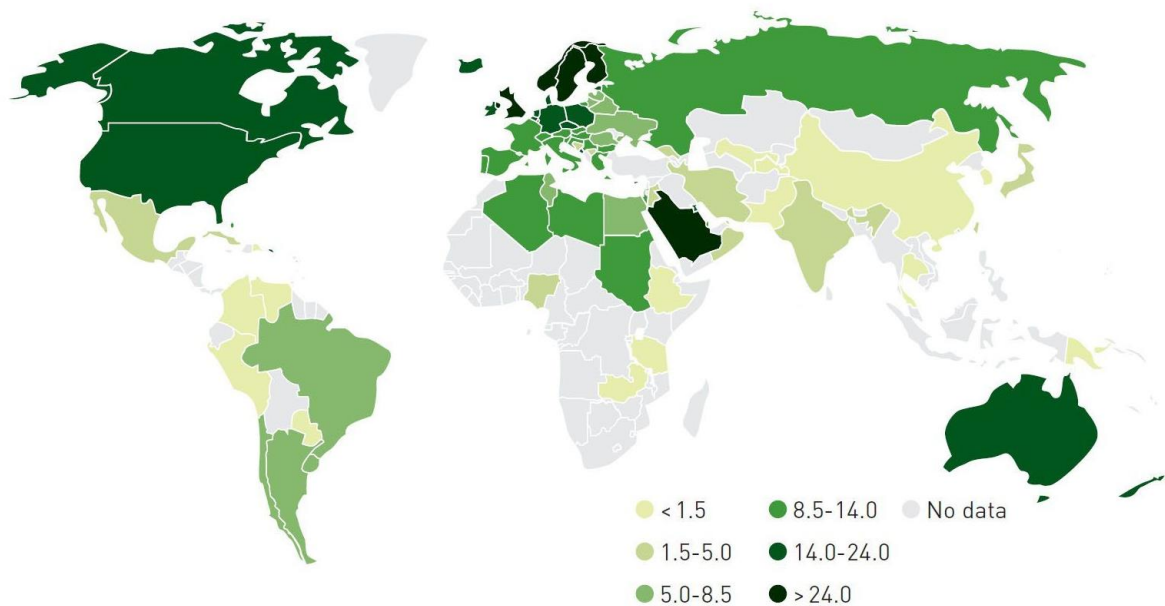
Nejvíce úmrtí v souvislosti s DM je připisováno opět nejlidnatějším zemím, Číně, Indii, USA a také Rusku. Nejvíce úmrtí vzhledem k počtu diabetiků má z vybraných zemí Nigérie, Rusko, Etiopie, Bulharsko a Litva, nejméně naopak Kypr, Švýcarsko, Austrálie, Kanada a Island.

Nejvíce peněz na jednoho pacienta se vydá ve vyspělých zemích, z vybraných zemí konkrétně v Norsku, USA, Švýcarsku, Lucembursku a Austrálii, naopak nejméně v rozvojových zemích, nejčastěji v Africe, z vybraných zemí konkrétně v Etiopii, Indii, Nigérii, Egyptu a také v Makedonii, viz tabulka 8.

1.6. Epidemiologie

1.6.1. DM 1. typu

Epidemiologie je výzkumným oborem, který se zabývá vztahem výskytu, charakteru, a průběhu onemocnění vzhledem k času, prostředí a dalším faktorům. [1, Str. 53]



Obrázek 3: Incidence DM 1. typu, 0-14 let, [1/100 000], rok 2011, zdroj: [20]

Při pohledu na tabulku 6 a obrázek 4 lze vidět výrazné geografické rozdíly v incidenci DM 1. typu. Obecně platí, že čím více na sever, tím větší incidence DM 1. typu, viz kapitola 1.5.2.1. Incidence DM 1. typu v EU a vybraných zemích, nejvyšší incidence DM 1. typu je ve Skandinávii, konkrétně ve Finsku, kde hodnota incidence DM 1. typu v posledních letech výrazně roste.

Prevalence a incidence	Vysoká	Nízká
Geografické vlivy	Sever	Jih
Sezona	Podzim, zima	Léto
Migrace	Přistěhovalí	Usedlí
Rasa	Bílá	Černá
Prostředí	Finsko	Estonsko

Tabulka 9: Epidemiologie DM 1. typu, zdroj: [1, Str. 55]

Zajímavé je, že přes léto incidence klesá, jako důvod je často uváděn výskyt virových infekcí přes zimu, které mohou pomoci k výskytu nemoci. [1, Str. 55]

Zajímavé je i srovnání Litvy a Lotyšska s Finskem, Švédskem a Dánskem. I když tyto země leží ve stejných geografických podmínkách, jejich hodnoty incidence jsou výrazně nižší. Podobně je na tom Makedonie a Rumunsko ve srovnání s jižněji ležícím Řeckem či ve stejných geografických podmínkách ležícím Španělskem a Itálií. Vysvětlení by tak šlo nalézt v životních

a hygienických podmínkách, které vysvětlují vyšší nárůst alergií a astmatu. V raném věku jsou infekce, v menší míře, důležité pro vývoj imunitního systému, čímž se zvyšuje odolnost proti alergiím a podle autorů této teorie také proti DM 1. typu. [1, Str. 55] [22]

Jistý vliv na vznik DM 1. typu mají i genetické faktory. Nebezpečí vzniku DM 1. typu dítěte matky s DM 1. typu je 2-3 %, u dětí otců s diabetem 4-6 %, pokud jsou oba diabetici, pak je nebezpečí 15-30 %. [1, Str. 564]

Podle odlišných geofondů by se daly vysvětlit i geografické rozdíly. Incidence DM 1. typu na italském ostrově Sardinie dosahuje hodnoty 49,3 %, čímž je po Finsku oblastí s nejvyšším výskytem DM 1. typu na světě. Sardinie byla historicky poměrně izolovaným ostrovem, např. jazyk Sardinie je od italštiny odlišný nebo právě incidence DM 1. typu je zde přibližně čtyřikrát vyšší než ve zbytku Itálie. Obyvatelé kanadského Montrealu s britským původem mají o 50 % vyšší incidenci než obyvatelé s francouzským původem. Avšak např. Finové mají geofond podobný spíše Estoncům či Rusům, kteří mají incidenci výrazně nižší než např. Švédové. Navíc k výraznému nárůstu DM 1. typu došlo v polovině dvacátého století a prudký nárůst trvá dodnes, za tuto dobu je ale velmi nepravděpodobné, že by došlo ke změně genetického fondu jednotlivých národů, viz tabulka 9. [20] [22] [23]

Věk	Chlapci	Dívky
0-4 roky	9,3	15,5
5-9 let	20,1	20,9
10-14 let	25,7	18,6
15-17 let	9,4	11,9

Tabulka 10: Incidence DM 1. typu v závislosti na věku a pohlaví, věk 0-17, roky 2004-2007, Benátsko, Itálie, zdroj: [24]

Nejohroženější věkovou skupinou pro vznik DM 1. typu jsou děti ve věku 4-6 let a poté 10-14 let, [21] onemocnění ale může propuknout v kterémkoli věku. [1, Str. 60] Podle výzkumu v italském regionu Benátsko z let 2004-2007 byla nejohroženější chlapeckou skupinou věk 10-14 let a poté věk 5-9 let, přičemž před pátým rokem a po čtrnáctém roku hodnota incidence výrazně klesla. Incidence DM 1. typu byla u dívek rovnoměrněji rozložena, viz tabulka 9. [24] Po dvacátém roku života se DM 1. typu objevuje spíše typ LADA, po čtyřicátém roku života se DM 1. typu neobjevuje téměř vůbec, případně je mylně zaměňován s DM 2. typu. [25]

Existují i další vědecky nepodložené hypotézy jako nedostatečné kojení v raném věku a nahrazování mateřského mléka kravským, otrava jedem na hubení krys (Pyrinuron), některé

léky, např. na léčbu pneumonie (Pentamidin) nebo některá antibiotika (Zanosar) nebo nejrůznější viry. [22] [25]

1.6.2. DM 2. typu

Prevalence	Vysoká	Nízká
Socioekonomika	Rozvinutá	Zanedbaná
Životní prostředí	Město	Venkov
Migrace	Přistěhovalí	Usedlí
Tělesná hmotnost	Obezita	Štíhlost
Fyzická aktivita	Sedavá	Vysoká
Výskyt DM v rodině	Pozitivní	Negativní

Tabulka 11: Epidemiologie DM 2. typu, zdroj: [1, Str. 57]

Diabetes mellitus 2. typu se vyskytuje v různé četnosti u všech ras a národů. Na rozdíl od diabetiků 1. typu má incidence svůj vrchol u mužů mezi 45 a 65 lety a u žen mezi 50 a 55 lety. Nejnížší prevalence je u Inuitů, nejvyšší u vědecky opakovaně prošetřovaných indiánů kmene Pima v Arizoně. V Evropě je nízká prevalence ve skandinávských zemích, relativně vysoká v jižní Evropě, viz kapitola 1.5.2.2. Prevalence DM v EU a vybraných zemích.

Nesporný vliv mají civilizační faktory a způsob výživy. Také hereditární (dědičné) faktory hrají významnou roli, viz tabulka 11. [1, Str. 56]

1.7. Akutní komplikace DM

1.7.1. Hyperglykemie

Hyperglykemie znamená vysokou hladinu glykemie v krvi (nad 11 mmol.l⁻¹), která je způsobena nedostatkem inzulínu nebo nadbytkem glukagonu. [1, Str. 363] [26]

1.7.1.1. Ketoacidóza

Diabetická ketoacidóza je akutní komplikací DM 1. typu, která vzniká nedostatkem inzulínu (obvykle spíše relativním než absolutním, tedy během jednoho dne, ne dlouhodobě). Stoupá hladina ketolátek v krvi a je spojena s hyperglykemií kolem 15 mmol.l⁻¹. Jsou dvě možnosti jejího vzniku, první při nově vzniklém DM 1. typu, kdy může být špatně nastavena kompenzace inzulínem od lékaře či chyby v léčbě od pacienta (málo podaného inzulínu, zapomenutí podání si inzulínu, nefunkčnost nebo špatná manipulace s inzulínovou pumpou apod.), druhá možnost je způsobena infekcemi, úrazy, operacemi apod.

Nastává pocit žízně, nevolnosti, zvracení a dušnost, později i ztráty vědomí, kdy může člověk upadnout až do kómatu. [1, Str. 362-364] [26]

1.7.1.2. Hyperglykemické kóma

Hyperglykemické kóma nastává při extrémní hyperglykemii s těžkou dehydratací a poruchami vědomí. Může dojít k selhání ledvin, arytmií, poruchám vědomí až ke kómatu. Mortalita je při hyperglykemii velmi vysoká i při adekvátní léčbě, až 50 %. [1, Str. 369-371]

Rozdíl mezi ketoacidózou a hyperglykemickým kómatem je, že při ketoacidóze se při výrazném inzulínovém deficitu uvolňují ketolátky, hyperglykemického kómatu předchází výrazná hyperglykemie. Ke ketoacidóze dochází i kolem relativně nižších glykemií (15 mmol.l⁻¹), k hyperglykemickému kómatu až při výrazně vysokých glykemiích (40 - 50 mmol.l⁻¹). Ketoacidóza je častější u diabetiků 1. typu, zatímco hyperglykemické kóma u diabetiků 2. typu. Mortalita je u ketoacidózy relativně nízká (2 %), u hyperglykemického kómatu výrazně vyšší (50 %). [26]

1.7.2. Hypoglykemie

Nastává při nízké koncentraci glukózy v krvi, což je nebezpečné především pro mozkovou tkáň, která nemůže používat volné mastné kyseliny, a glukóza je pro ní základním zdrojem energie. Nastává při hodnotě glykemie 3,3 mmol.l⁻¹, někdy ale diabetici mohou být již při této glykémii závažné klinické projevy, protože záleží i na rychlosti vzniku a délce trvání hypoglykemie a na i celkovém stavu těla.

Dělí se na lehké, těžké a domnělé. Lehké může pacient zvládnout sám, při těžkých je potřeba pomoc okolí, při domnělé je glykemie v normě nebo i nad normou, kdy glykemie prudce klesá. Dochází k ní také u obézních a špatně kompenzovaných nemocných s DM druhého typu.

Hypoglykemie bývají mírné a dvakrát do týdne nepředstavují pro organismus nebezpečí. K hypoglykemickému kómatu dojde v průběhu života asi u třetiny diabetiků. K hypoglykemiím dochází při zvýšené fyzické zátěži, vynechání pravidelného jídla, nesprávně zvolená dávka inzulínu či požití alkoholu. Protože je glukóza hlavním zdrojem energie pro mozek, který denně spotřebuje přibližně 100 g glukózy, zdravé tělo má velmi citlivý regulační systém β buňkami či jinými systémy umístěné např. v mozku. Při nižším stavu glykemie se aktivují procesy, kdy nejdříve klesne sekrece inzulínu při glykemickém prahu kolem 4,5 mmol.l⁻¹. Ve druhé fázi se zvýší sekrece glukagonu a adrenalinu při glykemickém prahu 3,6-3,9 mmol.l⁻¹. Glukagon zde stimuluje produkci glukózy v játrech. V další fázi se aktivují speciální nervy, které organismus připraví na blížící se hypoglykemii. V poslední fázi je zvýšená sekrece hormonů, které nachází uplatnění při dlouhých hypoglykemiích. Při hypoglykemii může dojít k poruchám koordinace, k infarktu nebo k mozkové příhodě.

Nebezpečný je DM v kombinaci s požíváním alkoholu. Alkohol blokuje glukoneogenezi v játrech, zatímco glykogenolýza není ovlivněna. Důvodem je, že je alkohol pro tělo jedem,

který se v těle spaluje právě v játrech. Prvořadý úkol jaterních buněk je se zbavovat jedů, takže primárně zpracovávají alkohol. Je-li alkoholu hodně, nemohou jaterní buňky uvolňovat glukózu glukoneogenezí a může se dostavit hypoglykemie. Ta u zdravého člověka nastat nemůže, protože probíhá glykogenolýza, kterou nastartuje glykogen, který ale (pacienti s DM 1. typu) nemají. Navíc typické projevy hypoglykemie a alkoholu v těle jsou podobné, zamlžené vidění, poruchy jemné motoriky, slabost či nevolnost. Diabetik tak hypoglykemií může snadno zaměnit za projevy alkoholu a glykemie tak může dál nebezpečně klesat. Alkoholické nápoje mohou glykemií i zvyšovat, pokud obsahují malé množství alkoholu a vysoké množství cukrů, např. pivo, které obsahuje maltózu (skládá se ze dvou jednotek glukózy). [27]

K hypoglykemií zpravidla nedochází u diabetiků léčených dietou, nejvíce ohroženi jsou naopak ti, kteří jsou léčeni inzulinem (zejména při DM 1. typu) při nesprávném odhadu podání inzulínu vzhledem k množství jídla či fyzické aktivitě. Diabetičky s gestačním diabetem nejsou ohroženy silnými hypoglykemiemi.

1.8. Chronické komplikace DM

Rok	Počet diabetiků celkem	Diabetická							
		nefropatie		retinopatie			noha		
		celkem	z toho s renální insuficiencí	celkem	z toho proliferativní	slepota	celkem	z toho s amputací pod kotníkem	nad kotníkem
1993	493110	26 207	5 121	47 437	9 073	1 321	40 444	4 185	
2012	841227	97 133	35 279	100 662	25 533	2 230	43 248	6 390	4 035
Nárůst [%]	71	271	589	112	181	69	7	149	

Tabulka 12: Vývoj počtů léčených osob s komplikací diabetu, zdroj: [11, Str. 22]

Nejnebezpečnějšími chronickými komplikacemi DM jsou diabetická nefropatie, diabetická retinopatie a diabetická noha. [1, Str. 435]

Tabulka 12 ukazuje nárůsty počtů diabetiků s různými diabetickými komplikacemi z roku 1993 na rok 2012. Ačkoliv byl nárůst diabetiků „pouze“ 71 %, počet diabetických komplikací narostl výrazně více. Nejvíce narostly komplikace s diabetickou nefropatií, téměř až čtyřnásobně. Relativně ubylo slepoty a diabetické nohy.

1.8.1. Diabetická nefropatie

Diabetická nefropatie je onemocnění ledvin, kdy dochází zejména k nízkému vylučování bílkovin a někdy vede až k selhání ledvin. [1, Str. 382]

1.8.2. Diabetická retinopatie

Diabetická retinopatie je ve vyspělých zemích mezi lidmi v produktivním věku nejčastější příčinou slepoty. V první fázi nemoci nastává poškození cév tam, kde je cévní stěna ztenčena,

tato fáze je ovšem reverzibilní. I další fáze je reverzibilní, i když dochází k prasknutí cév, ovšem až po několika měsících. V další fázi se ale mohou začít cévy ohybovat a může docházet k jejich kličkám, až dochází k úplné slepotě. [1, Str. 403-404, 410-415]

1.8.3. Diabetická neuropatie

Diabetická neuropatie je porucha nervových zakončení, kdy dochází k poškození nervových vláken. Svůj počátek má na dolních končetinách, protože tam jsou vlákna nejdelší. Jako hlavní důvod diabetické neuropatie je označována dlouhodobá hyperglykemie. [1, Str. 435-436, 438, 446, 491]

1.8.4. Ostatní komplikace DM

Mimo tři nejčastější komplikace DM dochází také k diabetické makroangiopatie, kdy dochází k kornatění tepen, a které je kvůli jejím důsledkům nejčastější příčinou úmrtí diabetiků. [1, Str. 450] Ischemická choroba srdeční vzniká na základě nedostatečného krevního zásobení myokardu. [1, Str. 454] Diabetická kardiomyopatie je poškození struktury myokardu, které může vést až k srdečnímu selhání. [1, Str. 480] Mimo jiné dochází k poruchám centrálního nervového systému, [1, Str. 484] gastroenterologickým poruchám, [1, Str. 513] steatóze jater, [1, Str. 520] častěji k osteoporóze [1, Str. 531] a různým kožním onemocněním. [1, Str. 539]

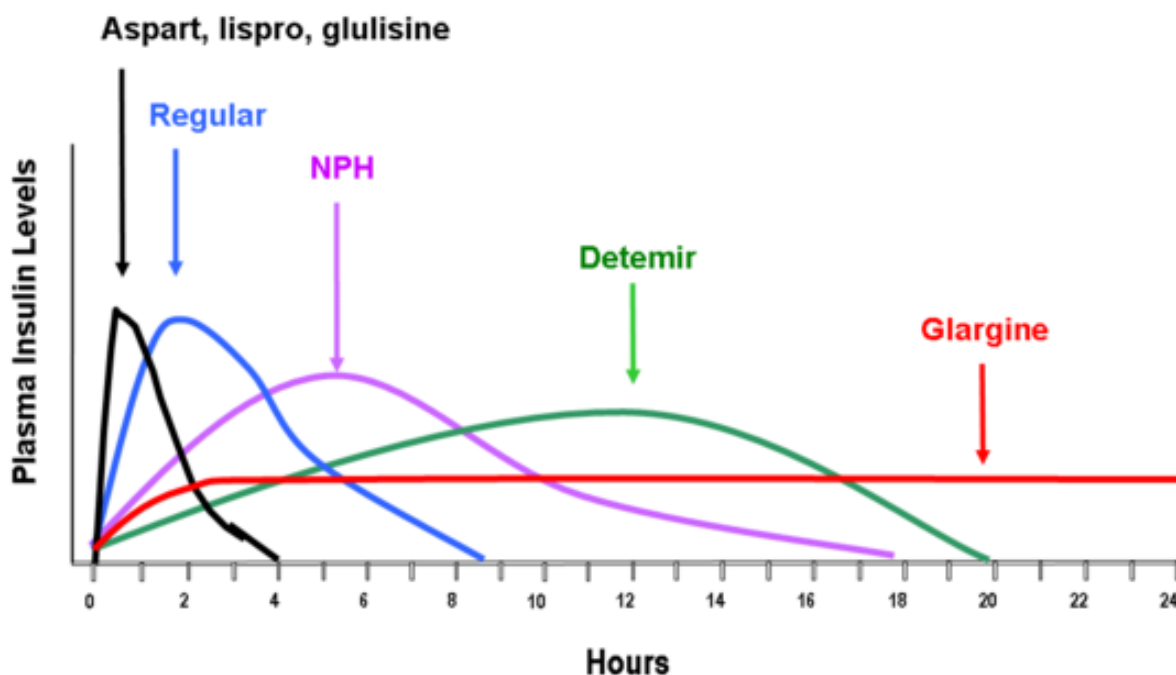
1.9. Kompenzace diabetu

Na způsobu kompenzace závisí typ DM a stupeň rozvinutosti DM (u DM 2. typu). DM 2. typu může být léčen pouze dietou, obvykle pak perorálními antidiabetiky. DM 1. typu je léčen ve většině případů pouze inzulinem, viz kapitola 1.5.1.4. Počty předepsaných jednotlivých druhů léčby podle typu DM.

1.9.1. Kompenzace inzulinem

Inzulin je podáván konvenčně, intenzifikovaně (injekčními stříkačkami nebo inzulinovými pery) nebo kontinuálně (inzulinovou pumpou). Perorální léčba inzulinem není možná z důvodu přítomnosti žaludečních kyselin v trávicím ústrojí. [28] Dříve byl na trhu inhalační inzulin Exubera od firmy Pfizer, vzhledem k vysokým nákladům, nutnosti velkých dávek a karcinogenních účinků byl stažen z trhu. V roce 2014 se dostal na trh jiný inhalační inzulin, Afrezza od firmy MannKind, který neporušuje plicní tkáň. [29]

Protože u DM je snížena nebo u DM 1. typu vyloučena sekrece α buněk produkujících glukagon, je u diabetiků glukóza dodávána obvykle příjmem potravy. V budoucnosti se ovšem očekává vývoj glukagonových pump, které by nahradily nefunkční α a β buňky, a dodávaly do těla jak inzulin, tak glukagon. [30]



Obrázek 4: Typy umělého inzulínu, zdroj: [31]

Existují různé typy umělého inzulínu, liší se časem začátku účinku, časem maximálního účinku, doby efektivního účinku a doby maximálního trvání. V inzulínových perech či pumpách je nejčastěji používaným typem inzulínu tzv. Ultra krátkce působící inzulín (v ČR dostupný Aspart, Lispro a Glulisine). Začíná působit přibližně 15 minut po podání, diabetik by tedy měl dostat dávku inzulínu o tento časový úsek před jídlem (u zdravých lidí se hladina inzulínu zvyšuje o něco dříve před jídlem, např. pohledem na jídlo, viz kapitola 1.2.3.2. Sekrece a regulace inzulínu). Krátkce působící (Regular) je např. inzulín produkovaný zdravým pankreatem, začíná působit přibližně půl hodiny po jídle, viz kapitola 1.2.3.1. Biosyntéza inzulínu. Středně dlouho působící inzulín (NPH) začíná působit 2-4 hodiny po podání, v krvi může působit až 18 hodin, funguje tedy spíše jako bazální inzulín a někdy je podáván během noci. Dlouho působící inzulín (Detemir, Glargine) začínají působit až po třech hodinách a působí přes dvacet hodin, užívají se ve speciálních případech, viz obrázek 4. [1, Str. 236-240] [31]

Dříve byl užíván zvířecí inzulín (vepřový či hovězí). Ačkoliv je v ČR registrován, při léčbě už se prakticky nepoužívá. [1, Str. 231]

Konvenční léčba inzulínem probíhá u pacientů s DM 2. typu či v počátečních fázích DM 2. typu, kdy stále probíhá vlastní sekrece inzulínu. Je aplikován v závislosti na typu inzulínu jednou (dlouho působící inzulín), dvakrát či třikrát denně. [1, Str. 247,248]

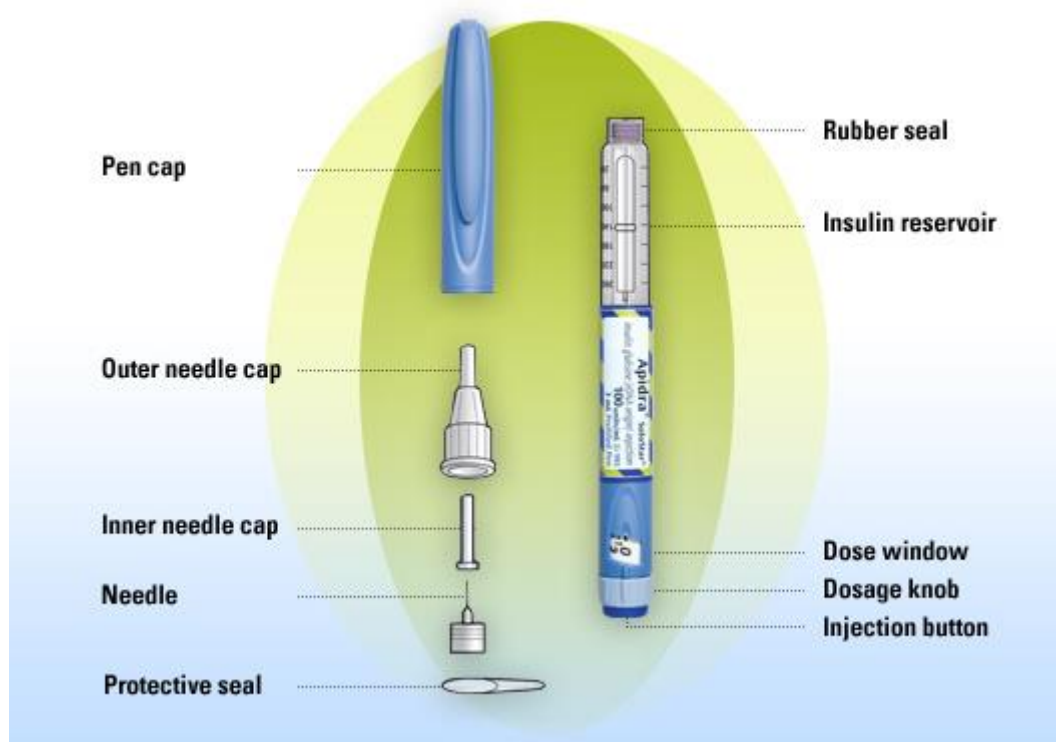
Intenzifikovaná léčba probíhá ve třech či více dávkách denně. Je běžná u pacientů s DM 1. typu či pacientů DM 2. typu s rozvinutými chronickými komplikacemi. Častěji se mohou vyskytovat hypoglykemie. [1, Str. 250,251]

Kontinuálně, tedy inzulinovou pumpou probíhá léčba při neuspokojivé kompenzaci nebo na přání pacienta. [1, Str. 256]

1.9.1.1. Inzulinové injekční stříkačky

Inzulinové injekční stříkačky jsou nejjednodušším typem aplikace inzulinu, vzhledem k inzulinovým perům ale nejsou tolik komfortní.

1.9.1.2. Inzulinová pera



Obrázek 5: Inzulinové pero, zdroj: [32]

Inzulinová pera pracují na podobném principu jako injekční stříkačky, jen jsou vyráběné přímo pro diabetiky a jsou tak pohodlnější. Jejich součástí jsou bombičky (cartridge, penfilly nebo patrony) o objemu 3 ml, které obsahují inzulin o koncentraci $100 \text{ IU} \cdot \text{ml}^{-1}$, celkově 300 IU (případně o objemu 10 ml). Zdravému člověku by toto množství vydrželo přibližně na deset dní, pacientovi s DM kvůli zvýšené rezistenci na inzulin o něco méně. Inzulin se aplikuje vstříkáním do břicha, paží, hýždí nebo stehna. V závislosti na typu dávkovače jsou schopna buď jednorázového, nebo častěji opakovaného použití. Pero obsahuje píst, jehož stlačením se do těla vstříkne inzulin. Aplikace inzulinu je tak pohodlnější a zároveň jednodušší i pro laika v případě, že diabetik není schopen sám si aplikovat dávku inzulinu. [1, Str. 243-246]

1.9.1.3. Inzulinové pumpy



Obrázek 6: Inzulinová pumpa, zdroj: [33]

Kontinuální infuze inzulínu inzulinovou pumpou napodobuje algoritmus bazální a prandiální sekrece inzulínu. Inzulín je aplikován kanylou zavedenou do břicha či stehna. Tento druh léčby je často aplikován v případech nástupu orgánových komplikací, v těhotenství, při novém záchytu DM 1. typu, u nepravidelného denního režimu nebo na přání pacienta. U DM 2. typu není kompenzace pomocí inzulinových pump častá.

Na počátku léčby inzulinovou pumpou je nutná edukace a hospitalizace pacienta (přibližně jeden týden), kdy je diabetik pod neustálým dohledem a má možnost 24 hodinového kontaktu s personálem.

Na rozdíl od inzulinových injekčních stříkaček a inzulinových per je aplikován jak inzulín prandiální, tak i inzulín bazální. Díky tomu tak při správné manipulaci minimálně dochází k vysokým hyperglykemiím a ke ketoacidózám. Obvykle k nim dochází při ucpání či zalomení kanyly, při úniku inzulínu ve spojích, při vzduchové bublině v kanyle, pokud je slabá baterka v přístroji nebo dojde k závadě na zařízení a v případě alergických a zánětlivých projevů v místě vpichu. Pro některé pacienty může být i nekomfortní neustálé nošení přístroje, včetně spánku nebo sportu, hrozí také jeho poškození nebo zničení. Pacient může při zafixování kanyly inzulinovou pumpou na krátkou časovou dobu odložit (1-2 hodiny), např. při sprchování, plavání, sportu obecně. Výměna kanyly probíhá jednou za 3-4 dny.



Obrázek 7: Displej inzulínové pumpy s glukózovým senzorem, zdroj: [34]

Inzulínové pumpy kromě základní funkce zajištění přísunu inzulínu mají i přidané funkce. Na displeji může diabetik shlédnout vývoj glykémie v čase (pokud diabetik používá i glukózový senzor, viz kapitola 2.3.3.1. Invazivní zařízení), současný stav glykémie nebo čas. Množství bazálního inzulínu si může diabetik na displeji nastavit různě dopředu během dne, ke změně může dojít např. v noci během spánku, viz obrázek 7.

Existuje i implantabilní inzulínová pumpa, jejich využití je ovšem omezené vzhledem k její ceně.

V ČR jsou inzulínové pumpy dostupné od firem Roche, Medtronic, Johnson and Johnson a Sooil Develop. [1, Str. 256, 258-260, 262-264]

1.9.2. Kompenzace glukagonem

Existují i prototypy multifunkčních zařízení, které dodávají do těla inzulín, glukagon a zároveň měří kontinuálně glykémii. Takovéto přístroje by dokázaly plně nahradit lidskou slinivku. Nevýhodou je jejich nízká spolehlivost a častá kalibrace. [35]

1.9.3. Léčba hyperglykémie

Zatímco hyperglykémie je závažná spíše v krátkodobém časovém úseku, hyperglykémie dlouhodobě. Pro správnou kompenzaci glykémie a zabraňování hyperglykemií je třeba nastavit správný přísun inzulínu (u diabetiků léčených inzulínem) během dne, tedy množství inzulínu podaného před jídlem u inzulínu podávaného jednorázově, případně množství bazálního inzulínu podávaného kontinuálně. Akutní hyperglykémie se léčí podáním inzulínu.

1.9.4. Léčba hypoglykemie

Na rozdíl od hyperglykemií jsou hypoglykemie akutního charakteru, a každá hypoglykemie se léčí zvlášť. Pokud hypoglykemie se opakují častěji (alespoň jednou během dvou dní), je třeba upravit kompenzaci inzulínu podobně. Akutní hypoglykemie se léčí podáním sacharidů, sladkého nápoje nebo nejlépe glukózy (hroznový cukr). Pokud nemocný není schopen příjmu potravy, podává se injekčně roztok glukózy. U diabetiků léčených inzulínem kontinuálně se sníží bazální dávka inzulínu. [1, Str. 353,354]

2. Možnosti detekce hypoglykemie během řízení motorových vozidel

2.1. Řízení motorových vozidel diabetiky

Podle § 3 odst. 1 ze Zákona 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích se provozu na pozemních komunikacích se nesmí účastnit osoba, která by vzhledem k věku nebo ke sníženým tělesným nebo duševním schopnostem mohla ohrozit bezpečnost tohoto provozu. To neplatí, pokud osoba sama nebo jiná osoba učinila taková opatření, aby k ohrožení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích nedošlo.

Podle § 85 odst. 1-4:

- *posouzení zdravotní způsobilosti provádí posuzující lékař na žádost žadatele o řídičské oprávnění nebo držitele řídičského oprávnění. Náklady na posouzení zdravotní způsobilosti hradí žadatel,*
- *po provedení lékařské prohlídky, popřípadě odborného vyšetření vydá posuzující lékař žadateli posudek o zdravotní způsobilosti,*
- *posudek o zdravotní způsobilosti musí mít písemnou formu,*
- *posuzující lékař v posudku o zdravotní způsobilosti uvede zjištěný zdravotní stav z hlediska zdravotní způsobilosti žadatele o řídičské oprávnění nebo držitele řídičského oprávnění a hodnocení jeho zdravotní způsobilosti. ⁴*

Záleží tak na lékaři, který určí, jestli je diabetik vzhledem k výskytu chronických komplikací DM a jejich závažnosti oprávněn řídit vozidlo.

Podle přílohy č. 3 části V. vyhlášky č. 277/2004 Sb. o zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel:

Nemoc diabetes mellitus vylučující nebo podmiňující zdravotní způsobilost k řízení motorových vozidel:

Nemoc diabetes mellitus vylučuje zdravotní způsobilost k řízení motorových vozidel, pokud způsobuje takové zdravotní komplikace, které jsou nebezpečné pro provoz na pozemních komunikacích, a to zejména:

pro skupinu 1 a 2:

- *druhá a další hypoglykémie, která se vyskytne během období 12 měsíců od první hypoglykemie a k jejímuž zvládnutí je třeba pomoci další osoby,*

⁴ [36] Zákon o provozu na pozemních komunikacích

- *druhá a další hypoglykémie, která se vyskytne během období 12 měsíců od první hypoglykemie, a to bez varovných příznaků nebo si je žadatel nebo řidič neuvědomuje.*

Stavy související s nemocí diabetes mellitus, které ovlivňují bezpečnost provozu na pozemních komunikacích a u kterých lze žadatele nebo řidiče uznat za zdravotně způsobilého k řízení motorového vozidla pouze na základě závěrů odborného vyšetření:

pro skupinu 1:

- *stav do 12 měsíců po první hypoglykemii vyžadující pomoc druhé osoby,*
- *diabetes mellitus doprovázený orgánovými komplikacemi.*

pro skupinu 2:

- *nemoci, vady nebo stavy stanovené pro skupinu 1, pokud dále není stanoveno jinak,*
- *diabetes mellitus, pokud byla zahájena léčba léky, které nesou riziko vyvolání hypoglykémie, a v předcházejících 12 měsících nedošlo k žádné hypoglykemii vyžadující pomoc druhé osoby, neexistují zdravotní komplikace vzniklé v souvislosti s diabetes mellitus a řidič nebo žadatel:*
 - *si hypoglykémii nebo její varovné příznaky uvědomuje,*
 - *je schopen doložit pravidelné měření glykemie, které provádí alespoň dvakrát denně, a jde-li o řidiče, pak v době související s řízením,*
 - *prokáže, že rozumí rizikům, která hypoglykémie přináší; způsob prokázání zaznamená lékař do zdravotnické dokumentace vedené o posuzované osobě.*

Pravidelná lékařská kontrola zdravotního stavu lékařem příslušné specializované způsobilosti je podmínkou zdravotní způsobilosti vždy, provede se nejméně jedenkrát za 3 roky.

Pro účely vyhlášky jsou řidiči vozidel rozděleni do dvou skupin:

- *skupina 1:*
 - *žadatelé a držitelé řidičských oprávnění skupiny A, B a B+E a AM a podskupiny A1 a B1 (§ 81 zákona č. 361/2000 Sb.),*
- *skupina 2:*
 - *řidiči, kteří řídí motorové vozidlo v pracovněprávním vztahu, a u nichž je řízení motorového vozidla druhem práce sjednaným v pracovní smlouvě,*
 - *řidiči vozidla, kteří při plnění úkolů souvisejících s výkonem zvláštních povinností užívají zvláštního výstražného světla modré barvy, popřípadě doplněného o zvláštní zvukové výstražné znamení,*

- řidiči, u kterých je řízení motorového vozidla předmětem samostatné výdělečné činnosti prováděné podle zvláštního právního předpisu,
- žadatelé a držitelé osvědčení pro učitele řidičů pro výcvik v řízení motorových vozidel podle zvláštního právního předpisu,
- žadatelé a držitelé řidičských oprávnění skupiny C, C+E, D, D+E a T a podskupiny C1, C1+E, D1 a D1 + E (§ 81 zákona č. 361/2000 Sb.).⁵

Pro diabetiky je tak klíčová hypoglykemie, o hyperglykemii se vyhláška nezmiňuje. Dále o způsobilosti k řízení rozhodují orgánové komplikace, o kterých rozhoduje lékař, jedná se např. o komplikace způsobené diabetickou retinopatií (viz kapitola 1.8.3. Diabetická retinopatie). Pro řidičská oprávnění skupiny 2 jsou pravidla přísnější, jedná se ale opět o výskyt hypoglykemií.

Řidiči diabetici by správně měli být edukováni ve vztahu řízení vozidel a DM. Podle průzkumu IMMORTAL se pouze třetina testovaných diabetiků dostala speciální poučení o řízení motorových vozidel. [38, Str. 10,11]

Pacienti jsou pouze poučeni o zásadách životosprávy:

- *Nepokračujte v řízení motorového vozidla v době obvyklého jídla,*
- *mějte při řízení vždy po ruce zásobu cukru či sušenek,*
- *při známkách hypoglykémie ihned zastavte, vyndejte klíčky ze zapalování a pokud možno opusťte vůz,*
- *po zajedení hypoglykémie počkejte nejméně 10 – 15 minut, dokud příznaky úplně neodezní.*⁶

Edukace pacienta by měla probíhat jak pro diabetiky – žadatele o řidičský průkaz, tak pro řidiče – diabetiky s nově rozpoznaným onemocněním.

Podle studie z roku 1993 skupiny Cox a kolektiv 44 % zkoumaných diabetiků uvedlo, že na hypoglykemie nereagovalo, a že se dalo řídit i za těchto podmínek. [39]

2.2. Nehodovost způsobená řidiči diabetiky

V případě DM je problematické prokázat ovlivnění touto chorobou, respektive momentálním stavem, jako příčinu dopravní nehody. Ve statistikách je v lepším případě tento faktor skryt pod společnou kategorií ovlivnění řidiče nemocí.

⁵ [37] Vyhláška o zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel.

⁶ [1, Str. 694] PELIKÁNOVÁ, Terezie a Vladimír BARTOŠ. *Praktická diabetologie*

Charakteristikou těchto nehod je nepřiměřený způsob jízdy, zejména bezdůvodná pomalá rychlost, vyjetí do protisměru, náraz vozidla do překážky nebo ztráta vlády nad vozidlem.

Podle výsledků projektu IMMORTAL, kdy byla testována skupina diabetiků na simulátoru řízení motorového vozidla:

- *nebyly prokázány významnější odchylky psychické výkonnosti řidičů diabetiků od běžné řidičské populace, které by vedly k vyslovení jejich nižší psychické způsobilosti. Individuálně však byly zjištěny již vážné nedostatky a problémy, naznačující jistý stupeň deteriorace základních psychických funkcí,*
- *vliv diabetu na dopravní chování je rovněž statisticky neprůkazný, častěji však byly zaznamenány projevy únavy, ztráty koncentrace pozornosti, agresivní reakce na chování ostatních účastníků silničního provozu.*⁷

*Testovaná skupina ale po dobu testování nebyla měřena glykemií a lze předpokládat jiné chování při hypoglykémii.*⁸

V rámci projektu IMMORTAL byl proveden výzkum účasti na dopravní nehodě diabetiků během posledních tří let a porovnán s výsledky projektu SARTRE 3. [40]

Dopravní nehody běžné řidičské populace:

- *s hmotnou škodou: 24 %,*
- *se zraněním 9 %.*

Dopravní nehody experimentálního vzorku diabetiků:

- *s hmotnou škodou 47,6 %,*
- *se zraněním 4,8%.*⁹

V porovnání tedy mají diabetici dvojnásobnou účast na dopravních nehodách s hmotnou škodou, poloviční naopak při nehodách se zraněním, než běžná populace.

Podle studie z roku 2010 skupiny Almoutaz A. Ahmed během dvou let 19 % řidičů s DM 1. typu způsobilo dopravní nehodu (oproti 12 % řidičů s DM 2. typu a 8 % zdravých řidičů). [41]

Podle studie z roku 2002 skupiny Vernon a kolektiv je pravděpodobnost nehody u diabetiků 1,38 x větší.

⁷ [38, Str. 57] Projekt IMMORTAL

⁸ [38, Str. 15] Projekt IMMORTAL

⁹ [38, Str. 24] Projekt IMMORTAL

Podle studie z roku 1994 skupiny Koepsell a kolektiv je pravděpodobnost způsobení nehody 2,6 x vyšší u starších diabetiků; 5,8 x vyšší u diabetiků léčených inzulinem; 0,9 x vyšší u diabetiků léčených pouze inzulinem; 3,9 x vyšší u diabetiků s onemocněním déle než pět let; 1,4 x vyšší u diabetiků s onemocněním méně než pět let a 8,0 x vyšší u diabetiků se srdečními problémy.

Podle studie z let 1999 a 2000 skupiny McGwin a kolektiv diabetici nad 65 let způsobí 0,7 x více nehod než zdraví lidé; 1,3 x více nehod diabetici s retinopatií a 2,2 více nehod s neuropatií.

Podle studie z roku 1998 skupiny Eadington and Frier diabetici způsobují méně nehod než zdraví lidé. Z nehod diabetiků bylo 16 % způsobeno hypoglykemií.

Podle studie z roku 1988 skupiny Songer a kolektiv diabetici způsobují 0,99 x více nehod než zdraví lidé. Podle studie se ale liší počet nehod vzhledem k pohlaví, ženy způsobují 5,73 x více nehod, než řidiči nediabetici. Tento výsledek ale může být dán malým souborem pouze 158 respondentů. Pokud diabetici způsobili nehodu, byla způsobena v 6 % hypoglykemií.

Podle studie z roku 2002 skupiny Songer a kolektiv nebyly nehody diabetiků způsobeny neodhalením hypoglykemií nebo přítomnosti neuropatie, ale těžkými hypoglykemiemi. [39, Str. 21,22] [42, Str. 178-180]

Podle [43] je v Rakousku jedna nehoda z tisíce způsobena hypoglykemií diabetika.

Podle studie z roku 2010 skupiny A. Kagan, G. Hashemi a N. Korner-Bitensky je pravděpodobnost vzniku nehody 1,04x – 3,24x vyšší u diabetiků. [44]

Prozatím bylo uskutečněno několik studií, obecně ale pouze formou dotazování, kdy diabetici pouze podle vlastního uvážení mohli sdělovat, jestli byla nehoda způsobena jejich hypoglykemií. Také u nehod s usmrceními je velmi složité prokázat jako hlavní důvod nehody hypoglykemií.

2.3. Projevy a nebezpečí hypoglykemie během řízení automobilu

Během dne u diabetiků může docházet k hypoglykemiím nebo hyperglykemiím. Standartní glykemie se pohybuje přibližně od 3,3 mmol.l⁻¹ – 6,3 mmol.l⁻¹, [45] projevy hypoglykemie nebo hyperglykemie se ale u diabetiků mohou projevovat i v tomto rozmezí, při jídle také glykemie stoupá (i u nediabetiků).

Hyperglykemie není akutně nebezpečná, protože nastává až při hodnotách nad 11mmol.l⁻¹, tedy při hodnotách glykemie přibližně dvojnásobných, než jsou standartní hodnoty.

Ketoacidóza či jiné komplikace nastávají až při glykemii 15 mmol.l^{-1} , tedy při trojnásobné glykemii. Výrazné problémy na psychický stav člověka mají glykemie až kolem 25 mmol.l^{-1} , k takovým hodnotám se obecně diabetik při nesprávné kompenzaci dostane až v průběhu jednoho dne, pacient má obvykle čas zařídit si dodávku inzulínu a zvládnout hyperglykémii, proto při řízení vozidla není hyperglykemie akutně nebezpečná, viz kapitola 1.7.1. hyperglykemie.

Z tohoto důvodu se také vyhláška č. 277/2004 Sb. o zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel zmiňuje pouze o komplikacích s hypoglykemií (viz kapitola 2.1. řízení vozidel diabetiky).

Aktivita	Výdej energie [$\text{kJ.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$]
Běh 11 km.h^{-1} po rovině	0,80
Chůze $5,0 \text{ km.h}^{-1}$ po rovině	0,28
Jízda na kole $20-22 \text{ km.h}^{-1}$ po rovině	0,56
Plavání prsa rekreačním tempem	0,62
Řízení automobilu	0,14
Sezení	0,10
Spánek	0,06

Tabulka 13: Výdej energie u jednotlivých aktivit, zdroj: [46]

Řízení automobilu je fyzickou aktivitou, při které se spotřebovává energie, a u diabetiků může docházet k hypoglykemiím. U některých sportů je doporučováno diabetikům s diabetickou pumpou snížit až vypnout přívod bazálního inzulínu. Během řízení automobilu je výdej energie také vyšší než u sezení a zejména při dlouhém řízení je pravděpodobnost stavu hypoglykemie zvýšená. Porovnání výdeje energie při různých aktivitách ukazuje tabulka 13.

K hypoglykémii dochází při glykemii $3,3 \text{ mmol.l}^{-1}$, příznaky hypoglykemie se mohou projevovat i při vyšších glykemiích. Při glykemiích $2,8 - 3,0 \text{ mmol.l}^{-1}$ se dostávají příznaky neuroglykopenie (nedostatečné energetické zásobení mozku), [1, Str. 351] při nižší glykemii může dojít v krajní situaci až k hypoglykemickému kómatu (k tomu dochází za život přibližně u jedné třetiny diabetiků), viz kapitola 1.7.2. Hypoglykemie.

Projevy hypoglykemie jsou odlišné, jak u různých lidí, tak i ale u jednotlivce a jednotlivých hypoglykemií. Podle výzkumu mezi dětskými i dospělými pacienty jsou nejčastějšími projevy následující:

- slabost (66 %),
- třes rukou (64 %),
- nevěle (43 %),

- *pocení (40 %),*
- *zmatenost (17 %),*
- *bušení srdce (15 %),*
- *dravý hlad (4 %),*
- *žádné příznaky (13 %).¹⁰*

Obecně dochází k těmto příznakům:

- *snížená neuropsychická výkonnost,*
- *nevolnost,*
- *bolest hlavy,*
- *zamlžené vidění,*
- *porucha jemné motoriky,*
- *celková slabost,*
- *křeče,*
- *třes,*
- *pocení,*
- *tachykardie,*
- *nervozita,*
- *hlad.¹¹*

Při řízení vozidla může být problémem především snížená neuropsychická výkonnost, bolesti hlavy, zamlžené vidění, poruchy jemné motoriky a celková slabost. Koncentrace na řízení je snížena a pravděpodobnost způsobení nehody tedy roste.

Mimoto mohou mít na řízení vliv i chronické komplikace diabetu, např. zhoršené vidění z důvodu retinopatie, jestli je pacient schopný řízení určí lékař.

¹⁰ [27, Str. 43] LEBL, Jan. *Abeceda diabetu: příručka pro děti, mladé dospělé a jejich rodiče*

¹¹ [1, Str. 352] PELIKÁNOVÁ, Terezie a Vladimír BARTOŠ. *Praktická diabetologie*

2.4. Standartní měření glykemie (v klidu)

2.4.1. Měření glykemie glukometry



Obrázek 8: glukometr s testovacím proužkem, zdroj: [47]

Dnes se glykemie měří nejčastěji pomocí glukometru. Jsou založeny na principu měření glykemie z kapky krve (vytvořené např. účelným píchnutím jehly do prstu) nanesené na testovací proužek, které obsahují látky, které s glukózou reagují, nejčastěji enzymy. Je to přístroj o kapesní velikosti napájený baterií, takže ho může diabetik snadno přenášet.

Nejdůležitější součástí přístroje jsou testovací proužky. Jsou to jednorázová zařízení, obvykle dodávaná pojišťovnou, o délce přibližně 3 cm. [48, Str. 10,11]

Podle přílohy č. 3 oddílu C ze Zákona č. 48/1997 Sb. o veřejném zdravotním pojištění a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů mají diabetici nárok na testovací proužky:

- max. 400 ks za rok; po předepsání DIA,
- max. 1.000 ks za rok; pro pacienty léčené intenzifikovaným inzulínovým režimem nebo inzulínovou pumpou; po předepsání DIA a po schválení revizním lékařem,
- max. 1.800 ks za rok - do 18 let a pro těhotné diabetičky; po předepsání DIA a po schválení revizním lékařem. [49]

Existují dvě metody měření, fotometrická a elektrochemická, která v dnešní době převažuje. [48, Str. 11]

2.4.1.1. Fotometrické glukometry

Fotometrické senzory fungují na bázi reakce glukózy a látkou na ploše testovacího proužku, který se po reakci zbarví. Následně je proužek vystaven světlu, které se částečně odrazí, částečně proužkem projde. Glykemie se změří z absorbance při určité vlnové délce nebo podle intenzity odraženého paprsku.

V současné době už nejsou časté, používají se spíše elektrochemické glukometry. Důvodem je nepřesnost měření, protože na proužek dopadá i venkovní světlo. Další nevýhodou je poměrně dlouhá doba měření. [48, Str. 27,28]

2.4.1.2. Elektrochemické glukometry

Novější typy glukometrů pracují na elektrochemickém principu. Krev se dostane do proužku kapilárou. Poté se glukóza oxiduje a vznikne peroxid vodíku. Podle toho, kolik je v krvi glukózy, tolik vznikne molekul peroxidu vodíku. Ten se rozkládá v glukometru na kationy vodíku a aniony kyslíku, které pak putují ke katodám opačným směrem, čímž vzniká elektrický proud. Velikost proudu je pak úměrná glykemii.

Existují i jiné typy glukometrů, které také fungují na elektrochemickém principu. Mohou fungovat za použití mediátorů, tedy látek fungujících jako přenašeče elektronů, nebo na principu využití glukóza-dehydrogenázy. Tato metoda je ale ekonomicky nevýhodná. [48, Str. 19-21,25,27-28]

2.4.2. Kontinuální měření glykemie

Druhy kontinuálního měření glykemie lze rozdělit do tří skupin:

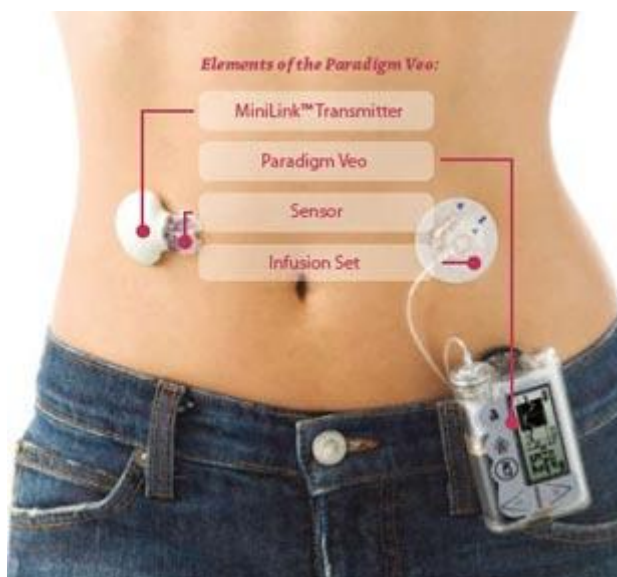
- invazivní – senzor je zaveden do podkoží nebo do krevního řečiště,
- semiinvazivní (či minimálně invazivní) – glykemie se měří z tkáňového moku velmi tenkou jehlou nebo vysáváním tkáňového moku přes miniaturní otvory v kůži vytvořené např. laserem nebo ultrazvukem,
- neinvazivní – nedochází k poruše kůže. [48, Str. 35,36]

2.4.2.1. Invazivní zařízení



Obrázek 9: Glukózový sensor, zdroj: [50]

V současnosti je nejčastější podkožní implantovatelné zařízením jehlového typu. V principu jde o elektrodu a glykemie se měří elektrochemicky za využití enzymu GOx. Senzor vydrží 1 – 2 týdny a jeho výměna není složitá, diabetik výměnu může zvládnout sám, viz obrázek 9. Zařízení měří glykemii v krvi každých 5-10 minut (v závislosti na modelu).



Obrázek 10: Glukózový senzor komunikující s inzulínovou pumpou, zdroj: [51]

Některá zařízení jsou schopna komunikovat s inzulínovou pumpou pomocí Bluetooth, viz obrázek 10. Diabetik tak může sledovat hodnotu glykemie na displeji inzulínové pumpy. Vzhledem k nižší spolehlivosti senzoru na měření glykemie (než glukometry), především kvůli

jejich nízké odolnosti proti otřesům a okolní teplotě, zatím inzulínové pumpy nefungují automaticky a pacient si inzulín měří sám. [48, Str. 36]

2.4.2.2. Semiinvazivní zařízení

Semiinvazivním systémem je např. systém využívající elektrický proud mezi dvěma elektrodami, které musí být v dotyku s kůží. Tím se dostane tkáňový mok k povrchu kůže a zde z ní glukóza přestupuje do hydrogelového polštářku obsahujícího GOx, kde probíhá reakce. Glykemie se měří jednou za deset minut. Měření je ovšem komplikováno fyziologickým stavem těla, např. z důvodu pocení. [48, Str. 37]

2.4.2.3. Neinvazivní zařízení

V posledních letech se zkouší měřit glykémii pomocí neinvazivních zařízení, zatím jsou ovšem velmi nepřesné a nespolehlivé. Pracují na těchto principech:

- přímé měření glukózy v tkáňovém moku nebo potu,
- infračervené spektroskopie,
- fluorescenční nebo radiofrekvenční spektroskopie,
- pulsní laserová fotoakustická spektroskopie,
- FIR (far-infrared) spektroskopie,
- analýza dechu.

I přes intenzivní výzkum nových metod jsou stále nejčastějšími zařízeními na měření glykemie glukometry. Novější metody se obecně potýkají s nízkou spolehlivostí. Pro glukometry je s ohledem na platnou legislativu používána ISO norma (při glykémii pod $4,2 \text{ mmol.l}^{-1}$ je odchylka měření nejvýše $0,83 \text{ mmol}$ a při glykémii nad $4,2 \text{ mmol.l}^{-1}$ může nastat nejvýše 20 % chyba). Pro kontinuální monitoring hypoglykemie zatím žádné standardy neexistují. [53]

2.5. Možnosti monitorování hypoglykemie ve vozidle

Pro potřeby řízení je třeba mít možnost kontinuálně rozpoznávat hypoglykemie, alespoň každých pět nebo deset minut. Senzory pro rozpoznávání hypoglykemií mohou být invazivní nebo neinvazivní, dotyková nebo distanční.

2.5.1. Invazivní senzory

Invazivní senzory jsou takové, kdy sonda vstupuje do těla skrz otvory, přírodní (např. ústa, nozdry) nebo porušením vytvořené (např. kanylou). Invazivními senzory tak jsou glukometry nebo glukózové senzory. Při měření je nutný kontakt senzoru s krví. Bylo by nutné vpichem (např. na ruce nebo na noze) pomocí senzoru monitorovat glykémii a při každém řízení se k senzoru připojit a k zařízení být připojen po celou dobu řízení. To je samozřejmě velmi nekomfortní.

2.5.1.1. Glukózové senzory

Možností může být použití glukózových senzorů, které diabetici mají možnost používat a u kterých se čeká do budoucnosti rozvoj. Některé typy glukózových senzorů jsou schopny komunikace s inzulínovou pumpou pomocí standardu pro bezdrátovou komunikaci Bluetooth. Diabetik tak může hodnoty glykemie odečítat z displeje inzulínové pumpy. Během řízení vozidla ovšem není vhodné inzulínovou pumpu sledovat, řešením by mohlo být promítání hodnoty glykemie na palubní desku, zvýšil by se tak komfort jízdy (viz kapitola 2.4.3.1. Invazivní zařízení).

2.5.2. Dotykové senzory

2.5.2.1. Elektroencefalograf

Jedním z dotykových a zároveň neinvazivních senzorů je Elektroencefalograf měřící EEG. Přístroj snímá elektrické potenciály vznikající činností mozku pomocí elektrod z povrchu hlavy. [54] Při hypoglykémii je nejvýraznější silnější pomalá aktivita mozkových vln a slabší rychlá aktivita. Hypoglykémii provází ospalost a únava, což se na EEG právě takto projeví. [55] Metoda EEG má také výhodu, že se dá zjistit, jaký vliv má právě momentální hypoglykemie vliv na mozkovou činnost. Měření EEG řidiče při jízdě je ale z praktického hlediska nevhodné. Dalším problémem může být rozlišení hypoglykemie od únavy. Při záměně hypoglykemie za únavu by systém vyslal akustický nebo haptický signál s cílem upozornit řidiče na nebezpečí mikrospánku s cílem „probudit“ řidiče, což by ale na hypoglykémii (těžkou především) nemělo prakticky žádný vliv. Největší problém je ale značné nepohodlí při řízení s tímto zařízením. Proto je tato metoda zcela nevhodná.

2.5.2.2. Infračervená spektroskopie

Tato metoda se může stát nástupcem krevních glukometrů v měření glykemie. Její výhodou je neinvazivnost a komfort, nevýhodou nepřesnost. Glykemie se měří na základě změn absorbance, reflexe nebo refrakce v závislosti na obsahu glukózy v krvi, a tedy změně frekvence světelného paprsku. [53]

2.5.2.3. Impedanční spektroskopie

Impedanční spektroskopie funguje na bázi interakce mezi elektromagnetickým zářením v oblasti radiových vln s glukózou. Jedná se o měření impedance lidských tkání v pásmu radiových frekvencí, které jsou v konečném důsledku použity pro charakterizování hodnoty glykemie. Přístroj je umístěn na kůži, kde kondenzátor zaznamenává dielektrické ztráty. Kůže se chová podobně jako kondenzátor, pro proudy DC má vysokou impedanci. [56, Str. 9] [57, Str. 12]

Je tak určena hodnota kmitočtu snímače. Nevýhodou impedanční spektroskopie je vliv zdravotního stavu těla. [57, Str. 12]

2.5.3. Distanční senzory

2.5.3.1. Snímání mimického svalstva

V dnešní době již není problém kamerovým systémem ve vozidle monitorovat mimiku obličeje, a tedy také únavu, a predikovat mikrospánek. Z frekvence mrkání, doby při zavření očního víčka a činnosti mimických svalů lze zjistit různé stupně únavy. Podobným způsobem lze detekovat hypoglykémii. Problémem ale je, že se hypoglykémie projevuje u různých diabetiků různými způsoby, a ne vždy má stejné příznaky jako únava.

2.5.3.2. Analýza dechu

Při hyperglykémii se uvolňuje z dechu aceton (CH_3COCH_3). Ovšem hyperglykémie není bezprostředním nebezpečím a při hypoglykémii k žádnému podobnému příznaku nedochází, systém pracující na tomto principu by hypoglykémii nerozpoznal.

2.6. Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů rozpoznávání hypoglykémie ve vozidle, výběr optimální varianty

Aby měl systém smysl a byl na trhu o něj zájem, musí splňovat určité požadavky. Systém musí být komfortní a nesmí omezovat řidiče. Systém by měl být i ekonomicky konkurenceschopný, otázkou ceny se ale tato práce nezabývá.

Senzor	Komfort	Spolehlivost	Obtížnost realizace
Glukózoové senzory	Nízká/Vysoká	Střední	Nízká
Elektroencefalograf	Nízká	Nízká	Vysoká
Infračervená spektroskopie	Střední	Střední	Střední
Impedanční spektroskopie	Střední	Střední	Střední
Snímání mimického svalstva	Vysoká	Nízká	Střední
Analýza dechu	Vysoká	Nízká	Střední

Tabulka 14: Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů rozpoznávání hypoglykémie ve vozidle

Glukózoové senzory jsou jako invazivní zařízení nejméně komfortní. Pro jejich funkci musí být řidič neustále k senzoru připojen a jejich nasazení je bolestivé. Určité množství diabetiků ale už glukózoové senzory běžně používá. V tomto případě pak pro diabetika nedochází k žádné změně a glukózoový senzor by byl obdařen další funkcí. Glukózoové senzory mohou komunikovat s inzulínovou pumpou a stejně tak je varianta komunikace s palubním počítačem vozidla. Jejich spolehlivost je nižší než u glukometrů, i tak je ale minimálně srovnatelná se spolehlivostí infračervené spektroskopie nebo impedanční spektroskopie. Do budoucna se

očekává ze všech senzorů schopných kontinuálního měření největší vývoj a rozvoj právě u nich. Co se týče realizace, jde pouze o softwarovou záležitost, jediným fyzickým zařízením je glukózový senzor.

Elektroencefalograf má pouze teoretické nebo vědecké využití. Jeho používání v běžném provozu je prakticky nemožné.

Infračervená spektroskopie se jeví v současnosti jako nejpotencionálnější neinvazivní kontinuální měření. Přesností se sice nevyrovná glukometrům, v budoucnosti se ale očekává vývoj těchto zařízení. Vzhledem k jejímu krátkému dosahu je třeba zvolit správné místo, nejlépe takové, které bude v neustálém kontaktu s řidičem, aby bylo zachováno kontinuální měření. Senzor by bylo vhodné umístit na sedačku nebo na volant, nejlépe do oblasti držení levou rukou (levá ruka setrvává na volantu déle než pravá, která se věnuje řazení). Z důvodu nízkého dosahu senzoru je ale nutné držet volant na správném místě, tedy na senzoru. Dále by byla potřeba zpětné kontroly, zdali řidič volant drží, a jestli na správném místě. Největší výhodou je neinvazivnost, nevýhodou je ale nižší přesnost oproti glukózovým sensorům.

System na principu impedanční spektroskopie by mohl být podobný předchozímu systému. Také zde je potřeba neustálého dotyku se senzorem. Ten by opět mohl být umístěn na volantu. Výhodou je opět neinvazivnost, nevýhodou značně nižší přesnost měření.

Mimické svalstvo je možné snímat kamerovým systémem, ve vozidlech, které jsou vybaveny kamerovým systémem na rozpoznání mikrosnánku, by mohl být zaveden i systém na rozpoznání hypoglykemie. Tímto systémem se ale nezměří hodnota glykemie, mohou se detekovat pouze příznaky hypoglykemie, např. třes (rty) nebo zvýšené pocení. Fyzické příznaky hypoglykemie se ale ne vždy projevují stejným způsobem a proto je tento systém nevhodný.

Zařízení pro detekci chemických látek ve vzduchu na trhu existují (např. detekce alkoholu), na stejném principu by mohl pracovat i tento systém. Takový systém by byl schopen detekovat pouze hyperglykemie.

Pro zjištění, o který systém by byl mezi diabetiky největší zájem, bylo potřeba vykonat dotazníkové šetření mezi diabetiky.

2.7. Dotazníkové šetření mezi diabetiky o vhodnosti různých řešení měření hypoglykemie

Cílem bylo zjistit, zdali dotazovaný ve svém životě způsobil dopravní nehodu při hypoglykemii a jestli by byl ochoten si do svého vozidla pořídit systém pro detekci hypoglykemie, a pokud ano, tak který by vyhovoval nejlépe.

Průzkum proběhl během měsíce května 2015 v Institutu klinické a experimentální medicíny (IKEM) v Praze – Krči a byl vykonán se souhlasem náměstkyně pro os. péči a kvalitu, PhDr. Martiny Šochmanové, MBA.

Dotazníkové šetření bylo zcela anonymní.

Respondenti odpovídali na následující dotazník:

- 1) *S jakým typem DM jste léčen?*
 - a) *Diabetes mellitus 1. typu*
 - b) *Diabetes mellitus 2. typu*
 - c) *Gestační diabetes mellitus*
 - d) *Jiný typ diabetu mellitus*
 - e) *Poruchy glukózové homeostázy*
- 2) *Pohlaví*
 - a) *Muž*
 - b) *Žena*
- 3) *Jaký je Váš věk?*
- 4) *Ve kterém věku se u Vás objevil diabetes mellitus?*
- 5) *Jakým způsobem u Vás probíhá léčba diabetu mellitus?*
 - a) *Pouze dieta*
 - b) *Perorální antidiabetika / inkretinové mimetika*
 - c) *Inzulin*
- 6) *Máte inzulinovou pumpu?*
 - a) *Nikdy jsem jí neměl*
 - b) *Měl jsem jí, ale už jí nemám*
 - c) *Přemýšlím o ní*
 - d) *Do budoucna si jí chci pořídit*
 - e) *Inzulinovou pumpu používám*
- 7) *Používáte glukózové (nebo jiné, kontinuálně měřící) senzory?*
 - a) *Nikdy*
 - b) *Dříve ano, nyní ne*
 - c) *Pravidelně po určité době*
 - d) *Vždy*
- 8) *Vlastníte řidičský průkaz?*
 - a) *Ano*
 - b) *Ne*
- 9) *Kolik let jste vlastníkem řidičského průkazu?*
- 10) *Jak často řídíte automobil?*
 - a) *Každý den*
 - b) *2-3x týdně*
 - c) *Jednou týdně*
 - d) *Jednou za měsíc*
 - e) *Párkrát do roka*
 - f) *Nikdy*
- 11) *Je / bylo Vám někdy zakázáno řídit automobil (od lékaře)?*
 - a) *Ano*
 - b) *Ne*
- 12) *Měříte si před jízdou automobilem, kdy budete řídit vy, glykemií?*
 - a) *Ano*

- b) *Někdy*
 - c) *Nikdy*
- 13) *Měl jste někdy hypoglykémii během řízení?*
- a) *Ano*
 - b) *Ne*
- 14) *Zavinil jste někdy dopravní nehodu (zranění)?*
- a) *Ano*
 - b) *Ne*
- 15) *Zavinil jste někdy dopravní nehodu při hypoglykémii?*
- a) *Ano*
 - b) *Ne*
- 16) *Byl byste ochoten mít ve vozidle přístroj pro detekci hypoglykémie?*
- a) *Ano*
 - b) *Ne*
- 17) *Jaké přístroje pro detekci hypoglykémie Vám připadají při řízení nejpřínosnější (možno označit libovolný počet odpovědí)?*
- a) *Glukózové senzory*
 - b) *Elektroencefalograf (EEG)*
 - c) *Infračervená spektroskopie*
 - d) *Impedanční spektroskopie*
 - e) *Snímání mimického svalstva*
 - f) *Analýza dechu (pouze pro detekci hyperglykémie)*
- 18) *Pokud by existoval systém, který by hodnoty glykémie přenášel z glukózových senzorů na palubní desku a hlásil nebezpečí a vznik hypoglykémie, pořídili byste si ho (nehledě na cenu)?*
- a) *Ano*
 - b) *Ne*

2.7.1. Výsledky průzkumu

Dotazníkového šetření se zúčastnilo celkem 100 diabetiků. Byli dotazováni pouze ti diabetici, kteří mají nebo dříve měli platný řidičský průkaz. V průběhu dotazování byly principy možností detekce hypoglykémie vysvětleny.

Z celkového počtu bylo 57 respondentů prvního typu DM, 38 respondentů druhého typu DM, 0 respondentů s gestačním typem DM, 4 respondenti s jiným typem DM a 1 respondent s poruchou glukózové homeostázy. Ačkoliv v populaci výrazně převyšují diabetici druhého typu, výzkumu se zúčastnilo více diabetiků prvního typu. Důvodem je specializace IKEMu na, mimo jiné, diabetologii, především prvního typu DM.

Průzkumu se zúčastnilo 60 mužů a 40 žen. Z diabetiků prvního typu bylo 32 mužů a 25 žen (v populaci jsou obě pohlaví v onemocnění DM prvního typu rovnoměrně zastoupené), z diabetiků druhého typu 27 mužů a 11 žen (přitom je v populaci více diabetiček žen druhého typu DM), 4 ženy s jiným typem diabetu a 1 muž s poruchou glukózové homeostázy.

Průměrný věk respondentů je 48 let, u diabetiků prvního typu 40 let, u diabetiků druhého typu 59 let. Toto je z důvodu častějšího výskytu DM druhého typu mezi staršími ročníky. Dotazovaní byli ve věku 19 až 78 let, podmínkou průzkumu bylo mít řidičský průkaz, takže minimální věk pro vykonání dotazníku byl 18.

Při DM prvního typu probíhá kompenzace diabetu u 56 respondentů inzulínem, v jednom případě perorálními antidiabetiky či inkretinovými mimetiky. Při DM druhého typu probíhá kompenzace diabetu u třech respondentů pouze dietou, u 17 respondentů perorálními antidiabetiky či inkretinovými mimetiky, u 4 kombinovanou léčbou (perorální antidiabetika či inkretinová mimetika v kombinaci s inzulínem) a u 14 inzulínem. Jiné typy DM a porucha glukózové homeostázy je léčena z dotazovaných vždy inzulínem.

Inzulínovou pumpu používá 29 respondentů, (z toho 26 diabetiků prvního typu DM – 46 % ze všech diabetiků prvního typu, to je opět způsobeno specializací IKEMu na diabetologii a prezenze edukativních programů pro kompenzaci diabetu pomocí inzulínové pumpy), 6 respondentů inzulínovou pumpu používalo v minulosti, ale odstoupili od ní. Dalších 7 diabetiků prvního typu si inzulínovou pumpu chce pořídit (podíl diabetiků prvního typu s inzulínovou pumpou by tak mezi dotazovanými vzrostl na 58 %).

Glukózové senzory nepoužívá neustále nikdo (z důvodu jejich ceny, pojišťovna hradí ročně jen jejich omezený počet), pravidelně po určité době 35 respondentů (z toho 27 diabetiků prvního typu DM), dříve už použilo senzor dalších 15 respondentů (z toho 10 diabetiků prvního typu DM) a senzor nikdy nepoužilo 50 diabetiků. Tedy polovina dotazovaných s glukózovými senzory přišla do styku (z toho 37 diabetiků prvního typu DM – 65 % z jejich celkového počtu).

Řídit automobil bylo zakázáno z dotazovaných jedné osobě z důvodu pokročilé retinopatie (první typ DM).

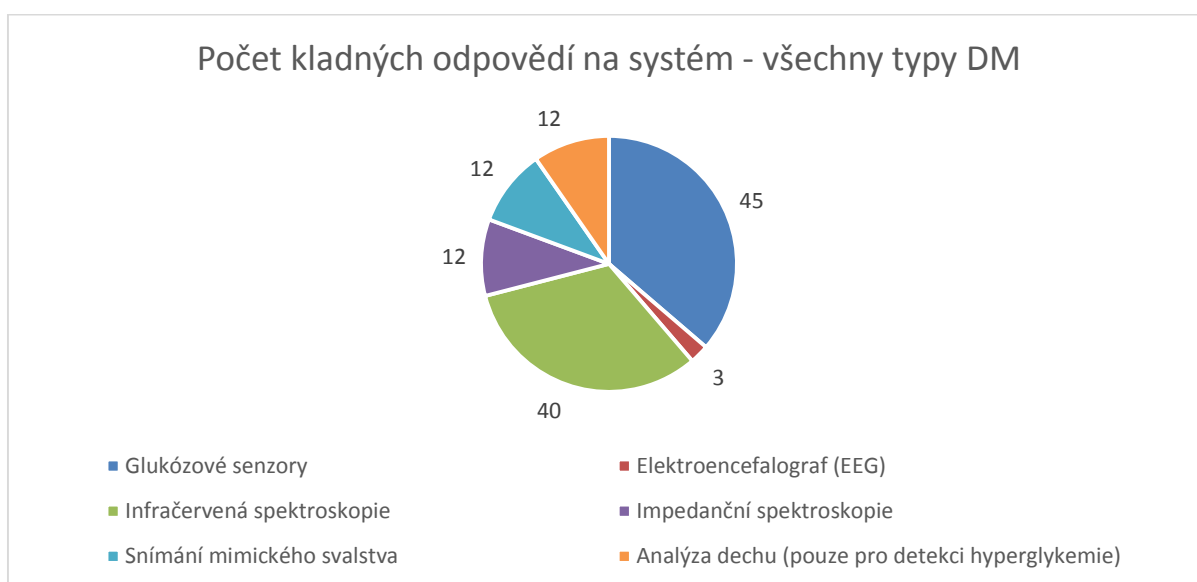
Glykémii si před jízdou pravidelně měří 11 diabetiků prvního typu DM, někdy 33 diabetiků prvního typu DM, nikdy 14 diabetiků prvního typu DM, z toho 5 ale nikdy neřídí (tedy 16 % z jejich celkového počtu uvedlo, že si nikdy glykémii neměří). Glykémii si před jízdou pravidelně měří 1 diabetik druhého typu DM, někdy 9 diabetiků druhého typu DM, nikdy 28 diabetiků druhého typu DM, přitom 2 neřídí (tedy 68 % z jejich celkového počtu uvedlo, že si nikdy glykémii neměří). Z diabetiků druhého typu léčených diabetem jich deset uvedlo, že si glykémii před jízdou nikdy neměří, 8 si jí měří někdy, ale ne vždy (54% si glykémii před jízdou neměří). Tyto hodnoty jsou způsobené vyšším nebezpečím vzniku hypoglykémie u diabetiků s kompenzací diabetu formou inzulínu.

Hypoglykémii během řízení vozidla zažilo 22 diabetiků prvního typu (38 %) a také 3 diabetici druhého typu DM.

Dopravní nehodu, při níž došlo ke zranění, způsobilo alespoň jednou 5 diabetiků prvního typu DM (žádná při hypoglykémii), 5 diabetiků druhého typu DM (jedna nehoda byla způsobena hypoglykemií u diabetika léčeného pouze inzulínem).

O systém schopný detekovat hypoglykémii by mělo z dotazovaných zájem celkem 51 diabetiků prvního typu DM, 6 diabetiků prvního typu DM by zájem nemělo (z toho 3, protože už neřídí automobil). O systém by mělo z dotazovaných zájem celkem 29 diabetiků druhého typu DM, 9 diabetiků druhého typu DM by zájem nemělo (z toho 1, protože už neřídí automobil, 5 protože jim hypoglykémie nehrozí). Diabetici s jinými typy DM o systém zájem projeví, diabetik s poruchou glukózové homeostázy ne (nehrozí hypoglykémie). Celkem 84 dotazovaných diabetiků by zájem mělo, 16 nikoliv.

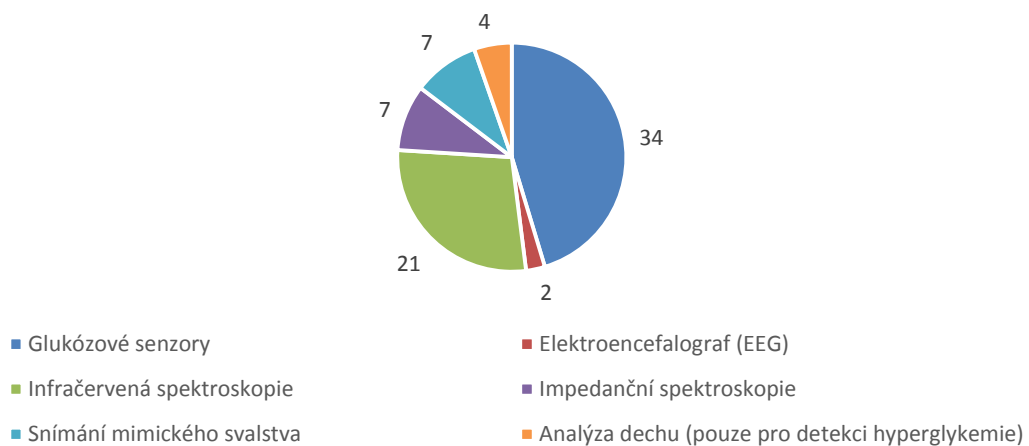
Ze systémů pro detekci hypoglykémie byl mezi respondenty nejvyšší zájem o systém založený na glukózových senzorech (45 respondentů, tedy 45 %) a o systém založený na infračervené spektroskopii (40, tedy 40%). O imedanční spektroskopii, snímání mimického svalstva a o detekci hyperglykémie pomocí systému analyzující dech by mělo zájem shodně 12 diabetiků. O EEG je zájem nejnižší (3 respondenti). Dotazovaní zde mohli vybrat více ale i žádnou odpověď, viz graf 5.



Graf 5: Počet kladných odpovědí na systém - všechny typy DM

Mezi diabetiky prvního typu DM byl nejvyšší zájem o systém založený na glukózových senzorech (34 respondentů, tedy 60 %), dále o systém založený na infračervené spektroskopii (21, tedy 36 %). O imedanční spektroskopii a snímání mimického svalstva a by mělo zájem shodně 7 diabetiků, o systém detekce hyperglykémie pomocí systému analyzující dech 4 dotazovaní, o EEG pouze 2 respondenti. Také mezi diabetiky jiného typu diabetu byl zájem nejvyšší o systém založený na glukózových senzorech (3), infračervené spektroskopii (2) a analýze dechu (1), viz graf 6.

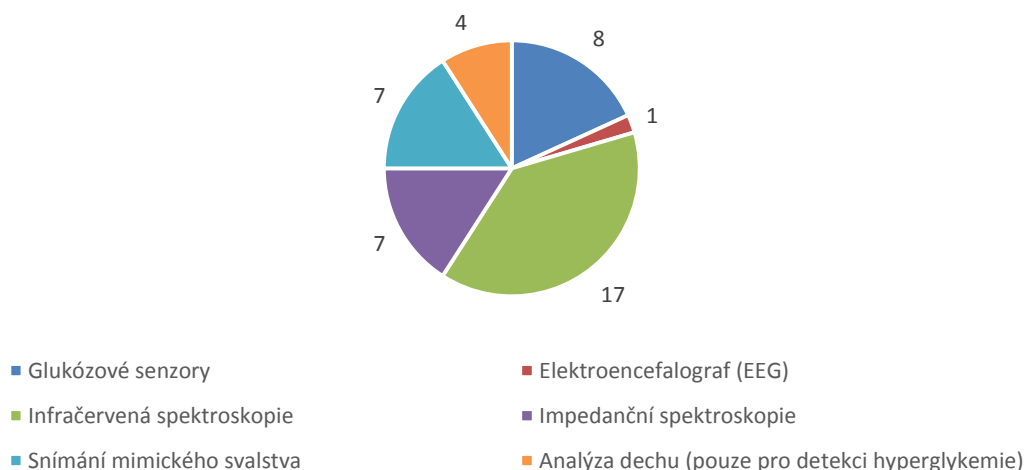
Počet kladných odpovědí na systém - první typ DM



Graf 6: Počet kladných odpovědí na systém - první typ DM

Mezi diabetiky druhého typu DM byl nejvyšší zájem o systém založený na infračervené spektroskopii (17 respondentů, tedy 45 %), dále o systém založený na glukózových senzorech (8). O impedanční spektroskopii a snímání mimického svalstva a by mělo zájem shodně 5 diabetiků, o systém detekce hyperglykemie pomocí systému analyzující dech 7 dotazovaných, o EEG pouze 1 respondent, viz graf 7.

Počet kladných odpovědí na systém - druhý typ DM



Graf 7: Počet kladných odpovědí na systém - druhý typ DM

Z toho vyplývá, že diabetici prvního typu DM preferují systém založený na glukózových senzorech a diabetici druhého typu DM založený na infračervené spektroskopii. Je to z důvodu, že diabetici prvního typu DM jsou zvyklí na invazivní metody (inzulinové pumpy,

inzulinová pera) a přejí si přesnější typy měření, diabetici druhého typu preferují neinvazivnost a komfort.

Pokud si někdo zvolil jako vhodné řešení systém založený na glukózových senzorech, byl s 76 % pravděpodobností diabetik prvního typu DM, jak dokládá následující výpočet založený na Bayesově vzorci (1):

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)*P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

$$P(A|B) = \frac{0,6*0,57}{0,45} \quad (1)$$

$$P(A|B) = 0,76 \quad (1)$$

Pokud si někdo zvolil jako vhodné řešení systém založený na infračerveném záření, byl s 51 % pravděpodobností diabetik prvního typu DM, jak dokládá následující výpočet založený na Bayesově vzorci (2):

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)*P(A)}{P(B)} \quad (2)$$

$$P(A|B) = \frac{0,36*0,57}{0,4} \quad (2)$$

$$P(A|B) = 0,51 \quad (2)$$

To opět dokládá vyšší zájem o systém založený na glukózových senzorech mezi diabetiky prvního typu.

Mezi uživateli inzulinové pumpy byl tedy nejvyšší zájem o systém založený na glukózových senzorech (19 respondentů, celkem 66 %), dále o systém založený na infračervené spektroskopii (11), o snímání mimického svalstva (3) o impedanční spektroskopii (2) a o systém detekce hyperglykemie pomocí systému analyzující dech (1). Protože dva z uživatelů inzulinové pumpy neřídí automobil, z 27 uživatelů inzulinové pumpy řídící vozidla vyjádřilo zájem o systém založený na glukózových senzorech 19 respondentů, celkem 70 %.

Mezi pravidelnými uživateli glukózových senzorů byl tedy nejvyšší zájem o systém založený právě na glukózových senzorech (20 respondentů, celkem 57 %), dále o systém založený na infračervené spektroskopii (12), o snímání mimického svalstva (5) o impedanční spektroskopii (3) a o systém detekce hyperglykemie pomocí systému analyzující dech (3). Protože tři z pravidelných uživatelů glukózových senzorů neřídí automobil, z 32 pravidelných uživatelů glukózových senzorů řídící vozidla vyjádřilo zájem o systém založený na glukózových senzorech 20 respondentů, celkem 63 %.

Zájem o pořízení systému založený na glukózových senzorech nehledě na cenu vyjádřilo celkem 69 diabetiků (tedy 69%). Z toho 48 diabetiků prvního typu DM (84%), přičemž jako důvod nezájmu o systém byly uvedeny, že diabetik automobily neřídí, že netrpí hypoglykemiemi, invazivnost systému nebo, že diabetik pozná hypoglykémii bezpečně sám. Protože 3 diabetici prvního typu DM uvedli jako důvod nezájmu o systém, že neřídí, tak ze zbylých 54 diabetiků prvního typu DM vyjádřilo zájem si pořídit systém založený na glukózových senzorech 48 respondentů (tedy 89 %).

Dále o systém projeví zájem všichni 4 diabetici jiného typu DM a 17 diabetiků druhého typu DM (45 %), přičemž jako hlavní důvod nezájmu je invazivnost systému.

Respondent, který způsobil nehodu při hypoglykémii, uvedl, že by preferoval systém založený na glukózových senzorech a případně by si ho i pořídil.

Z průzkumu vyplývá, že o systém založený na glukózových senzorech, je zájem především mezi diabetiky prvního typu DM, kteří mají zvýšenou pravděpodobnost hypoglykemie. To samé platí i pro diabetiky s jiným typem DM. Naopak není zcela vhodný pro diabetiky druhého typu DM kvůli jeho invazivnosti (na kterou jsou méně zvyklí) a také nižší výskyt hypoglykemií.

Jako nejlepší varianta se jeví ta s glukózovými senzory. Pokud diabetik už používá glukózový senzor, pak není při řízení vozidla omezován jiným systémem. Podmínkou samozřejmě je glukózový senzor mít a neustále ho používat. Podmínkou už není mít inzulinovou pumpu, diabetik si může inzulin aplikovat např. inzulinovými pery (nebo může být léčen např. pouze dietou) a glukózový senzor používat jen pro kontrolu glykemie během dne, kdy si data ze senzoru může stáhnout do počítače. Ve vozidle by se glykemie zobrazovala přímo na palubní desce.

Pro systém založený na glukózových senzorech mluví také o jeho vysoký zájem mezi diabetiky prvního typu DM, kteří řídí vozidlo (89 %), na pořízení. Dále také preference tohoto systému (60 % uvedlo tento systém jako nejpřínosnější), vhodný pro uživatele inzulinové pumpy či glukózových senzorů (66 %, resp. 57 % uvedlo tento systém jako nejpřínosnější).

Byl tedy proto jako nejvhodnější systém detekce hypoglykemie založen invazivní systém využívající glukózové senzory.

3. Návrh systému

Systém by měl splňovat roli systému aktivní bezpečnosti.

3.1. Výstup asistenčního systému

Systém by měl nejdříve rozpoznat hypoglykémii a následně patřičně reagovat. Systém by měl diabetika nejdříve informovat o hrozící hypoglykemii (nízká glykemie; rychle klesající glykemie), poté o nastalé hypoglykemii (doporučení k zastavení a pauze). Zároveň by měl přenášet současnou hodnotu glykemie na palubní desku, řidič by měl možnost snadno odečítat její aktuální hodnotu. Variantou je automatické zastavení vozidla či převzetí řízení. Systém by ale měl pracovat pouze na informační vrstvě, konečná reakce bude na řidiči vozidla.

Systém by měl řidiče o nebezpečí upozornit vizuálně a akusticky. Haptické upozornění není nutné.

3.2. Přenos informace

Pro přenos informací mezi vozidlem a glukózovým senzorem je nejvhodnější standard Bluetooth.

3.2.1. Přenos pomocí systému Bluetooth

Bluetooth je otevřený standard pro bezdrátovou komunikaci s rádiovým spektrum kolem 2,45 GHz. Přenosová rychlost systému je $1 \text{ Mb}\cdot\text{s}^{-1}$. Výhodami je standardizace prostředí pro přenos, cena a rychlost přenosu, nevýhodou dosah. [58, Str. 461]

Pro přenos informací o hodnotě glykemie mezi glukózovým senzorem a vozidlem je tento přenos ideální, vzhledem k nízkým pořizovacím nákladům systému Bluetooth není problém jeho instalace do vozidla, nízký dosah zařízení není problém, přenos dat probíhá pouze ve vozidle na vzdálenosti v řádu decimetrů, stačí tak Bluetooth nejnižší třídy, tedy s dosahem jednoho metru. Nejdůležitější výhodou je, že v glukózových senzorech už je systém Bluetooth zabudován.

Navázání kontaktu proběhne tak, že zařízení pro detekci hypoglykemie vyšle průzkumnou zprávu. Glukózový senzor vyčkává ve stavu příjmu průzkumu a po příjmu průzkumné zprávy odpovídá. Zařízení pro detekci hypoglykemie vysílá zprávu na kontaktování s přístupovým kódem. Senzor vyčkává ve stavu příjmu kontaktování a po příjmu zprávy odpovídá a dojde ke spárování. [59, Str. 22-24]

Systém Bluetooth může pracovat v jednom ze tří bezpečnostních režimů:

- bez zabezpečení – jakékoliv zařízení může navázat komunikaci,
- bezpečnost na úrovni služeb – zajišťuje autorizaci přístupu ke službám,

- bezpečnost na úrovni spoje – zařízení iniciuje bezpečnostní postupy (autentizace a šifrování) před navázáním spojení. [60, Str. 162]

Pro přenos informací mezi glukózovým senzorem a vozidlem postačí zabezpečení na úrovni služeb, tedy je potřeba pouze autorizace přístupu. Pro systém není vhodný přenos bez zabezpečení, ale zároveň není nutné šifrování, nejedná se zde o citlivá data.

Při autentizaci se se autentizuje zařízení (nemá vliv na uživatele) a pro spojení se použije klíč spoje (trvalý), kterým je klíč zařízení, který je generován z náhodných čísel při instalaci zařízení. Systém pro detekci hypoglykemie (v tomto případě zadavatel) vyšle svou adresu a od senzoru dostane náhodné číslo. Díky těmto dvěma hodnotám a autentizačního klíče se spočítá podle autentizační funkce výsledek, který se zpracuje, a dojde k ověření, zda druhá strana zná klíč. [59, Str. 29, 61, Str. 4-5, 62, Str. 50]

Pokud systém ve vozidle rozpozná více glukózových senzorů v dosahu, řidič by si měl v systému navolit ten jeho. Ideálním případem je možnost volby defaultního glukózového senzoru, tedy to, jehož řidič vozidlem jezdí nejčastěji.

3.3. Stanovení kritických hodnot pro aktivaci varování

Systém by měl splňovat rozpoznávat čtyři stavy:

- varování o nízké glykemii a nebezpečí vzniku hypoglykemie (stav 3),
- varování o klesající glykemii a nebezpečí vzniku hypoglykemie (stav 2),
- vznik hypoglykemie (stav 4)
- normální stav glykemie (stav 1).

3.3.1. Varování o nízké glykemii a nebezpečí vzniku hypoglykemie

Ačkoliv je glykemie v hodnotách $3,3 - 3,9 \text{ mmol.l}^{-1}$ ještě v normě, u zdravých lidí k takovým hodnotám prakticky nedochází, a u diabetiků se mohou projevit příznaky hypoglykemie. Pokud systém rozezná hodnoty glykemie $3,9 \text{ mmol.l}^{-1}$ nebo nižší, systém varuje řidiče „Nízké hodnoty glykemie, doporučení zastavit vozidlo“. Přibližně při těchto hodnotách glykemie dochází ke zvýšené sekreci glukagonu a adrenalinu (glykemický práh druhé fáze, viz kapitola 1.7.2. Hypoglykemie).

3.3.2. Varování o klesající glykemii a nebezpečí vzniku hypoglykemie

Glykemie sice může být pořád v normě, její rychle klesající hodnota ovšem může být problémem. Glykemie může klesat rychlostí až $6 \text{ mmol.l}^{-1}\text{h}^{-1}$, [63] tedy za deset minut o 1 mmol.l^{-1} . Na trhu jsou modely kontinuálních glukózových senzorů, které měří glykemii buď po pěti, nebo deseti minutách. U senzorů, které měří glykemii po deseti minutách, by kritická rychlost klesání glykemie 1 mmol.l^{-1} za jedno měření, tedy za deset minut. U senzorů, které

měří glykemii po pěti minutách, by kritická rychlost klesání byla glykemie $0,5 \text{ mmol.l}^{-1}$ za jedno měření, tedy za pět minut. Kritická hodnota pro klesající glykemii a nebezpečí glykemie je $5,3 \text{ mmol.l}^{-1}$. Tato hodnota byla zjištěna dle následující rovnice (3):

$$\textit{Kritická hodnota pro klesající glykemii} = v_{pg} * t + G_H \quad (3)$$

$$\textit{Kritická hodnota pro klesající glykemii} = 6 * \frac{1}{3} + 3,3 \quad (3)$$

$$\textit{Kritická hodnota pro klesající glykemii} = 5,3 \quad (3)$$

kde:

$$v_{pg} = 6 \text{ mmol. l}^{-1}\text{h}^{-1}$$

$$t = \frac{1}{3} \text{ h}$$

$$G_H = 3,3 \text{ mmol. l}^{-1}$$

rychlost poklesu glykemie

časový předstih pro varování řidiče

glykemie při vzniku hypoglykemie

Časový předstih pro varování řidiče je zvolen 0,33 hodin, tedy dvacet minut. U senzorů měřících glykemii po dvaceti minutách se tak informace o nebezpečně rychle klesající glykemii stihne podat dvakrát.

Při hodnotách $5,3 \text{ mmol.l}^{-1}$ by tak systém hlídal i rychlost poklesu glykemie. Pokud by rychlost poklesu glykemie dosahovala uvedené hodnoty, systém varuje řidiče „Prudký pokles glykemie, doporučení zastavit vozidlo“. Pokud glykemie dojde na hodnotu $3,9 \text{ mmol.l}^{-1}$ nebo nižší, systém bude postupovat tak, jak je uvedeno v kapitole 3.3.1. Varování o nízké glykemii a nebezpečí vzniku hypoglykemie.

Systém vyhodnocuje rychlost klesání glykemie vždy mezi dvěma posledními měřeními.

3.3.3. Vznik hypoglykemie

Podle definice vzniká hypoglykemie při glykemii pod $3,3 \text{ mmol.l}^{-1}$. Pokud systém rozezná hodnoty glykemie 3,3 nebo nižší, systém varuje řidiče „Hypoglykemie, doporučení zastavit vozidlo“. Je vhodné, aby se tento signál odlišoval od předchozích dvou, vyšší hlasitostí a na palubní desce jinou barvou.

3.3.4. Normální stav glykemie

Pokud glykemie opustí uvedené stavy, systém nebude dále řidiče varovat o glykemii, na palubní desce bude pouze upozornění „Normální stav glykemie“, tento stav nebude podporován akustickým signálem.

3.4. Stavy systému

Byly identifikovány čtyři stavy:

- normální stav glykemie (stav 1):
 - hodnota glykemie: $> 4,0 \text{ mmol.l}^{-1}$ a zároveň rychlost klesání glykemie: $< 6,0 \text{ mmol.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$,
 - hodnota glykemie: $> 5,3 \text{ mmol.l}^{-1}$,
- varování o klesající glykemii a nebezpečí vzniku hypoglykemie (stav 2):
 - hodnota glykemie: $\leq 5,3 \text{ mmol.l}^{-1}$ a zároveň $> 4,0 \text{ mmol.l}^{-1}$ a zároveň rychlost klesání glykemie: $\geq 6 \text{ mmol.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$,
- varování o nízké glykemii a nebezpečí vzniku hypoglykemie (stav 3):
 - hodnota glykemie: $\leq 4,0 \text{ mmol.l}^{-1}$ a zároveň $> 3,3 \text{ mmol.l}^{-1}$,
- vznik hypoglykemie (stav 4):
 - hodnota glykemie: $\leq 3,3 \text{ mmol.l}^{-1}$.

3.5. Schéma systému

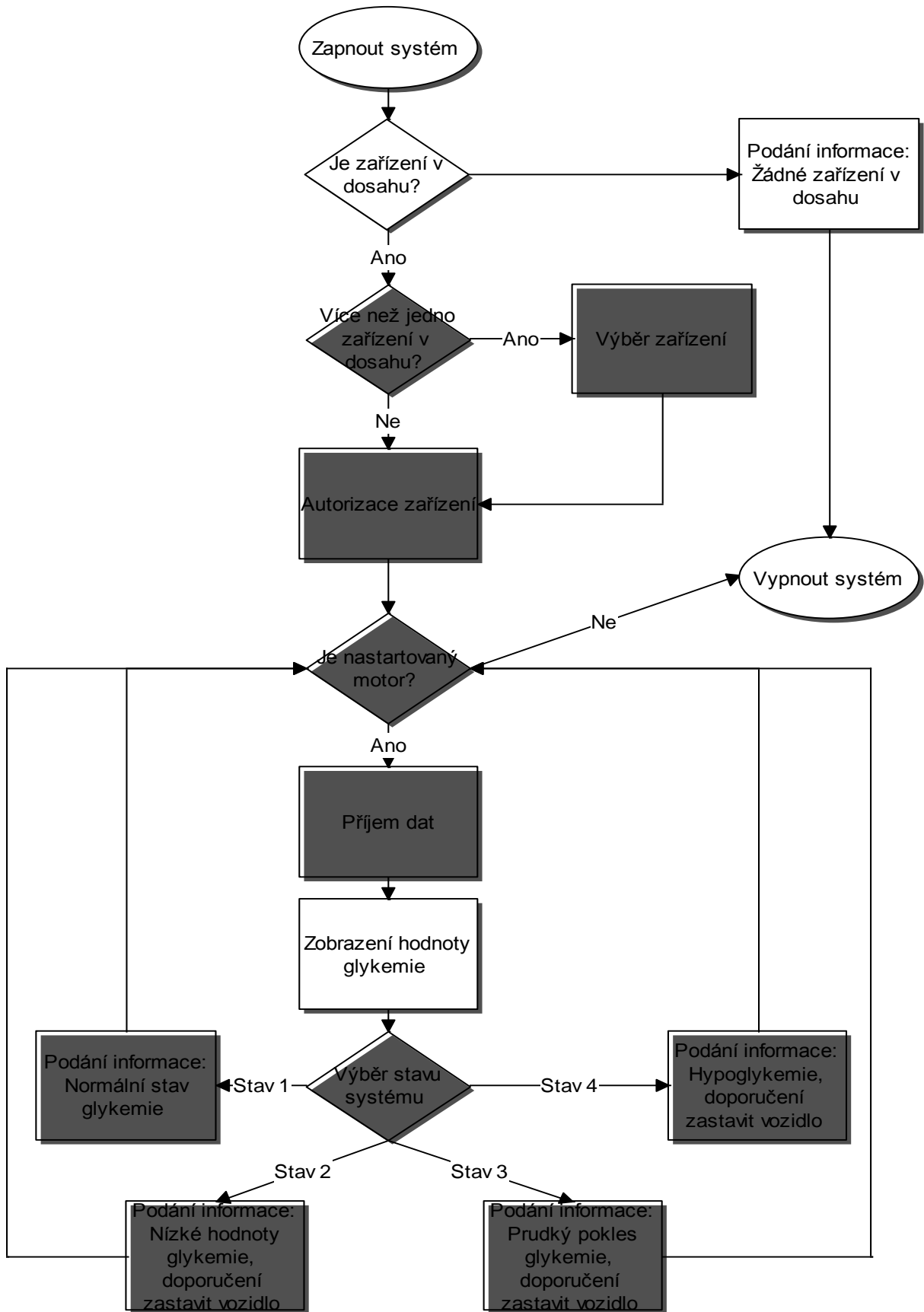


Diagram 1: Schéma systému

System se zapne automaticky po nastartování motoru. Nejprve proběhne detekce zařízení v dosahu. Pokud systém žádné zařízení v dosahu nenalezne, systém podá informaci „Žádné zařízení v dosahu“ a dojde k vypnutí systému. K této variantě by docházelo, pokud bude řidič vozidla nediabetik a nebo pokud řidič zrovna nebude používat glukózový senzor. Pokud systém rozpozná zařízení v dosahu, bude řešit jejich počet. Pokud bude v dosahu zařízení více, řidič si v systému navolí to své. Dále proběhne autorizace zařízení. Aby systém mohl být zapnut, musí být nastartovaný motor. Pokud tomu tak není, systém se vypne. K tomu může mimo dojetí do cíle nastat i při hypoglykemii, řidič zastaví, zajistí si přísun glukózy a systém tak může být vypnut a informace, např. o hypoglykemii, se podávat nebude. Naopak, pokud bude vozidlo stát (např. na světelném signalizačním zařízení), systém dále poběží. Pokud je motor nastartovaný, systém přijímá neustále data. Ta se posílají v určitém časovém intervalu v závislosti na typu senzoru. Systém zobrazí hodnotu glykemie. Dále systém podle hodnoty glykemie vybere určitý stav (1-4). Podle výskytu v určitém stavu systém podá informaci o normálním stavu glykemie, hypoglykemii apod. Pokud je motor nastartovaný, systém dále přijímá data. Systém se vypíná s vypnutím motoru.

3.6. Vizualní a akustické provedení systému

3.6.1. Umístění interface systému na palubní desce



Obrázek 11: Umístění interface systému na palubní desce, Škoda Octavia, zdroj: [64]

Konečné slovo o provedení by měl výrobce. Na obrázku 12 je návrh umístění rozhraní na palubní desce Škody Octavia. Modrým křížkem je místo, kde by bylo ovládání systému (např. zapnout/vypnout spárování zařízení; výběr glukózového senzoru, pokud jich vozidlo nalezne více). Na displeji by se také mohla zobrazovat hodnota glykemie. Další variantou místa zobrazování hodnoty glykemie je místo označené červeným křížkem. Řidič by si také mohl

zvolit, jestli tato hodnota bude zobrazována kontinuálně nebo se bude v určitých časových okamžicích střídat s jinou informací (např. spotřeba paliva).

3.6.2. Barevné provedení

System by měl barevně odlišovat nápisy různých stavů:

- Stav 1: „Normální stav glykemie“ – neagresivní barva (zelená, světle modrá, bílá).
- Stav 2: „Nízké hodnoty glykemie, doporučení zastavit vozidlo“ – mírně agresivní barva (žlutá, oranžová).
- Stav 3: „Prudký pokles glykemie, doporučení zastavit vozidlo“ – stejné barevné provedení, jako stav 2.
- Stav 4: „Hypoglykemie, doporučení zastavit vozidlo“ – agresivní barva (červená).

I v tomto případě by měl konečné slovo o provedení výrobce.

3.6.3. Akustické provedení

Akusticky by se dávaly na vědomí pouze stavy 2-4 akustickými varováními:

- Stav 2: „Nízké hodnoty glykemie, doporučení zastavit vozidlo.“
- Stav 3: „Prudký pokles glykemie, doporučení zastavit vozidlo.“
- Stav 4: „Hypoglykemie, doporučení zastavit vozidlo.“

Zvukové varování by proběhlo jednou za třicet sekund.

3.7. Návrh systému pro detekci hyperglykemie

System může být rozšířen i pro detekci hyperglykemie.

První varianta detekce hyperglykemie je založena na stejném principu, jako systém založený na detekci hypoglykemie, tedy měřením glukózovými senzory, přenesením signálu do vozidla a vyhodnocením dat. Hlášení o hyperglykemii by nastaly při glykemii 11 mmol.l^{-1} , tedy při hodnotě glykemie, kdy hyperglykemie nastává (viz kapitola 1.7.1. Hyperglykemie).

Vznikl by tak nový stav:

- vznik hyperglykemie (stav 5):
 - hodnota glykemie: $\geq 11,0 \text{ mmol.l}^{-1}$.

Tento stav by byl pouze informativní, systém by tak akusticky řidiče nevaroval. To proto, že nebezpečí hyperglykemického kómatu je až při hodnotách $40 - 50 \text{ mmol.l}^{-1}$. Vzhledem k tomu, že stoupání glykemie je X, k těmto hodnotám dojde za dlouhou dobu, kdy má diabetik čas podat si dávku inzulínu a glykemii snížit. System by řidiče pouze vizuálně informoval:

- Stav 5: „Vznik hyperglykemie“ – stejné barevné provedení, jako stav 1.

Druhou variantou je systém fungující na bázi detekce acetonu v dechu. Aceton se v dechu objevuje při ketoacidóze (nad 15 mmol.l^{-1}), a protože se hyperglykemie vyskytuje už při 11 mmol.l^{-1} (viz kapitola 1.7.1.1. Ketoacidóza), zjištění hyperglykemie by nastalo se zpožděním. Nevýhodou je také kombinace dvou zařízení, měření glykemickými senzory se dá detekovat hypoglykemie i hyperglykemie. Proto je výhodnější první varianta.

Stále ale platí, že pro řízení vozidel je daleko nebezpečnější hypoglykemie, proto není detekce hyperglykemie ve srovnání s detekcí hypoglykemie tolik nutná.

3.7.1. Schéma systému pro detekci hyperglykemie

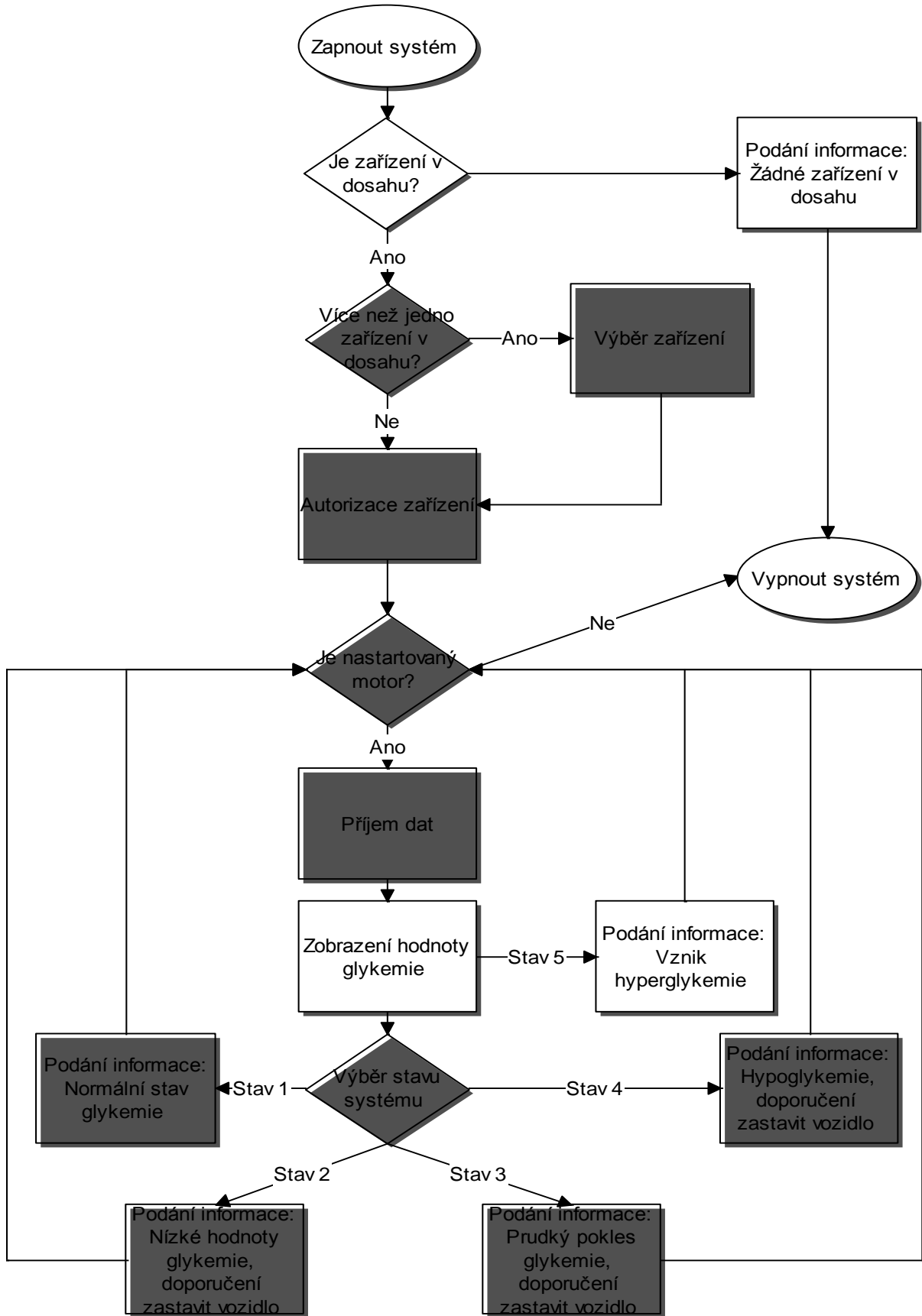


Diagram 2: Schéma systému pro detekci hyperglykemie

Systém pro detekci hyperglykemie by pracoval na stejném principu jako původní systém. Jedinou výjimkou je prezenze stavu 5.

3.8. Způsob uvedení na trh

Systém by byl alespoň pro začátek pouze volitelným balíčkem do vozidla. Otázkou je, zdali by jeho zavedení mohlo být hrazeno pojišťovnou. Zde by bylo potřeba určitých právních úkonů.

Otázkou také je, zdali by byl systém pro diabetiky do budoucna povinný. Pro tyto účely je nutné používat glukózové senzory. Z tohoto důvodu je nepravděpodobné, že by se tento systém stal povinným pro všechny diabetiky. Mohl by se stát povinným pouze pro ty diabetiky, kteří často trpí hypoglykemiemi během řízení (alespoň dvakrát do roka), způsobili při hypoglykémii dopravní nehodu nebo, a to zejména, pokud jim lékař z důvodu nebezpečí hypoglykemie zakázal řízení. Tito diabetici by ani nebyli nuceni používat glukózový senzor neustále, museli by si ho aplikovat na tělo pouze před řízením. Systém pak může včas detekovat hrozící hypoglykémii a řidiče včas varovat.

Závěr

Navržené řešení by mělo ve všech směrech splňovat cíle stanovené na začátku. Při navrhování systému se vycházelo z analýzy diabetu mellitus, vysvětlení základních pojmů o onemocnění, vysvětlení glukoregulace a významu hormonů inzulínu a glukagonu. Byla vysvětlena patogeneze diabetu pro lepší pochopení kompenzace diabetu. Podle statistických údajů bylo zjištěno, jaký podíl tvoří diabetici prvního typu vzhledem k celkovému množství pacientů, kolik diabetiků je léčeno pouze inzulínem a kolik diabetiků používá inzulínovou pumpu. Shrnutí je také epidemiologie obou typů diabetu. Dále jsou vysvětleny komplikace diabetu, jak chronické, tak ale především akutní komplikace. Vysvětlen je vznik a průběh hyperglykemie a hypoglykemie. Na závěr první části je vysvětlena kompenzace inzulínem a popsány inzulínová pera a inzulínové pumpy.

Ve druhé části práce bylo cílem popsat diabetes mellitus ve vztahu k řízení motorových vozidel. Byly vysvětleny omezení diabetiků pro řízení motorových vozidel a zjištěny statistické údaje o nehodovosti diabetiků. Bohužel výsledky dosud provedených výzkumů jsou diskutabilní, důvod nehody, jako prodělaná hypoglykemie se obtížně sleduje. Data o nehodách při hypoglykemii jsou tak zjišťována z dotazníků, kdy diabetik ze strachu ani nemusí zmínit jako důvod nehody prodělanou hypoglykemii. Pokud vezmeme v potaz, že všechna data jsou pravdivá, pak nehodovost diabetiků není výrazně vyšší než u zdravé populace, naopak některé průzkumy dokázaly nižší nehodovost diabetiků. V této části práce byly také přiblíženy metody měření glykemie v současné době. Zejména kontinuální měření glykemie je zajímavé z pohledu monitoringu glykemie ve vozidle, ze současných metod byly navrženy jednotlivé metody pro měření glykemie za jízdy a popsány. Dále byl vykonán průzkum mezi diabetiky na půdě IKEMu. Výzkum byl vytvořen na základě informací v předchozí části práce a vzhledem k výsledkům dotazníkového šetření byla vybrána optimální metoda pro detekci hypoglykemie. Jako nejlepší metoda byl vybrán systém měření glykemie pomocí glukózových senzorů.

Poslední část práce se zabývá návrhem systému. Pro přenos informace byl vybrán systém Bluetooth se zabezpečením na úrovni služeb. Asistenční systém by měl komunikovat s glukózovým senzorem, po obdržení dat by měl přejít do určitého stavu, ve kterém předává řidiči informaci o jeho stavu. Stavů jsou rozpoznány čtyři, normální stav glykemie, poté stav, kdy je hodnota glykemie v normě, ale prudce klesá, a hrozí tak vznik hypoglykemie, třetí stav nízké hodnoty glykemie, kdy hrozí vznik hypoglykemie a posledním stavem je hypoglykemie. Práce obsahuje schéma systému, vytvořené v programu *Diagram Designer*, od zapnutí až po vypnutí systému. Poté byly navrženy adekvátní vizuální a akustické signály pro varování řidiče, naopak haptická upozornění nejsou nutná. Systém by řidiče akusticky varoval při nižší glykemii, při rychle klesající glykemii a samozřejmě při hypoglykemii. V práci je navržená i

metoda pro detekci hyperglykemie založená opět na glukózových senzorech, která navrhuje další stav, tedy hyperglykemii. Ta je, jak je vysvětleno předtím, daleko méně nebezpečná při řízení vozidla, proto by byl tento stav pouze informativním a řidiče by akusticky nevaroval. V poslední části se práce zabývá tím, jakým způsobem může být systém uveden na trh, systém by nebyl povinný pro všechny diabetiky, mohl by být povinný pouze pro ty, kteří kvůli častým a nevladatelným hypoglykemiím (alespoň dvakrát ročně) nedostanou od lékaře povolení k řízení motorových vozidel. Díky včasnému varování o blížící se či nastalé hypoglykemii by řidič mohl na situaci reagovat a hypoglykemii zvládnout. Rozhodnutí, jestli může diabetik dostat povolení k řízení, je na ošetřujícím lékaři.

Osobně byla pro mě práce přínosem, stejně tak doufám, že navržený systém by byl přínosný i pro diabetiky. Jako pozitivum shledávám osobní obohacení v jiné oblasti, než technika a technologie, a to v medicíně, konkrétně diabetologii. Překvapil a až znepokojil počet diabetiků obou typů diabetu mellitus, především jeho nárůst za posledních dvacet let, kdy se počty diabetiků téměř zdvojnásobily. U diabetu mellitus druhého typu to přisuzuji stravovacím návykům, ale u prvního typu diabetu mellitus je důvod takového nárůstu obecně neznámý. Na druhou stranu je u diabetu zřetelný technický pokrok. Ač sám diabetik nejsem, usuzuji, že život diabetiků, především prvního typu, je mnohem jednodušší než dříve. I tak jsem v životě poznal jeho složitosti a i to byl jeden z důvodů výběru takového tématu. V poslední době se na trh dostaly vynálezy pro aplikaci inzulínu jako inzulínová pera, která jsou elegantnějším řešením než injekční stříkačky, nebo inzulínová pumpa, která z poloviny nahrazuje zdravou lidskou slinivku. Do budoucna je možné teoretické úplné nahrazení zdravé lidské slinivky, tedy schopnou kompenzace i glukagonem. Ta v kombinaci s přesným kontinuálním měření glykemie jednou, doufejme, prakticky úplně nahradí slinivku. Zlepšení spatřuji i u měření glykemie. Měření glykemie glukometrem netrvá více než pár desítek vteřin a glykemie se zjistí na desetiny mmol.l^{-1} s ne nijak zásadní chybou. Zde je podle mě nejvyšší pokrok v porovnání se staršími metodami jako např. pomočení proužku a jeho nahřání nad kahanem a pouze na základě zbarvení detekovat hyperglykemii. Nyní lze glykemii detekovat i kontinuálně. Věřím, že se brzy dočkáme dalšího pokroku jako masivnějšího nasazení senzorů pro kontinuální měření glykemie a jejich vyšší přesnost, a také neinvazivních senzorů, jako např. infračervené spektroskopie, která má bohužel zatím nižší přesnost. Jako klíčovou kombinaci vidím vztah mezi komfortem a přesností, kde v současnosti přesnost glukometrů a glukózových senzorů převažuje nad jejich nižším komfortem.

Přínosem a i příjemnou zkušeností bylo pro mě vykonání dotazníkového šetření. Překvapilo mě, s jakou ochotou respondenti k dotazníkům přistupovali, zpětně odhaduji, že přes 90 % tázaných odpovědělo na vykonání dotazníku kladně. Částečně to bylo způsobené prakticky nulovou ztrátou času, protože tak jako tak čekali respondenti v čekárně na řadu u svého lékaře,

spíše to bylo ale také způsobeno zájmem o danou problematiku. Setkal jsem se s několika pozitivními reakcemi, že jako technik jsem si zvolil toto téma a naopak jsem dostal spoustu zajímavých informací mimo dotazník, které jsem v práci také použil. Dále jsem také obdržel pár kontaktů se zájmem další pomoci na tomto tématu i přes to, že bylo dotazování anonymní. Výsledky dotazníkového šetření jsem částečně očekával, nějaké informace mě ale překvapily a sám bych si je neuvědomil.

Celou práci tedy považuji za osobní přínos, i když je systém navržen pouze teoreticky. V budoucnu bych rád poznatky, které jsem obdržel v průběhu psaní této práce, rád využil a použil ve své další práci a návrh systému prohloubil především v tom smyslu, že by systém vznikl fyzicky.

Použitá literatura

- [1] PELIKÁNOVÁ, Terezie a Vladimír BARTOŠ. *Praktická diabetologie*. 5., aktualiz. vyd. Praha: Maxdorf, c2011, 742 s. Jessenius. ISBN 978-80-7345-244-5.
- [2] History of Diabetes. In: *American Diabetes Association* [online]. [vid. 2. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.diabetes.org/research-and-practice/student-resources/history-of-diabetes.html>>
- [3] Insulin Pumps. In: *Diabetes.co.uk* [online]. [vid. 2. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.diabetes.co.uk/insulin/Insulin-pumps.html>>
- [4] Metabolismus glukózy. In: *Třetí lékařská fakulta Univerzity Karlovy* [online]. [vid. 3. 11. 2014]. Dostupné z <http://www.lf3.cuni.cz/opencms/export/sites/www.lf3.cuni.cz/cs/pracoviste/chemie/vyuka/studijni-materialy/CCBGCH21/pro-kruhy/vk_mtb_sacharidu.pdf>
- [5] Hladina krevního cukru po jídle. In: *Diabetologická a podiatrická ambulance* [online]. [vid. 13. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.diabetologiepraha4.cz/o-diabetu/hladina-krevniho-cukru-po-jidle>>
- [6] Slinivka břišní. In: *Slinivka břišní* [online]. [vid. 3. 11. 2014]. Dostupné z <<http://slinivkabrisni.cz/>>
- [7] Biology of C-peptide. In: *Cebix* [online]. [vid. 4. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.cebix.com/index.php/science/c-peptide-biology>>
- [8] Insulins in 2002. In: *Australianprescriber* [online]. [vid. 4. 11. 2014]. Dostupné z <<http://m.australianprescriber.com/magazine/25/2/29/31>>
- [9] International Classification of Diseases. In: *WHO* [online]. [vid. 4. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.who.int/classifications/icd/en/>>
- [10] Type 3 Diabetes. In: *Diabetes.co.uk* [online]. [vid. 4. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.diabetes.co.uk/type3-diabetes.html>>
- [11] Péče o nemocné cukrovkou 2012. In: *Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR* [online]. [vid. 16. 10. 2014]. Dostupné z <<http://www.uzis.cz/publikace/pece-nemocne-cukrovkou-2012>>
- [12] Počet obyvatel v obcích v roce 1980. In: *Český statistický úřad* [online]. [vid. 1. 11. 2014]. Dostupné z <http://vdb.czso.cz/vdbvo/tabparam.jsp?voa=tabulka&cislotab=SLD2010CU&&kapitola_id=347>
- [13] Počet obyvatel v obcích v roce 2012. In: *Český statistický úřad* [online]. [vid. 1. 11. 2014]. Dostupné z <[http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/t/00002BD91C/\\$File/13011201.pdf](http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/t/00002BD91C/$File/13011201.pdf)>
- [14] Počet obyvatel v obcích v roce 2012. In: *Český statistický úřad* [online]. [vid. 1. 11. 2014]. Dostupné z <http://vdb.czso.cz/vdbvo/tabparam.jsp?voa=tabulka&cislotab=DEM1030CU&maklist_velikost=10000&kapitola_id=19>
- [15] Léčba diabetika infúzní inzulinovou pumpou. In: *ANIMAS* [online]. [vid. 5. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.aimport.cz/cz/animas/informace-o-terapii>>
- [16] VÝHODY I NEVÝHODY INZULÍNOVÉ PUMPY In: *Diabetes a já* [online]. [vid. 5. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.diabetesaja.cz/informace-a-clanky/vyhody-i-nevyhody-inzulinove-pumpy.html>>
- [17] Čtvrt milionu Čechů neví, že mají cukrovku. In: *Diabetická asociace ČR* [online]. [vid. 6. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.diabetickaasociace.cz/ctvrt-milionu-cechu-nevi-ze-maji-cukrovku/>>
- [18] LIST OF COUNTRIES BY INCIDENCE OF TYPE 1 DIABETES AGES 0 TO 14. In: *DIABETES UK* [online]. [vid. 6. 11. 2014]. Dostupné z <http://www.diabetes.org.uk/About_us/News_Landing_Page/UK-has-worlds-5th-highest-rate-of-Type-1-diabetes-in-children/List-of-countries-by-incidence-of-Type-1-diabetes-ages-0-to-14/>
- [19] Atlas-poster-2014. In: *International Diabetes Federation* [online]. [vid. 6. 11. 2014]. Dostupné z <http://www.idf.org/sites/default/files/Atlas-poster-2014_EN.pdf>

- [20] DIABETES MELLITUS TYPE 1. In: *dmtree1* [online]. [vid. 7. 11. 2014]. Dostupné z <<http://dmtree1.blogspot.cz/p/etiologyrisk-factors.html>>
- [21] Countries in the world (ranked by 2014 population). In: *worldometers* [online]. [vid. 8. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.worldometers.info/world-population/population-by-country/>>
- [22] Zaujímavé hypotézy, ktoré vysvetľujú nárast diabetu 1. typu. In: *Dia.sk* [online]. [vid. 8. 11. 2014]. Dostupné z <<http://dia.hnonline.sk/zivot-s-diabetom-20511/zaujimave-hypotezy-ktore-vysvetluju-narast-diabetu-1-typu-635261>>
- [23] The Epidemiology of Type 1 Diabetes Mellitus. In: *Intech* [online]. [vid. 9. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.intechopen.com/books/type-1-diabetes/the-epidemiology-of-type-1-diabetes-mellitus#SEC4>>
- [24] EPIDEMIOLOGIA DEL DIABETE MELLITO DI TIPO 1 IN ETÀ PEDIATRICA NEL VENETO. In: *ser-veneto.it* [online]. [vid. 10. 11. 2014]. Dostupné z <http://www.ser-veneto.it/public/File/documents/articoli_di_bollettino/ies200804/ies200804diabete1.pdf>
- [25] Epidemiology of type 1 diabetes. In: *DIAPEDIA* [online]. [vid. 10. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.diapedia.org/type-1-diabetes-mellitus/epidemiology-of-type-1-diabetes>>
- [26] Diabetická ketoacidóza. In: *inzulinec* [online]. [vid. 11. 11. 2014]. Dostupné z <www.inzulinec.cz/file/17/diabeticka_ketoacidoza.pdf>
- [27] LEBL, Jan. *Abeceda diabetu: příručka pro děti, mladé dospělé a jejich rodiče*. Praha: Maxdorf, c1998, 170 s. Medica. ISBN 80-858-0086-1.
- [28] Diabetes mellitus – cukrovka. In: *Veterinární klinika NISA* [online]. [vid. 11. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.vetonline.cz/diabetes-mellitus-cukrovka>>
- [29] Inhalační inzulín Afrezza může být schválen pro léčbu dospělých diabetiků 1. a 2. typu. In: *Diabetická asociace ČR* [online]. [vid. 12. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.diabetickaasociace.cz/inhalacni-inzulin-afrezza-muze-byt-schvalen-pro-lecibu-dospelych-diabetiku-1-a-2-typu/>>
- [30] Umělá slinivka se dvěma hormony. In: *MojeCukrovka* [online]. [vid. 13. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.mojecukrovka.cz/clanek/umela-slinivka-se-dvema-hormony/>>
- [31] The Management of Type 1 Diabetes. In: *Diabetes Manager* [online]. [vid. 14. 11. 2014]. Dostupné z <<http://diabetesmanager.pbworks.com/w/page/17680318/The%20Management%20of%20Type%201%20Diabetes%20>>
- [32] Information about insulin pens. In: *Islets of Hopes* [online]. [vid. 15. 11. 2014]. Dostupné z <http://www.isletsofhope.com/diabetes/treatment/insulin_pens_1.html>
- [33] 5 Tips on How to Best Transition from Injections to an Insulin Pump. In: *Diabetes pharmacist* [online]. [vid. 16. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.diabetespharmacist.com/2013/07/articles/tips-for-people-with-diabetes/5-tips-on-how-to-best-transition-from-injections-to-an-insulin-pump/>>
- [34] The New MiniMed Paradigm® REAL-Time Insulin Pump and Continuous Glucose Monitoring System. In: *Medtronic* [online]. [vid. 16. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.medtronic-diabetes-me.com/insulin-pump-therapy.13.html>>
- [35] Inzulínová pumpa budúcnosti? In: *MojeCukrovka* [online]. [vid. 17. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.mojecukrovka.cz/clanek/inzulinova-pumpa-budoucnosti/>>
- [36] Zákon o provozu na pozemních komunikacích. In: *361/2000 Sb.* [online]. [vid. 18. 10. 2014]. Dostupné z: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361#cast1>>
- [37] Vyhláška o zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel. In: *277/2004 Sb.* [online]. [vid. 18. 10. 2014]. Dostupné z: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-277#f2566655>>
- [38] Projekt IMMORTAL. In: *Centrum dopravního výzkumu* [online]. [vid. 26. 10. 2014]. Dostupné z <<http://www.czrso.cz/file/vliv-alkoholu-leku-a-psychootropnich-latek-na-dopravni-chovani-2/>>
- [39] Diabetes and Driving in Europe. In: *European Commission* [online]. [vid. 19. 11. 2014]. Dostupné z <http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/behavior/diabetes_and_driving_in_europe_final_1_en.pdf>
- [40] Sartre 3. In: *SARTRE3* [online]. [vid. 20. 11. 2014]. Dostupné z <http://www.attitudes-roadsafety.eu/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/Results/SARTRE%203%2>

- Oresults/S3_reports/Part%201_Report%20on%20principal%20results.pdf&t=1417150927&hash=10180132961d3ffee7da03b3bbb1888a>
- [41] Hypoglycemia and safe driving. In: *US National Library of Medicine, National Institutes of Health* [online]. [vid. 21. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2994163/>>
- [42] INFLUENCE OF CHRONIC ILLNESS ON CRASH INVOLVEMENT OF MOTOR VEHICLE DRIVERS. In: *Monash University* [online]. [vid. 21. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.monash.edu.au/miri/research/reports/muarc213.pdf>>
- [43] Vystavujeme se při řízení auta vyššímu riziku hypoglykémie? In: *Diasvět* [online]. [vid. 13. 5. 2013]. Dostupné z <<http://www.diasvet.cz/vystavujeme-se-pri-rizeni-auta-vyssimu-riziku-hypoglykmie/>>
- [44] Hypoglycemia. In: *Canadian Diabetes Association* [online]. [vid. 22. 11. 2014]. Dostupné z <<http://guidelines.diabetes.ca/Browse/Chapter14>>
- [45] Vyšetření glykemie. In: *Praktická cvičení z lékařské chemie a biochemie* [online]. [vid. 22. 11. 2014]. Dostupné z <http://old.lf3.cuni.cz/chemie/cesky/praktika/uloha_A3.htm>
- [46] Energetický výdej aktivit v kj. In: *Kalorické Tabulky.cz* [online]. [vid. 22. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.kaloricketabulky.cz/tabulka-aktivit.php>>
- [47] Glucometer. In: *Emedinfo* [online]. [vid. 23. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.emedinfo.com/gallery.php?id=2&Name=Glucometer>>
- [48] Stanovení glukózy. In: *Univerzita Pardubice* [online]. [vid. 20. 11. 2014]. Dostupné z <https://dspace.upce.cz/bitstream/10195/34972/1/Kulh%C3%A1nekJ_Stavenen%C3%AD%20gluk%C3%B3zy_MB_2cast_2009.pdf>
- [49] Zákon o veřejném zdravotním pojištění a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů. In: *48/1997 Sb.* [online]. [vid. 3. 11. 2014]. Dostupné z: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-48>>
- [50] Medtronic Trial: Next Generation Minimed Enlite Sensor Rocks! In: *Diabetes daily* [online]. [vid. 23. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.diabetesdaily.com/voices/2012/05/medtronic-trial-next-generation-minimed-enlite-sensor-rocks/>>
- [51] Medtronic's Paradigm Veo Wireless Insulin Pump Helps Prevent Hypoglycemia. In: *medGadget* [online]. [vid. 23. 11. 2014]. Dostupné z <http://www.medgadget.com/2009/09/medtronics_paradigm_veo_wireless_insulin_pump_cg_m_system_helps_prevent_hypoglycemia.html>
- [52] Improvements on Noninvasive Blood Glucose Biosensors Using Wavelets for Quick Fault Detection. In: *Hindawi* [online]. [vid. 23. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.hindawi.com/journals/js/2011/368015/>>
- [53] Kontinuální monitoring glykemie. In: *E15* [online]. [vid. 23. 11. 2014]. Dostupné z <<http://zdravi.e15.cz/clanek/priloha-lekarske-listy/kontinualni-monitoring-glykemie-464038>>
- [54] Co je to EEG? In: *neurologie-okacova* [online]. [vid. 23. 11. 2014]. Dostupné z <<http://www.neurologie-okacova.cz/co-je-to-eeg.html>>
- [55] Vliv cukrovky na mentální zdraví. In: *Cukrovkář.cz* [online]. [vid. 24. 5. 2013]. Dostupné z <<http://www.cukrovkar.cz/diabetes-2-typu/vliv-cukrovky-na-mentalni-zdravi.html>>
- [56] FREER, Benjamin, Feasibility of a non-invasive wireless blood glucose monitor. Rochester: RIT 2011. Diplomová práce. Rochester Insitute of Technology, college of Engineering, Department of Electrical and Microelectronic Engineering. [online]. [vid. 24. 11. 2014]. Dostupné z <<https://ritdml.rit.edu/bitstream/handle/1850/13794/BFreerThesis3-2011.pdf?>>
- [57] VÍTOVÁ, Hana, Neinvazivní měření glukózy v krvi. Brno: VUTBR 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, ústav biomedicínského inženýrství. [online]. [vid. 15. 11. 2014]. Dostupné z <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=51236>
- [58] PŘIBYL, Pavel a Miroslav SVÍTEK. *Intelligentní dopravní systémy*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001, 543 s. ISBN 80-730-0029-6.
- [59] NOVÁK, Tomáš, Bezpečnost technologie Bluetooth a její využití v PKB. Zlín: UTB 2011. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta aplikované informatiky. [online].

- [vid. 16. 5. 2015]. Dostupné z
<http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16931/nov%E1k_2011_bp.pdf?sequence=1>
- [60] PUŽMANOVÁ, Rita. *Bezpečnost bezdrátové komunikace: jak zabezpečit wi-fi, bluetooth, GPRS či 3G*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2005, 179 s. ISBN 80-251-0791-4.
- [61] Bezpečnost Bluetooth. In: *ČVUT* [online]. [vid. 14. 5. 2015]. Dostupné z
<https://dsn.felk.cvut.cz/wiki/_media/vyuka/cviceni/x36mti/prezentace2007/dolezr1-doc.pdf>
- [62] GEHRMANN, Christian, Joakim PERSSON a Ben SMEETS. *Bluetooth security*. Boston: Artech House, c2004, xii, 204 p. Artech House computer security series.
- [63] Comparison of the Numerical and Clinical Accuracy of Four Continuous Glucose Monitors. In: *American Diabetes Association* [online]. [vid. 25. 11. 2014]. Dostupné z
<<http://care.diabetesjournals.org/content/31/6/1160.full?cited-by=yes&legid=diacare;31/6/1160>>
- [64] Škoda Roomster 1.2 TSI Green tec Ambition. In: *Autohit* [online]. [vid. 25. 11. 2014]. Dostupné z <http://www.autohit.cz/testy/26028-skoda-roomster-1-2-tsi-green-tec-ambition>

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Přísun a odsun glukózy z plasmy</i>	15
<i>Obrázek 2: Schéma proinzulinu</i>	17
<i>Obrázek 3: Incidence DM 1. typu, 0-14 let, [1/100 000], rok 2011</i>	34
<i>Obrázek 4: Typy umělého inzulínu</i>	40
<i>Obrázek 5: Inzulínové pero</i>	41
<i>Obrázek 6: Inzulínová pumpa</i>	42
<i>Obrázek 7: Displej inzulínové pumpy s glukózovým senzorem</i>	43
<i>Obrázek 8: glukometr s testovacím proužkem</i>	52
<i>Obrázek 9: Glukózový sensor</i>	54
<i>Obrázek 10: Glukózový senzor komunikující s inzulínovou pumpou</i>	54
<i>Obrázek 12: Umístění interface systému na palubní desce, Škoda Octavia</i>	71

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Klasifikace DM podle ICD.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka 2: Vývoj počtu diabetiků léčených na konci roku, incidence, úmrtí.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 3: Vývoj léčených osob v členění podle jednotlivých typů diabetu</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 4: Počet diabetiků v závislosti na pohlaví a typu DM, rok 2012.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 5: Počty předepsaných jednotlivých druhů léčby podle typu DM.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 6: Vývoj počtu diabetiků léčených inzulinovou pumpou</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 7: Odhad incidence DM 1. typu v EU a vybraných zemích, věk 0-14, rok 2014</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 8: Počet diabetiků 20-79 let a jejich prevalence v EU a vybraných zemích.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 9: Epidemiologie DM 1. typu.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 10: Incidence DM 1. typu v závislosti na věku a pohlaví, věk 0-17, roky 2004-2007, Benátsko, Itálie</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 11: Epidemiologie DM 2. typu.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 12: Vývoj počtů léčených osob s komplikací diabetu</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 13: Výdej energie u jednotlivých aktivit.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 14: Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů rozpoznávání hypoglykemie ve vozidle</i>	<i>57</i>

Seznam grafů

<i>Graf 1: Sekrece inzulínu zdravého člověka v průběhu jednoho dne</i>	18
<i>Graf 2: Vývoj počtu diabetiků s DM 1. typu</i>	24
<i>Graf 3: Vývoj počtu diabetiků s DM 2. typu</i>	24
<i>Graf 4: Vývoj počtu diabetiků léčených inzulínovou pumpou</i>	28
<i>Graf 5: Počet kladných odpovědí na systém - všechny typy DM</i>	62
<i>Graf 6: Počet kladných odpovědí na systém - první typ DM</i>	63
<i>Graf 7: Počet kladných odpovědí na systém - druhý typ DM</i>	63

Seznam diagramů

<i>Diagram 1: Schéma systému</i>	70
<i>Diagram 2: Schéma systému pro detekci hyperglykemie</i>	74

Seznam příloh

Povolení k dotazníkovému šetření

PhDr. Martina Šochmanová, MBA
Náměstkyně pro oš. péči a kvalitu
Videňská 1958/9
Praha 4 – Krč

V Praze dne 21. 5. 2015

Vážená paní náměstkyně,

žádám o povolení dotazníkového šetření na Klinice diabetologie k mé diplomové práci na téma „Asistenční vozidlový systém monitorování hypoglykemie řidiče“, na ČVUT, Fakulta dopravní.

Průzkum proběhne na Klinice diabetologie a bude zcela anonymní.

Za kladné vyjádření předem děkuji

S pozdravem

Tomáš Svoboda



PhDr. Martina Šochmanová, MBA

INSTITUT
KLINICKÉ A EXPERIMENTÁLNÍ MEDICÍNY
Úsek ošetrovatelské péče a kvality
náměstkyně ředitele – hlavní sestra
140 21 Praha 4-Krč, Videňská 1958/9

21. 5. 2015