

# Bakalářská práce

## DIABETICKÁ POMŮCKA PRO ANALÝZU GLYKEMIE

Ondřej Peřák

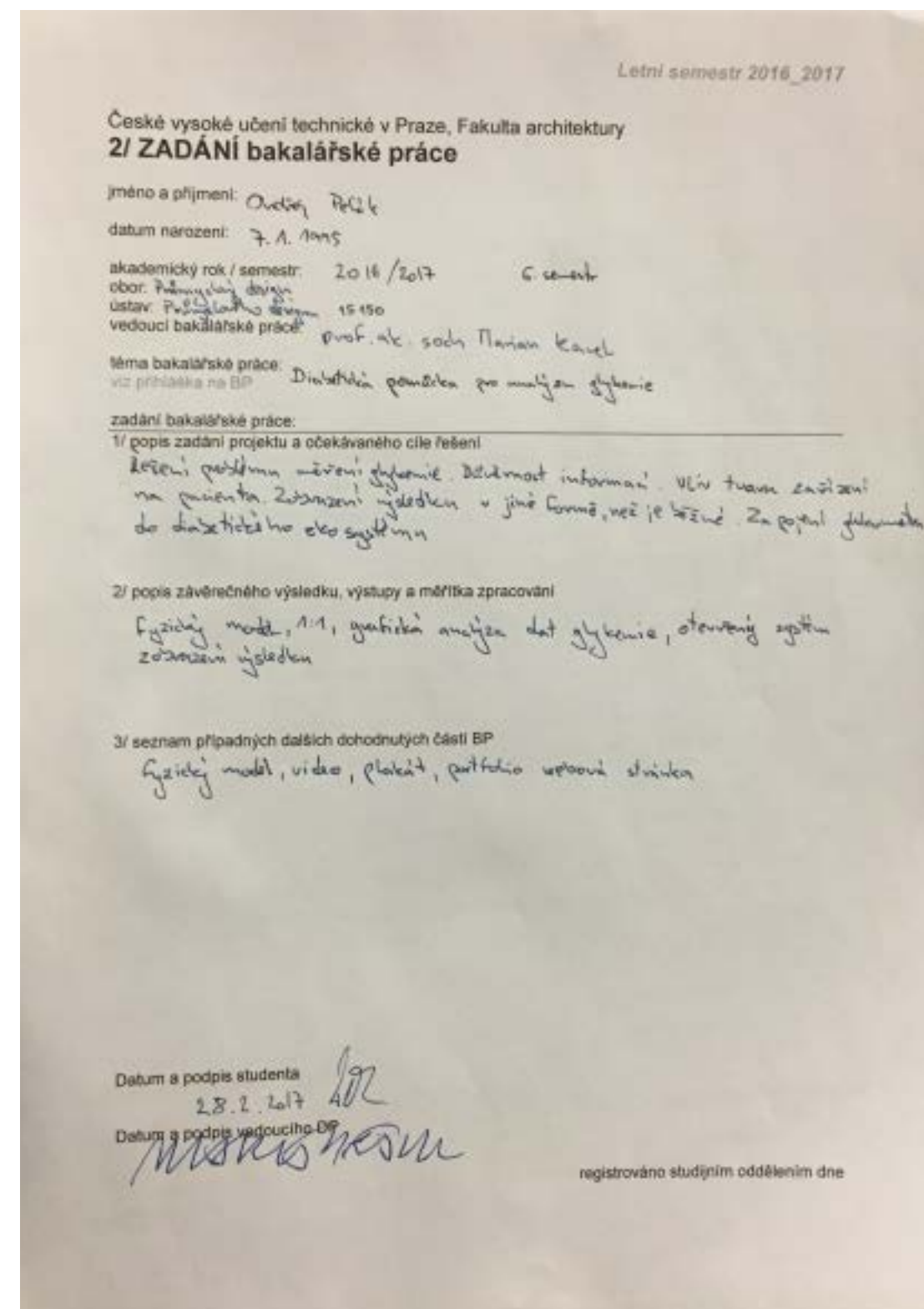
Atelier Karel - Šafařík

Vedoucí bakalářské práce prof. ak. soch. Marian Karel

Ústav průmyslového designu / FA ČVUT  
6. semestr, školní rok 2016/2017

# Obsah

4	Prohlášení	51	Alternativní způsoby využití glukometru
6	Anotace	55	Technologie
8	Manifest glukometru	55	Nabíjení
10	Diabetes		Napojení na další systém
11	Diabetes a jeho rozšíření ve světě a v České Republice	56	Závěr
12	Vliv glykemie na zdravotní stav a pozdní komplikace diabetu	58	Přílohy
12	Historie měření glykemie, metody měření, první glukometry, CGM		
18	Design _ analýza		
19	Systém		
19	Pouzdro		
20	Princip měření glykemie glukometrem s diagnostickým proužkem		
20	Lancetovací zařízení - odběrové pero		
21	Testovací proužky, co s použitým proužkem		
25	Design glukometru		
25	Materiál a životnost		
25	Uživatelské rozhraní		
25	Uživatelské prostředí		
26	Hodnoty		
28	Design_ vlastní design		
30	Intimita		
30	Tvar		
32	Plášť		
32	Víko		
33	Systém měření		
35	Časová náročnost		
36	Uživatelské prostředí		
39	Oscilation		
46	Osvětlení		
47	Design zásobníku a proužků		



<b>České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury</b>	
<b>Autor: Ondřej Pelák</b>	
<b>Akademický rok / semestr: 2016/2017 / 6. semestr</b>	
<b>Ústav číslo / název: 15150 Ústav průmyslového designu</b>	
<b>Téma bakalářské práce - český název:</b>	
<b>DIABETICKÁ POMŮCKA PRO ANALÝZU GLYKEMIE</b>	
<b>Téma bakalářské práce - anglický název:</b>	
<b>DIABETES TOOL FOR GLYCEMIA ANALYSIS</b>	
<b>Jazyk práce: český</b>	
<b>Vedoucí práce:</b>	prof. ak. soch. Marian Karel
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Anna Holubová
<b>Klíčová slova (česká):</b>	Glykemie, nástroj, glukometr, pacient, nemoc, problém
<b>Anotace (česká):</b>	Bakalářská práce se zabývá úvahou nad designem glukometru, jako léčebné diabetické pomůcky ve vztahu k uživateli, jeho abstrakci a transformaci do částečně nové formy. Při analýze trhu narazil autor na nečekaně mnoho společných problémů, které skoro všechny glukometry na trhu sdílejí. Tento text na konkrétní problémy upozorňuje a v sekci „Design _ vlastní design“ navrhuje autor jeho představu ideálního glukometru, který zároveň slouží jako univerzální příklad nové generaci glukometrů, která by měla reflektovat dnešní standardy. Součástí práce je také manifest, který obsahuje požadavky na konkrétní změny a řešené problémy.
<b>Anotace (anglická):</b>	This bachelor thesis focuses on the design of a glucose meter as a diabetes medical device in relation with the user. The thesis deals with the glucose-meter's abstraction and transformation into a partially new form. During the market analysis the author encountered an unexpected number of problems shared by almost every meter on the market. This thesis points out those problems, and in the part „Design _ vlastní design“ the author presents his own vision of an ideal glucose meter design that also acts as an universal example for the new generation of glucometers that should come to meet today's standards. Part of this thesis is also a manifest containing requests for specific changes and the problems addressed.

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

V Praze dne

Podpis autora bakalářské práce

Tento dokument je nezávadnou, povinnou součástí bakalářské práce i portfolio (titulní list)

# Anotace | Annotation

Bakalářská práce se zabývá úvahou nad designem glukometru, jako léčebné diabetické pomůcky ve vztahu k uživateli, jeho abstrakci a transformaci do částečně nové formy. Při analýze trhu narazil autor na nečekaně mnoho společných problémů, které skoro všechny glukometry na trhu sdílejí. Tento text na konkrétní problémy upozorňuje a v sekci „Design \_ vlastní design“ navrhuje autor jeho představu ideálního glukometru, který zároveň slouží jako univerzální příklad nové generaci glukometrů, která by měla reflektovat dnešní standardy. Součástí práce je také manifest, který obsahuje požadavky na konkrétní změny a řešené problémy.

This bachelor thesis focuses on the design of a glucose meter as a diabetes medical device in relation with the user. The thesis deals with the glucose-meter's abstraction and transformation into a partially new form. During the market analysis the author encountered an unexpected number of problems shared by almost every meter on the market. This thesis points out those problems, and in the part „Design \_ vlastní design“ the author presents his own vision of an ideal glucose meter design that also acts as an universal example for the new generation of glucometers that should come to meet today's standards. Part of this thesis is also a manifest containing requests for specific changes and the problems addressed...

# Manifest glukometru

- Glukometr je ze své podstaty zařízení, které uživatel používá několikrát během každého dne, musí být osobní
- Cílem použití glukometru je získání informace. Rychle, jasně, přehledně a snadno a obsáhle.
- Měření glykemie musí být rychlé, pohodlné, diskrétní a samozřejmě přesné, příjemné a ideálně do určité míry zábavné, aby pacienta motivovalo k dalšímu použití
- Zařízení musí odrážet trendy doby, reagovat na nové možnosti a hlavně poznatky v kompenzaci diabetu a umožnit propojení zařízení do provázanějšího celku zdravotnických zařízení.
- Design musí být univerzální, nadčasový
- Zařízení a systém nesmí stát uživateli v cestě, musí pracovat plynule, do jisté míry samostatně a musí být umožněn budoucí softwarový update pro upravení funkcí dle aktuálních poznatků
- Zařízení by se mělo přeměnit a má být veřejná snaha o eliminaci látkové taštičky - obalu jako hlavního místa pro uložení a přenos glukometru.
- Pokud glukometr využívá diagnostické proužky, musí být součástí také místo, kam rychle a pohodlně umístit minimálně 5 použitých proužků. Takže diabetik během celého dne může použité proužky odkládat přímo u zařízení
- Budoucnost je v propojených datech. Glukometr je musí umět poskytnout i zpracovat okolím poskytnutá data
- V současnosti se glukometr přetváří z primárního zdroje hodnoty informace na poddruzné, až v budoucnu čistě kalibrační zařízení systému CGM. V budoucnu nebude třeba mít na glukometru display, displayem bude vše okolo uživatele.
- Zařízení musí být energeticky inteligentní. Musí být zajištěna dlouhá životnost baterie v řádu let, která ideálně překročí morální životnost zařízení.
- Pokud je nutné zařízení nabíjet, uživatel to nesmí poznat. Nabíjení musí probíhat automaticky jako součást jiného procesu zařízení
- Dokud jsou diagnostické proužky a měření glykemie z krve nejpřesnější metodou, musí být promyšlené. Nosná plastová vrstva proužku má být transparentní, aby vodila světlo. Při prosvícení je ve tmě poloha proužku jasná i bez nutnosti výrazného světelného zdroje.
- Glukometr s diagnostickými proužky musí mít kvalitní a promyšlený světelný zdroj. To znamená světlo v barvě, při které je krev jasně viditelná. Intenzita světla musí být přiměřená a ideálně regulovatelná podle aktuální potřeby. Nesmí být ani příliš slabá, ani příliš silná, aby rušila okolí a budila pozornost.
- Pracovní prostor glukometru musí být co nejmenší. Od zásobníku proužků k lancetě a proužku nesmí být pohyb prstů na vzdálenost více než 10 cm. Ruka by se měla pohnout co nejméně.
- Otevírání pouzdra, vyhazování proužku i zavírání pouzdra jsou také součástí procesu měření. Výrobci na toto musí pamatovat.
- Glukometr by měl být sám sobě pouzdrém
- Zvukové signály musí odpovídat 21. století. Pokud vůbec musí být. Každý signál musí jasně vyjádřit co znamená. Generické pípání musí být eliminováno.
- Při dobrém designu můžeme uživatele upozornit vibrací namísto zvuku.
- Jednotlivé prvky procesu (glukometr, balení proužků, lanceta, přenosné pouzdro a další) měření jsou součástí. Musí spolu komunikovat vizuálním i funkčním jazykem.
- Používání musí být co nejjednodušší a přímočaré
- Držíme palce alternativním, neinvazivním metodám, protože krevních testů se chceme všichni zbavit

# Diabetes

## Diabetes a jeho rozšíření po světě a v České Republice

Diabetes mellitus je chronické onemocnění projevující se poruchou metabolismu sacharidů v těle pacienta. Jedná se o skupinu chorob, která mají rozdílný důvod vzniku, ale podobné následky, jejich projevem je hyperglykémie. V základu rozdělujeme diabetes mellitus I. a II. typu, dále poté gestační diabetes mellitus, neboli cukrovka těhotenská a další formy poškození/poruch účinku inzulínu. Diabetes vzniká důsledkem nedostatku inzulínu v těle pacienta, jeho nedostatečným účinkem / inzulínovou rezistencí a nebo kombinací obojího.

Inzulin je peptidový hormon, který reguluje energetický metabolismus. Má zásadní podíl na regulaci koncentrace glukózy v krvi - glykémie. Umožňuje přechod glukózy, jako nositele energie do buněk. Jeho nedostatkem vzniká v první řadě hyperglykémie, tedy zvýšená hladina cukru v krvi, která je z dlouhodobého hlediska velmi vážný problém. Inzulin vzniká v Beta buňkách Langerhansových ostrůvků ve slinivce břišní. Beta buňky jsou obklopeny Alfa buňkami, které produkují glukagon, což je hormon s opačnou funkcí, než inzulin - v řeči lajka je to hormon, který zvyšuje glykemii. Po zastavení tvorby inzulínu již není možné výrobu obnovit a člověk se stává diabetikem. Existuje možnost stransplantace Langerhansových ostrůvků, avšak to je pro svou náročnost velmi krajní metoda. Betabuňky jsou ve slinivce ve velmi malém množství a jejich separace od zbytku slinivky není jednoduchá. Na jednu transplantaci je třeba dvou až tří slinivek od dárců zemřelých mozkovou smrtí, kterých je nedostatek. To je velmi problematické zajistit. Možností je také transplantace celé slinivky břišní. Tato metoda také není funkční ve 100% a i s ní je spojen druhý nepříznivý faktor - nutnost požívat léky na oslabení imunitního systému po transplantaci. To přináší mnoho vedlejších účinků a vede ke snížení kvality života. Tato změna je ve výsledku daleko horší a náročnější, než život s diabetem. I proto se k transplantaci zatím přistupuje pouze v ojedinělých případech kdy standardní léčba diabetu selhává.

Při nedostatku inzulínu nejsou buňky schopny absorbovat glukózu z krve buněčnou membránou, glukóza tak v krvi zůstává, hromadí se - vzniká hyperglykémie. Glukóza je vyžadována pro funkci mozku, jako nositel energie. Při nedostatku inzulínu, hyperglykémii a tedy nedostatku energie v buňkách tělo - játra usoudí, že tělo hladoví a v krvi není dostatek glukózy se začne hledat jiný zdroj energie - proces glukoneogeneze, tedy tvorba glukózy z necukrových substrátů, například aminokyselin, glycerolu, laktátu. Dochází také k vyššímu štěpení triacylglycerolů na mastné kyseliny a glycerol v tukových buňkách,

adipocytech. V těle má nejvyšší prioritu mozek, který musí mít neustálý přísun energie, standardně glukózy. Při glukogenezi ovšem dochází k tvorbě ketolátů, jakožto záložního nosiče energie pro mozek. Ketolátky jsou produkt rozkladu mastných kyselin. Mastné kyseliny samotné neumí mozek použít jako zdroj energie a musí se tak převést na ketony. Zvýšené množství ketolátů v krvi uvede metabolismus do stavu ketózy. Tento stav může nastat i za běžných okolností, například při delší pauze mezi jídly. Pokud je ovšem tvorba ketolátů zvýšena delší dobu, tělu hrozí ketoacidóza, respektive diabetická ketoacidóza. Velké množství ketolátů nestíhá organismus zpracovat a ty poté snižují pH krve.

Diabetes mellitus I. typu, často označovaný jako dětská cukrovka je těžší variantou diabetu. Sekrece a tvorba je zpočátku silně potlačena a poté přerušena úplně. Jedná se o autoimunitní onemocnění, tedy onemocnění, které si tělo pacienta způsobí samo svou genetickou dispozicí. Imunitní systém jedince začne rozpoznávat beta buňky Langerhansových ostrůvků jako cizí, začne je napadat a postupně dojde k destrukci těchto inzulín produkujících buněk. Tento proces je nevratný a odehraje se zpravidla v horizontu 6 - 12 měsíců. Tento typ diabetu propukne převážně u mladých jedinců do 25 let věku, ale jsou známé i ojedinělé případy lidí starších. Důvod vzniku není dodnes znám. Nemoc je dodnes nevléčitelná. Po diagnostice je nutné přejít na inzulínový režim, kdy je inzulin do těla dodáván externě - dříve inzulínovými stříkačkami, dnes standardně inzulínovým perem a nebo inzulínovou pumpou. Je doporučena lehká úprava životosprávy, jídelníčku. Sám člověk ke vzniku DM 1. typu nijak nepřispěje, nemoc je součástí genetické výbavy a je jen otázkou jestli a kdy se nemoc projeví.

Diabetes mellitus II. typu se projevuje částečnou změnou množství vylučovaného inzulínu, nebo rezistencí těla vůči inzulínu. Léčba probíhá buď prášky a nebo také aplikací inzulínu, avšak zpravidla v menším množství, jen na dorovnání hladiny cukru v krvi. Tvorba inzulínu u diabetiků 2. typu není zcela přerušena. Diabetes 2. typu (a často nesprávně také DM 1. typu) je označován jako civilizační choroba. Projevuje se převážně u lidí s nadváhou, sedavým životním stylem a přejídáním. Tito jedinci si za nemoc opravdu mohou sami svým životním stylem. Samozřejmě existují i lidé, kteří mají nemoc vrozenou.

Diabetes je jako onemocnění léčitelný od 20. let 20. století a to díky objevu dvojice vědců Bantina a Besta. Ti dokázali roku 1921 extrahovat inzulin z krav. Roku 1922 lékař Elliott Joslinem, který se jako první v Americe specializoval na diabetes, aplikoval inzulin čtrnáctiletému chlapci Leonardu Thompsonovi,

který se stal prvním léčeným diabetikem na světě, avšak zemřel již za 13 let. Od té doby prodělaly inzuliny samozřejmě řadu revolucí a evolucí, z původně zvířecích extraktů se přešlo na čistě chemicky vyráběné inzuliny, které používáme dodnes. Dnes dostupné inzuliny jsou dostupné v různých modifikacích lišících se jak v obsahu látek, protože některé nemusí pacientovi sednout, tak také v rozdílné době působení inzulinu v těle, s rychlým či velmi dlouhým působením od jednotek minut (nejnovější certifikovaný inzulin NovoNordisk Fiasp) po vyšší jednotky hodin (například NovoNordisk Levemir).

Jen v České Republice bylo v roce 2015 evidováno více, než 800 000 diabetiků, z nichž asi 60 000 jsou diabetici prvního typu. Ve světě jde o číslo celkem asi 400 milionů diabetiků.

### Vliv glykemie na zdravotní stav a pozdní komplikace diabetu

Glykemie se v lidském těle přirozeně v průběhu času mění. Na její výkyvy má vliv aktuální fyzická aktivita, strava, množství inzulinu, fyzická stavba jedince, stresové a emoční výkyvy, různé sezonní onemocnění a další. A to vše se mísí v čase. Stejně jako rozdělujeme rychle a dlouho působící inzulin, rozlišujeme také různě rychlé a pomalé druhy potravin. A kromě druhu potravin závisí samozřejmě také na jejím množství, které musí být správně vykompenzováno dávkou inzulinu podanou ve správný čas, většinou před jídlem.

Při kompenzaci diabetu je kontrola hladiny glykemie klíčová a glykemie samotná je nejdůležitějším faktorem (ne)úspěšnosti léčby. Respektive z dlouhodobého pohledu jde o hodnoty tzv. glykovaného hemoglobinu (HbA1c), který se odečítá z červených krvinek. Jejich životnost je 120 dní a glykovaný hemoglobin odráží pomyslný průměr glykemie za toto období. Pacient diabetik chodí na diabetické kontroly zpravidla každé 3 měsíce, což perfektně koresponduje s životností krvinek a lékař je tak schopný vidět pomyslnou kvalitu léčby od poslední návštěvy. Glykovaný hemoglobin se udává v mmol/mol, nebo v procentech celkového hemoglobinu. U zdravých jedinců se tato hodnota pohybuje do hodnoty 39 mmol/mol, diabetik s hodnotou do 45 mmol/mol má vynikající kompenzaci diabetu a do hodnoty 60mmol/mol je kompenzace přijatelná. Vyšší hodnoty jsou již alarmující a z dlouhodobého pohledu nebezpečné, mohou přivodit silnější diabetické komplikace o dost rychleji.

### Diabetické komplikace

Špatně zvládaný diabetes s sebou nutně nese tzv. pozdní diabetické komplikace. To jsou fyzické komplikace, prakticky nevratné poruchy lidského těla spojené s dlouhodobě vysokou, nebo naopak nízkou glykemií. Jejich projevení záleží na několika faktorech. Nejdůležitějším je samozřejmě právě dlouhodobý glykemický průměr, doba, po jakou je glykemie zvýšena, ale také fyzické dispozice jedince a celková ochota na sebe dbát a nezanedbávat se.

Mezi komplikace spojené s nízkou glykemií patří především nevratné poškození nervů. Ať už se jedná o motoriku a nebo cit. A samozřejmě také mozek, který s nízkou glykemií - tedy bez glukózy rychle odumírá. Pacient s vážnou neléčenou hypoglykemií může zemřít, nebo si vážně poškodit zdraví v řádu desítek minut.

Vysoké glykemie jsou v tomto pohledu rozmanitější. Mezi častá poškození patří poškození zraku, dolních končetin, poškození cévního systému, srdce a další. Mohou být také kombinované a nebo se mohou projevit nedlouho po sobě. V krajních případech může pacient oslepnout, přijít o nohu nebo zemřít na infarkt. Mezi známé komplikace patří například tzv. diabetická noha, tedy hnisavý zánět, který při pozdním záchytu vede k napadení kostí a je nutné přistoupit k amputaci.

Důvody, proč se pacient do těchto problémů dostane jsou různé. Může jít o ignoraci nemoci ze strany pacienta, což je asi ten nejhorší případ. Další možností je neschopnost porozumění hodnot glykemie, nepravidelné měření, nevidění dlouhodobých trendů - návaznosti glykemie na určitých situacích a podobně. Na vině jsou přitom často kromě pacientů také lékaři a samotná léčebná záření - více později.

### Historie měření glykemie, metody měření, první glukometry

Text následující kapitoly se věnuje historii měření glykemie. Tomuto tématu jsem se již v minulosti částečně věnoval, proto jsem si vypůjčil část textu. Historie inzulinových pump pro předmět Dějiny vývoje techniky, volně dostupné z webu Fakulty architektury ČVUT.

Počátky měření glykémie sahají hluboko do historie. Diabetes byl poprvé pozorován v Egyptě, přibližně 1500 let před našim letopočtem. Řecký lékař

Aretaeus (130 – 200 našeho letopočtu) pozoroval onemocnění projevující se stálou, neukojitelnou žízní, nadměrným močením, ztrátou tělesné hmotnosti a toto onemocnění pojmenoval „diabetes“ – od slova protékat, odtékat, značící neustálý příjem vody navzdory jeho zvýšenému vylučování.

V průběhu středověku probíhalo několik pokusů na diagnostiku různých onemocněních za pomoci analýzy moči a to proto, že moč nemocných přitahovala mouchy. Badatelé se zajímali o její barvu, usazeniny, zápach a někdy i chuť. Nicméně až v 19. století vědci přišli na to, že v moči člověka postiženého diabetem je přítomna glukóza – cukr. Tento nález byl dále podpořen roku 1838, kdy laborant George Rees dokázal izolovat nadbytek cukru ve vzorku krve diabetického pacienta. 5

Od 19. století již pozorujeme vývoj sledování krevního cukru, respektive možnosti ho sledovat. Ještě mnoho desítek let se cukr u pacientů sledoval pouze z moči a to za pomoci různých, právě v 19. století vyvinutých, metod. Za nimi stáli například pánové Trommer, Von Fehling, kteří ve 40. letech 19. století dokázali vyvinout směs, na kterou byla nanesena vrstva síranu měďnatého, který po kontaktu s glukózou produkuje zbarvený oxid měďnatý. Postup optického hodnocení moči se stal komerčním v 50. letech 18. století a od té doby bylo vyvinuto ještě mnoho různých technologií, avšak všechny měly stejný cíl a tento systém se používá dodnes. Důležitým milníkem byl také rok 1908, kdy Stanley Benedict objevil měďnaté činidlo, které se, s pár modifikacemi, stalo standardem pro sledování cukru v krvi diabetiků po další přibližně půl století. Ve 40. letech přišel na trh přípravek s názvem Clinitest, který obsahoval skleněnou ampulku na moč a malé „měďnaté“ tablety, které po kontaktu s močí reagovali a za chvíli se zbarvily vlivem chemické reakce do odstínu barev ve spektru od zelené po oranžovou, z čehož šlo za pomoci vzorníku odečíst přibližnou hladinu cukru. 6

Od 30. do 50. let 20 století se technologie optického hodnocení moči stále zlepšovala, zrychlovala se reakční doba – tím se zkracovalo nutné čekání před odečtením výsledků, avšak tato metoda nebyla přesná – nebylo možné získat přesnou, ale jen přibližnou hodnotu glykemie, a pokud trpěl pacient hypoglykemií, tak z proužku mohl odečíst hodnotu nesprávnou, tedy byl uveden v život ohrožující omyl. V této době – 20 až 30 let po objevení inzulinu se začaly také objevovat dříve neznámé pozdní komplikace diabetu, které byly způsobeny špatnou léčbou – dlouhodobý průměr glykemie diabetiků byl vysoko nad průměrem zdravého člověka a tento nadprůměr způsoboval ucpávání cév

(častokrát s následkem odumření a amputace končetiny), oslepnutí, poruchu ledvin, poruchu nervů a mnohé další. Důvod proč byly komplikace neznáme je spojen s inzulinem. Dříve pacient umřel dříve, než se u něho komplikace stačily projevit v takové formě a míře, jako nyní.

A tento problém je spojen s odečítáním glykemie z moči. Zaprvé, lidé (a to včetně lékařů) netušili, co se děje v lidském těle, když se člověk nají – jaký je průběh glykemie a v podstatě nebylo vědomí o tom, že se glykemie dramaticky mění, někdy i každou minutu. Další ránu uštědřil objev dlouhodobě působícího inzulinu. První inzuliny byly inzuliny s krátkou dobou působení, takže byl pacient nucen si podávat dávky inzulinu vícekrát denně. Zanedlouho byl však odvozen inzulin s dlouhodobějším uvolňováním, který díky dlouhodobému, pozvolnému uvolňování nabídl pacientu možnost snížení počtu injekcí za den, což však vedlo (bez vědomí kohokoli) ke zvýšení dlouhodobé hladiny cukru a tím k výraznějším a rychleji nastupujícím pozdním komplikacím diabetu, vypsáním výše.

### Glukometr

Výbornou odpovědí na tento problém bylo objevení elektronického testovacího přístroje, zvaného glukometr, který jednak (v budoucnu) umožnil měření glykémie v pohodlí domova i na cestách, nepotřeboval vzorek moči ale krve, získaný z pravidla z prstu a přinesl také přesnost, protože ukazoval naměřenou hodnotu číselně – eliminovalo se nepřesné posuzování barev. Roku 1957 prokázal pan Kohn, že v té době používaný prostředek na měření koncentrace cukru v moči Clinistix dává dobré výsledky i pro měření obsahu cukru v krvi. Roku 1965 výzkumný tým společnosti Ames, pod vedení Ernie Adamse vynalezl první testovací proužek pro testování přímo krevní hladiny cukru – Detrostix. Stále se však jednalo o systém odečítání hladiny za pomoci barevných vzorků. Čtení však bylo problematické, protože barva testovacích polí byla ovlivněna zbytky krve a navíc, Detrostix byl určen pro použití pouze v ordinacích. V podobný čas přišel z německa (firma Boehringer Mannheim) testovací proužek, který obsahoval dvě testovací pole, každé jiné barvy (modré a béžové) a tím bylo usnadněno čtení hodnoty – eliminovaly se chyby v odečítání a změna barvy vlivem krve.

V 70 letech byl vědci představen takzvaný glykovaný hemoglobin (HbA1c) - klíčového ukazatele stavu kompenzace pacienta, používaný dodnes. Vědecké konference a debaty v té době došly k závěru, že v rámci předcházení pozdním

komplikacím diabetu je zapotřebí zlepšit kvalitu „self-monitoringu“ každého pacienta, čímž by se dalo upravit jednotlivci inzulinovou terapii a tím hladinu HbA1c snížit – ideálně se přiblížit hladině zdravého člověka. Byl zde však velký problém v podobě neexistující metody pro přesné a hlavně garantované výsledky hodnot krevního cukru.

V roce 1970 byl představen vůbec první glukometr, opět od firmy Ames, kde Anton Clemens využil předchozí znalosti, zkušenosti a možnosti přípravku Dextrostix a vyvinuli bateriemi poháněný přístroj, který fungoval na principu optické analýzy chemického vzorku – přístroj osvětloval testovací proužek světlem a z jeho odrazu získal za pomoci fotoelektrické buňky hodnotu proudu, kterou prezentoval pohybem ukazatele na třech stupnicích s rozdílnými částmi sledovaného spektra (0-4, 4-10,10- 55mmol/L krevního cukru). Přístroj vážil 1,2kg, jeho cena se pohybovala okolo 500\$ a součástí byl referenční testovací proužek pro kalibraci. Stále se však nepodařilo zcela odstranit problém se čtením hodnoty, způsobený „zašpiněním“ testovacího pole kapkou krve a to způsobovalo značnou nepřesnost výsledů obzvláště v nižších hodnotách. První pacient, který ho použil se jmenoval Dick Bernstein. O dva roky později, 1972, představila japonská společnost Kyoto-Daiichi podobný model, který však neobsahoval velké a těžké baterie, ale využíval síťový adaptér, díky čemuž byl lehčí a hlavně levnější. Navíc obsahoval pouze jednu stupnici pro odečítání výsledků.

Roku 1974 byl představen glukometr Reflomat od společnosti Boehringer Mannheim, který vyžadoval o mnoho menší kapku krve, než bylo doposud třeba. Avšak stále byla všechna měření prováděna pouze v lékařských ordinacích. (11)

### 80. léta

Toto se změnilo roku 1980, kdy byl představen Dextrometer, který jako první obsahoval digitální display a dalo se zvolit, zda-li bude bateriový nebo napájen ze sítě. Jeho konkurentem byl Ames Glucometer, který byl menší, kompaktnější a daleko snazší pro použití. A mezi další příchozí inovace patřilo například více variant designu, uživatelskou paměť pro výsledky, které se daly zpětně prohlížet, snížení váhy a velikosti, stejně jako se měnily testovací proužky, které používaly stále menší množství krve. Zjistilo se také, že některé sady proužků mají rozdílné chemické složení reakční látky a tak podávají o trochu jiné výsledky, důsledkem čehož byla vyvinuta technologie „kódování“ proužků, když se před použitím

sady nových testovacích proužků vložil nejprve proužek kódovací, který nahrál do paměti přístroje číselný kód, který poté algoritmus glukometru používal při výpočtech glykemie z odečteného elektrického proudu. Roku 1981 představila společnost Ames Glukometr I, který byl lehký, přenosný přístroj napájený bateriemi, obsahoval časový odpočet do výsledku a také akusticky upozornil na vysokou glykemii. Osmdesátá léta přinesla mnoho přelomových bodů ve vývoji glukometrů, z nichž nejdůležitější byl jiný způsob měření glykemie už ne za pomoci odrazu světla ale přímo proudu, který prochází reakční látkou smíchanou se vzorkem krve na testovacím proužku, čímž se opět zvýšila přesnost. Prvním takovým glukometrem byl roku 1987 OneTouch, který přinesl revoluční změnu – uživatel nejprve zastrčil proužek do přístroje, ten se spustil, po aplikaci malého vzorku krve se automaticky spustil odpočet a za 45 sekund byl na displayi zobrazen výsledek. Tyto nové proužky už také nebylo nutné otírat od krve, jako doposud.

### 90. léta

Postupně do 90. let pokračoval vývoj glukometrů ve znamení zmenšení velikosti, zvýšení přesnosti, nárůst kapacity pro ukládání výsledků a obecně se dá říci, že šlo o dosažení co nejmenší uživatelské náročnosti. Například roku 1996 Americká diabetická asociace (ADA) snížila maximální možnou odchylku mezi glukometrem a laboratorním měřením na maximálně 5%. Roku 1997 přišel glukometr Esprit s kapacitou pro „až“ 100 uživatelských záznamů. V tomto období přišla také první možnost stahování dat z glukometru do stolního počítače a možnost jejich následné analýzy – ač tehdy to byla opět možnost spíše pro lékaře. 7

### Dnes

Dnešní glukometry obsahují paměť na 2000 zápisů, což zhruba odpovídá 3 měsícům, tedy ideální periodě návštěv diabetologa. Ze záznamů je možné přímo v přístroji dělat analýzy, průměry na 7, 14, 30, nebo i 90 dní. Novinkou je také možnost elektronicky zadávat množství aplikovaného inzulínu (to ocení ti, kteří nemají inzulinovou pumpu, která tak činí sama) a zadávat množství snědených sacharidů. Tato data později slouží pacientovi k tomu, aby si mohl lépe upravit

svou vlastní léčbu, stejně tak dobře ale slouží pro diabetologa, který dostane ideální obrázek o životě diabetika. A právě úprava své vlastní léčby - self-monitoring je trend, jakým se diabetologie poslední dobou stále více ubírá. Díky technologiím, které máme již není potřeba tak častých návštěv lékaře a ani při velké snaze se lékař nedozví o pacientovi vše – co a kolik toho sní, co dělá. A po pacientovi je chtěno, aby se staral sám o sebe, protože to dělá pro sebe.

### CGM - Continuous glucose monitoring

O technologii Kontinuální monitoring glukózy je technologie, která umožňuje pacientu sledovat jeho glykemickou křivku neustále, 24hodin denně. Komerčně dostupná je od roku 1999, kdy ji jako první představila firma MiniMed (dnes vlastněna společností Medtronic).

Kontinuální monitoring glykemie je další z řady moderních vymožeností, jež může pacient využít a zajistit si tak daleko lepší kvalitu léčby, respektive života. Jde o technologii, která umožní pacientovi sledovat svou glykemickou křivku neustále, 24 hodin denně. Respektive, hodnota glykemie se odečítá každých 5 minut. Princip Glykemie se neodečítá z krve, jako při měření glukometrem, ale z mezibuněčné tekutiny, což přináší jednu nevýhodu a to je zpoždění hodnot. Jelikož glukóza i inzulín jsou po těle transportovány krví, odezva na aplikaci inzulínu se projeví na hladině glukózy nejdříve v krvi, až následně, když se „vsákne“ do těla, se hodnota projeví v mezibuněčné tekutině. Tato odezva se pohybuje od 5 do 30 minut a je proměnlivá u každého jedince jinak. Hlavně však závisí na obsahu tělesného tuku, aktuálnímu stavu těla, stresových faktorech, „rychlosti“ případných požitých cukrů a tak podobně. Vliv na rychlost odezvy mají také samotné senzory, jež měření provádějí a i zde platí, že čím modernější senzor je, tím se jak jeho odchylka tak odezva menší.

Součástí systému Celý systém se skládá ze zmíněného senzoru, vysílače a přijímače / zobrazovače.

### Senzor

Senzor je miniaturní, cca 1,5cm dlouhý o síle vlasu, většinou měděný pozlacený plíšek, na nějž jsou nanесeny různé enzymy, který se vpichuje pod kůži a jeho „základna, což je plast s rozměry okolo 2x2 cm s náplastí, jenž drží celý senzor na těle a součástí je také 3 pinový konektor, kterým se senzor připojuje k vysílači. Vysílač Vysílač je dnes již opět malé zařízení, většinou je tvarované jako mušle, nebo má kapkovitý tvar, aby se minimalizovala možnost vytržení například zaháknutím za oděv. Rozměry jsou jen o málo větší než má základna senzoru a přístroj obsahuje čtecí zařízení - ampérmetr, baterii, která má až 3 týdenní výdrž při měření každých 5 minut a vysílač pro odesílání hodnot do přijímače, paměť až na 10 hodin záznamů v případě nemožnosti odeslat data do přijímače a kontrolní led diodu. Samozřejmostí je 100% vodotěsnost, umožňující pacientovi se koupat i se senzorem.

Přijímač Přijímač je zařízení, které přijme a většinou i zobrazí naměřené hodnoty, umožňuje jejich zpětné prohlížení / analýzu. Některé přístroje umožňují spojení s mobilním telefonem pro přenos naměřených dat do cloudu, kde se s nimi dá opět dále pracovat a nebo sdílet ošetřujícímu lékaři. Jiné mají schopnost například zastavit dodávku inzulínu v případě, že se glykémie blíží kriticky nízké hranici. Přijímače se dají rozdělit do dvou kategorií:

- přístroje schopné pouze zobrazit a analyzovat data, případně sdílet dále – mobilní telefon, cloud. Například firma Dexcom
- inzulinové pumpy vybavené CGM – například společnost Medtronic (toto řešení využívám já, autor). Nejmodernější inzulinová pumpu Medtronic 640G, jež je jako další v řadě pump značky Medtronic vybavena CGM umožňuje nejen data prohlížet přímo na displeji pumpy, ale také je vybavena novou funkcí SmartGuard, která je schopna v případě rychlého poklesu glykémie, nebo při sestupném glykemickém trendu – tzn. v případě, že by glykemie mohla spadnou do hypoglykemie – zastavit dodávku bazálního inzulínu a tím jednak zabrzdit glykemický sestup a také navodit vzestup glykémie tím, že glukózu v krvi po chvíli nemá co odbourávat a tak se glykémie začne zvedat. Zastavení dodávky je umožněno na maximálně 2 hodiny, poté se inzulín znovu spustí, aby nedošlo k otravě krve. Dodávka inzulínu se také spustí vždy, když glykémie opět začne stoupat a nebo když ji uživatel manuálně zapne.

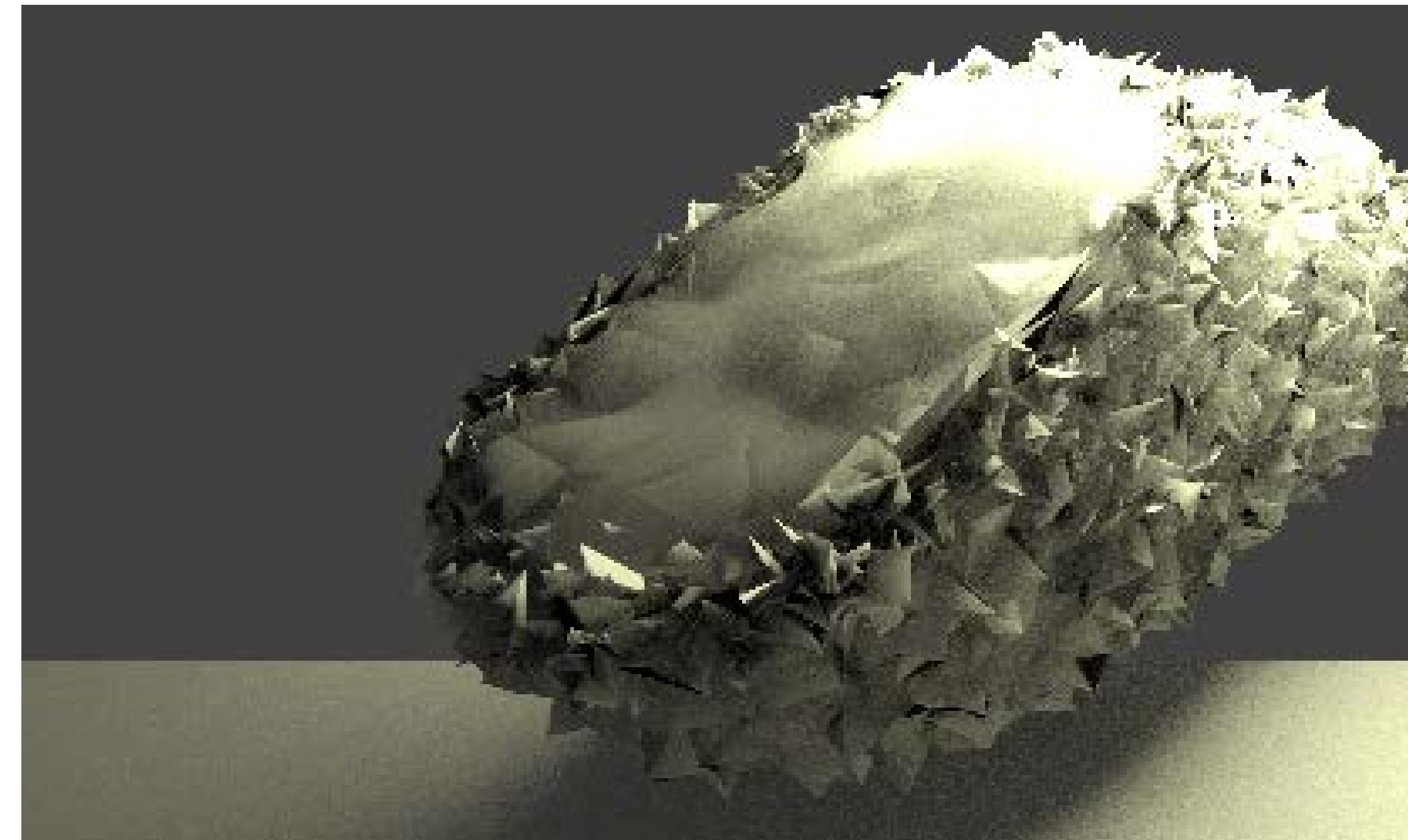


Měření je dnes již velmi přesné. První CGM systém uvedla firma MiniMed v roce 1999. Jednalo se ještě o systém propojen kabelem – takže od senzoru šel k samostatnému zobrazovači dat kabel. Následovali další generace senzorů a samozřejmě další výrobci. Největší pokroky / úspěchy dokázaly dvě společnosti a to již mnohokrát zmíněný Medtronic a Dexcom. Zatímco Medtronic je obří organizace vyrábějící zdravotnická zařízení pro všemožná odvětví a pro diabetiky vyrábí inzulínové pumpy a systém CGM, který bývá s pumpou integrován (nemusí však být). Firma Dexcom se specializuje především na CGM a je třeba říci, že ač se přesnost obou časem zlepšuje, kvalita výsledků je u Dexcomu na daleko lepší úrovni.

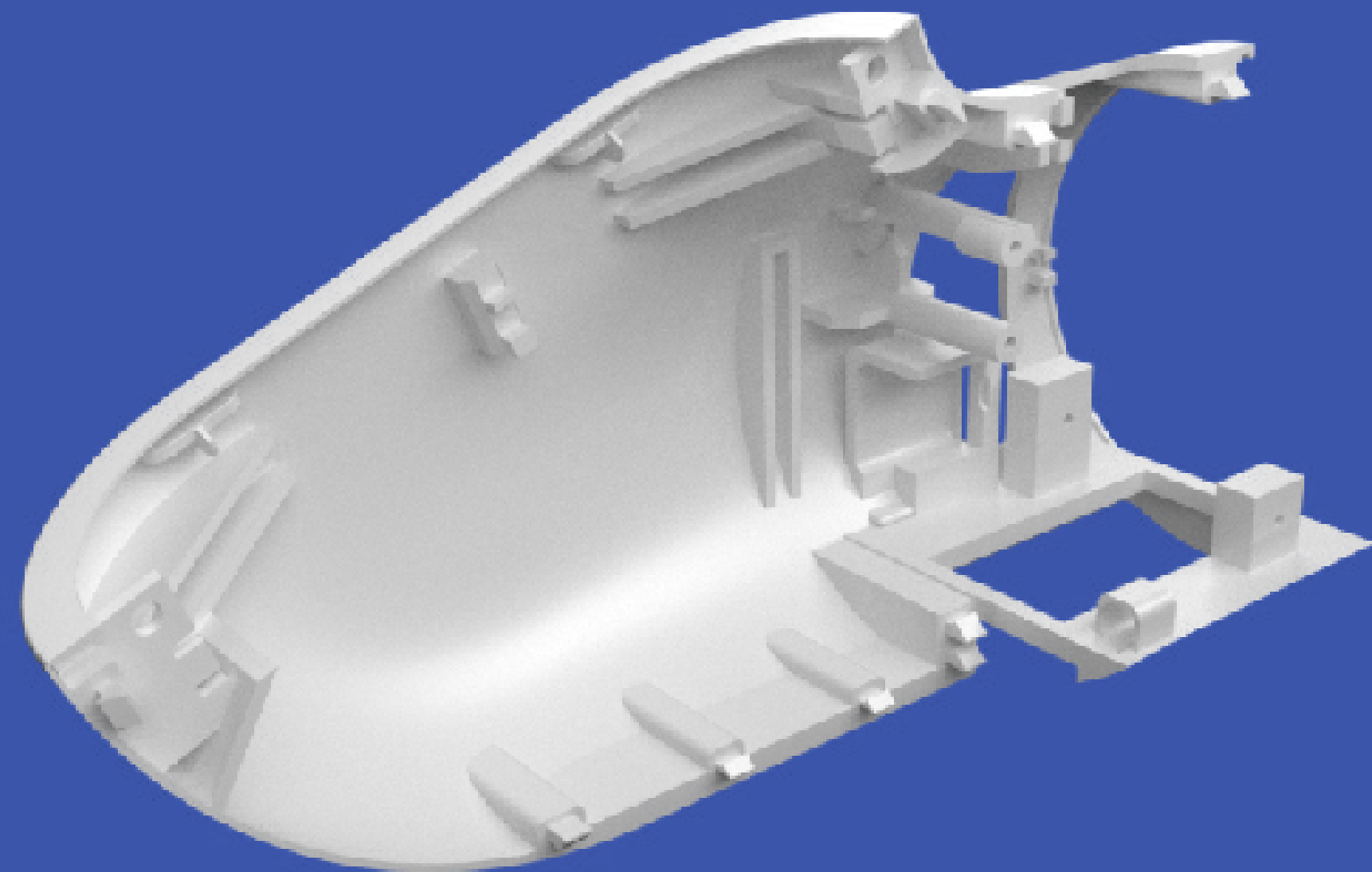
Přijímač / zobrazovač dat také obsahuje algoritmus, kterým je možné dopočítat, nebo zpřesnit získané výsledky. Může se totiž například stát, že příjem signálu bude rušený, nebo že se trend vývoje glykemie náhle změní a na to je třeba reagovat. Přístroje jsou tak například schopny rozpoznat stoupající či klesající křivku a upozornit na tuto skutečnost pacienta a nebo, jako například systém Medtronic 640g, zastavit přísun inzulínu do těla pacienta i bez jeho zásahu.

Přínos CGM je velmi velký, zejména směrem k vyvinutí umělé slinivky – tedy systému, který by pacienta oprostil od povinností s cukrovkou spojených. Problém je ten, že CGM není životně důležitou součástí léčby (ač kvalitu života zlepšuje velmi výrazně), na rozdíl od diagnostických proužků do glukometru, což znamená, že systém CGM je oproti proužkům o poznání hůř financovaný zdravotními pojišťovnami. Při měření senzorem se však musí pacient stále měřit glukometrem při stejném počtu měření, které slouží pro kalibraci senzoru. V České republice je k roku 2015 ojišťovnou hrazeno z pravidla 600 - 1000ks (závisí na pojišťovně) diagnostických proužků a pouze 4ks senzoru na dospělého pacienta za rok. Toto množství proužků, při dodržování doporučeného měření glykemie alespoň 4x denně, přesto nevystačí na pokrytí léčby po celý rok a přibližně 500ks proužků (nějaké proužky se znehodnotí například chybou v postupu, nebo se pacient měří vícekrát za den) si musí pacient dokoupit. U dětských pacientů je hrazené množství vyšší, 1800ks proužků a nově 24 senzorů za rok, což je velmi důležitý milník v historii léčby. Cena jednoho senzoru se liší od výrobce, senzor Medtronic Enlite 2 se prodává za cenu okolo 1200,- (1ks, výdrž 1 týden) a Dexcom G4 se prodává za cenu okolo 1700 (1ks, výdrž 1 týden). Zvážíme-li navíc také cenu proužků, která se dnes pohybuje okolo 400 Kč / 50 ks proužků, nejedná se vůbec o levnou záležitost. Cena vysílače i přijímače, zvláště, se pohybuje okolo 10 000Kč, avšak bývá placen pojišťovnou, nebo pacientovi propůjčen pro zkoušku senzoru, před koupí.

Konec vypůjčené části



# Design \_ analýza



Na design glukometru nelze ani vzdáleně pohlížet jen z estetického hlediska, byť to je samozřejmě první věc, které si na zařízení všimneme. A jedním dechem dodávám, že glukometr nelze brát jen jako samotné zařízení, nýbrž celý komplet systému.

## Systém

Princip měření glykemie glukometrem s diagnostickým proužek na krev. Přesto, že se na krabičce proužků častokrát dočtete, že výsledek uvidíte již za 5 sekund, je měření glykemie glukometrem proces zabírající většinou něco mezi 30 - 60s. Tento čas vychází z principu systému měření.

*Součásti měření: obal, glukometr, balení proužků, vpichovací (lancetovací) zařízení - a libovolný počet dalšího příslušenství / náhradních dílů, jako náhradní baterie, náhradní jehly pro vpich atd.*

Vše začíná nalezením obalu s glukometrem v tašce, batohu či někde v domácnosti. Poté se z balení proužků vyndá jeden proužek, který se umístí do portu v glukometru. Tím dojde ke spuštění glukometru, který je po chvíli kalibrace (a zobrazení „nezbytných“ log výrobců) připraven na aplikaci krve. Pro krev je zapotřebí „píchnout se“ do prstu malou jehlou, která nemá na délku více než pár milimetrů a vpich jde těsně pod povrch kůže prstu, případně dlaně pacienta. Z tohoto místa při troše štěstí teče krev sama, jinak se jí musí pomoci lehkým stlačením v místě vpichu. Tím dostaneme malou kapku krve, kterou aplikujeme na proužek v glukometru. Poté započne testování a po dnes standardních 5 sekundách přístroj oznámí výsledek. V tomto mezikase je zapotřebí otřít prst od krve. Po přečtení výsledku můžeme proužek z těla glukometru vyjmout a vyhodit. Toto je jeden z největších kamenů úrazu, protože výrobci často nenabízí možnost jak se zbavit použitého proužku. Standardní pokyn v manuálu je vyhodit proužek do koše. Ale ne vždy je v okolí měření odpadkový koš a nebo k němu není vždy možnost dojít. A tak proužek často končí pohozený volně v pouzdře. Poté je třeba celý systém uložit do pouzdra, to zavřít a opět někde uložit.

Uživatelé se liší ve stylu použití pouzdra, někteří využívají připravených kapes, gumových ok pro zajištění součástí systému, jiní mají vše pohozeno volně a každou část si berou při měření do ruky zvlášť.

Glukometr není jen glukometr - obal, lanceta, balení proužků, staré proužky, náhradní lancety a další (baterie, ...)

Glukometr nelze chápat jen jako samotné koncové zařízení, které z diagnostického proužku měří glykemii, protože krev a na proužek dostane jen díky příslušenství, které je součástí balení každého glukometru. Z této podstaty by se dalo čekat, že bude glukometr, lancetovací (vpichovací) zařízení, balení proužků a a samo pouzdro mluvit stejným designovým jazykem, což se bohužel často neděje.

Je také zajímavé vyhledat si na internetu obrázky na dotaz glukometr, glucosemeter usage, nebo podobné heslo. Z obrázků, na kterých jsou vidět ruce uživatelů je jasně patrná jedna věc. Glukometr nemá standardizované držení, nemá uživatelský standard, který by řešil efektivitu využití zařízení. Pro kontrast: mobilní telefon, kytaru, smeták či dálkové ovládání od televize držíme všichni takřka stejně. Tato rozdílnost je daná jednak různými (často negativními) návyky uživatelů a také designem zařízení, kdy jedno je hubené, druhé malé, třetí velké a široké. Pacient často nemá možnost si vyzkoušet více typů glukometrů, zjistit, který mu vyhovuje a ten používat, často je mu totiž glukometr přidělen, nebo doporučen.

## Pouzdro

Glukometr je standardně zabalený v cestovním pouzdře, penálu, který slouží jednak jako obal pro přenos, ale také má funkci určitého krytí, ochrany jednotlivých částí systému před vniknutím špíny a zároveň tyto části drží pohromadě. Pouzdra jsou zpravidla látková, vyrábí se z ne příliš kvalitních materiálů a každé pouzdro je jiné. Liší se jak výrobce od výrobce, tak glukometr od glukometru. Uvnitř pouzdra je jedna nebo více kapes pro uložení věcí. Bohužel jsou tyto kapsy tak univerzální, že neříkají, jaké věci se zde mají uložit. Někdo si zde zkovává cukr pro případ nouze, jiný odhazuje použitý proužek, další zde má náhradní jehly.

Pouzdra jsou látková, takže je jejich povrch relativně snadné znečistit krví, na druhou stranu se dají snadno vyprat. Problém je, pokud je v pouzdru silikonový transparentní držák na glukometr, který je standardně vyroben ze silikonu tak tenkého, že po opakovaném použití praská a glukometr tak v místě nedrží.

### Lancetovací zařízení - odběrové pero

*Lanceta - malá kapilární jehla s vyplněným obsahem, zalitá v plastovém těle s výstupy, které slouží pro její aretaci v odběrovém peru*

Lancetovací zařízení pro vpich do prstu je zařízení méně či více podobné tužce. Uvnitř se nachází jednoduchý pružinový mechanismus, kterým je možné vystřelit malou kapilární jehlu jen několik desetin milimetrů pod kůži. Hloubka vpichu se dá nastavit v rozmezí několika kroků jednoduchým plastovým kolečkem. Na horní straně je nabíječ, který tahem stlačí pružinu a zajistí vnitřní mechanismus v nabitě poloze. Po přiložení prstu k otvoru s jehlou se stisknutím tlačítka jehla uvolní a dojde k vystřelení. Ihned po proniknutí kůže se jehla vrací zpět do zařízení. Důležitými faktory jsou čas, počet použitých jehly, její materiál a samozřejmě proměnné jako správné přiložení prstu nebo pacientova kůže. Po vpichu by měla na prstu vytéct malá kapička krve, nebo by ji mělo být možné snadno vymáčknout. Bohužel není neobvyklé, že je třeba vpich opakovat, protože se nepodařilo proniknout dost hluboko, nebo pokud má uživatel studené, neprokrvené prsty, krev častokrát nechce vytéct. Opakování samozřejmě proces měření prodlužuje. Lancetovací zařízení je také poměrně hlasité. Vydává zvuk jako hlasitější propiska, což může být nepříjemné ve společnosti, kdy je cílem co možná největší intimita.

Velikosti zařízení jsou různé, od poměrně malých po velká, macatá. Uživatel o tomto však často neví. Neexistuje jednotné místo pro nabídku, porovnávání a prodej tohoto příslušenství od všech dostupných výrobců. Každý glukometr přijde s vlastním lancetovacím zařízením, které mu výrobce přiřadí a uživatel jej poté používá. Vlivem výrobní ceny se samozřejmě některé designy opakují a je možné najít podobné u více druhů glukometrů. Rozmanitost velikostí umožňuje najít zařízení pro děti i pro dospělé, seniory či lidi s motorickým postižením.

Bohužel až na výjimky nedává design lancetovacích zařízení smysl. Jak již bylo řečeno, jedná se o větší či menší propisky určené pro opakované použití. V nemocničním prostředí se dá setkat s jednorázovými, které jsou vyloženě funkční a proto krásné. V domácím prostředí je ale samozřejmě cílem opakovaně použité zařízení. Byť lze sledovat částečnou aplikaci ergonomie, často je pocit ze zařízení neutrální či negativní a to zejména vlivem použitého plastu, pochybné kvality výroby a na první pohled patrnou levností výrobku. Často jsou vyrobená jako vícedílná skládačka, která má patrně švy a mnoho reliéfních prvků, do kterých se

chyťá jak špína, tak krev z prstů při manipulaci se zařízením.

Pro bezbolestné použití je důležitá rychlost vpichu, hloubka vpichu, ostrost jehly a úhel jejího zkosení. Čím je rychlost vyšší, tím rychleji pronikne kůží a tím kratší je doba pro reakci pacienta. Hloubka vpichu, jak již bylo zmíněno je proměnná a její intenzita záleží na jedinci a aktuálních podmínkách. Ostrost jehly je poté klíčový faktor navazující na dva předchozí. Čím ostřejší jehla je, tím snáze proniká kůží, tím méně je vpich bolestivý a tím méně kůži poškodí. Na otupení jehly má vliv délka jejího používání, tvrdost pacientovi kůže, ale také materiál, ze kterého je vyrobena. Je logické, že horší, měkký materiál vydrží méně, než materiál kvalitní.

Mezi nejlepší lancetovací zařízení patří bezesporu Accu-Chek FastClix, zařízení se zásobníkovou hlavicí, která obsahuje 6 přednabitých lancet v bubnovém zásobníku. Výrobce uvádí, že je výroba prováděna kvalitní patentovanou technologií Clixmotion, díky které nedochází k horizontálním posunům jehly v momentě vpichu a tím se snižuje riziko bolestivého vpichu a velkého poškození v místě vpichu. Lancety mají sklon 30° pro zajištění ideálního průniku kůží. Lancety jsou na jedno použití, to znamená, že zařízení se musí nabíjet po každých 6 vpiších. Hloubka vpichu se dá nastavit v 11 krocích a v rozmezí 0.7 až 2.2mm. Je to jednoznačně posun dobrým směrem.

V tuto chvíli je ovšem nutno podotknout, že byt je doporučeno měnit lancetu po každém vpichu (což tedy Accu-check Fast splňuje na výbornou a tím pacienta i nutí toto dodržovat), pravdou je, že ne všichni toto dělají. Z mého dotazníku, kterého se účastnilo 84 náhodně přihlášených diabetiků různých věkových kategorií vyplývá, že toto nedodržuje skoro nikdo, respektive pouze naprosté minimum pacientů napříč všemi věkovými kategoriemi. Většina respondentů mění jehlu v intervalu několika týdnů, většinou však rozmezí 1 - 6 měsíců. K výměně zpravidla dochází v moment, kdy je vpich nepříjemný. Zde nutno upozornit na fakt, že většina respondentů používá tu samou jehlu na několik krabiček proužků.

Tím, že většina lancetovacích zařízení není vyrobena s ohledem na dlouhou životnost, ale spíše na splnění úkolu a nízkou cenu, jejich kvalita není vysoká. Nízká cena na druhé straně tento fakt kompenzuje možností si v případě potřeby koupit zařízení nové. Cela se pohybuje okolo 100 - 300 Kč, což je, dle mého názoru, poměrně hodně na malý vstříkovaný plast a pružinku.

Výměna standardní lancety zabere cca 10 sekund + čas potřebný k vyndání a opětovnému uklizení zásobníku s novými lancetami.

### Testovací proužky

Balení proužků standardně obsahuje 50ks testovacích proužků. Diagnostický proužek je malý několikavrstvý plastový pásek, který má na jedné straně obsažené elektrody pro zasunutí do portu glukometru, na straně druhé jsou elektrody přivedeny do speciálně upraveného enzymu Glukózooxidázy. Na spodní straně je nosný plast, na něm je nanesená vrstva zlata, případně jiného vodivého materiálu, který je dále, zpravidla laserem, vyřezán do požadovaného tvaru vodičů a elektrod, které jsou většinou u každého výrobce jiné, či odlišné. To záleží na technickém návrhu obvodu proužku, způsobu a technologii měření a výsledkem může být rozdílná přesnost měření, avšak rozdíly jsou dnes sražené na naprosté minimum, jak to vyžadují i úřady EU, USA a dalších zemí. Enzym musí být dostatečně chráněn před přístupem vzduchu a cizích tekutin a vlhkosti, přesto musí být jednoduché nanesení krve. Množství potřebného krevního vzorku je dnes standardně 0,6 mikrolitru, což odpovídá malé špendlíkové hlavičce. To je bezesporu úžasný posun od historických metod, kdy ještě před několika desetiletími bylo třeba množství řádově větší.

Rozměry proužků se postupem času také zmenšují, avšak zastavily se na rozměru, který by dále zmenšit šel, ale z pohledu současných designů systému a způsobu použití glukometrů by zmenšení nedávalo smysl. Proužky jsou „velké“ z prostého důvodu, kterým je manipulace. Systém je navržen tak, že pacient vyndá nový proužek z balení, ručně jej vloží do glukometru, provede test a poté krvavý, tedy nehygienický, proužek vyhodí do odpadkového koše. Samozřejmě, člověk se své vlastní krve ve většině případů neštítí, ale přesto je ideální, pokud se proužku na krvavém konci nemusí dotknout. Téměř všechny glukometry nedisponují mechanizovaným vysunutím proužku. Při zastrčení tak musí proužek dosáhnout až do konektoru v glukometru a na druhé straně musí koukat přebytek materiálu v takové míře, aby byl pohodlně vytažitelný prsty. Rozměry jedněch z nejmenších proužků na trhu, ContourLink Plus, jsou 6x29mm.

Dnes jsou na trhu dva modely pro uložení proužků. Prvním typem jsou trhací „papírky,“ kdy je každý proužek vakuově zabalen ve své vlastní ochranné atmosféře, která ho brání před vzduchem a vlhkostí. Problém tohoto řešení je na

jedné straně vyšší časová náročnost, problematické otevírání při hypoglykemii, kdy jsou zhoršené motorické schopnosti pacienta a na straně druhé také vyšší množství odpadu při jednotlivých měřeních a samozřejmě v celkovém objemu. Výhodou je výborná ochrana proužků, kdy do balení může vniknout vlhkost, ale nedostane se až k proužku samotnému.

Druhou možností je uložení proužků v „soudku“ s víkem o rozměrech cca 35 x 50 mm. V posledních letech se u dražších proužků objevuje novinka v podobě falešného dna, za kterým jsou vlhkost pohlcující kuličky, takže je zajištěna ochrana proti vlhkosti a je částečně kompenzována expozice vzduchu všech proužků v balení při každém odběru proužku. Nevýhodou je zdánlivě větší velikost balení. U tohoto balení je téměř polovina vnitřního prostoru prázdná, dochází tak k plýtvání místem a ve větším množství balení proužku se samozřejmě zdražuje objemová cena přepravy. Prázdný prostor je zde opět z důvodu nutnosti manipulace s proužkem prsty. Vlivem otevřeného balení může také snadno dojít k vysypání proužků, stejně tak jako ke znehodnocení více proužků najednou při kontaktu s vlhkým, například právě umytým prstem. Což ale na druhé straně zvyšuje spotřebu pacienta a tím příjmy farmaceutických firem.

Finanční stránka věci je téma samo pro sebe. V roce 2017 je cena 50 ks proužků ContouLink Plus, tedy proužků vyšší kategorie, 400 Kč. Při dodržování doporučené frekvence měření - 4x za den - tak jedno balení vydrží 12,5 dne. Měsíční náklady na měření jsou tak jen na proužcích 960 Kč. A samozřejmě člověk, který o sebe dbá se musí občas změřit vícekrát za den, například v období nemoci, nebo pokud cestuje či se necítí dobře. Z mého dotazníku také vyplývá, že více než 93% dotázaných vyhodí z každého balení 1 - 3 proužky nepoužitých, znehodnocených tak, že se pro měření použít nedají. Farmaceutické firmy mají na každém proužku marži přibližně 70% (vycházím z článku Davida Speroa, Why Do Test Strips Cost So Much, na webu www.diabetesselfmanagement.com, z roku 2013)

Zajímavý krok „jinam“ udělalo v poslední době hned několik amerických firem, jmenovitě OneDrop či Livongo. Nabízejí předplatné na neomezené množství diagnostických proužků, ke kterému přidávají možnost neomezeného konzultování, rad od nutričních a diabetických specialistů, spolu s mobilní aplikací a službami s ní spojenými. Cena za neomezený program Premium u OneDrop je 40\$ měsíčně, což je při současném kurzu cca 1 000 Kč, tedy při porovnání s předchozím odstavcem velmi lákavé. Navíc s podporou profesionálů.

## Galerie

• OneDrop je mladá firma, založena diabetikem, který byl nespokojen s kvalitou glukometrů na trhu a přišel s nápadem udělat z glukometru lifestyleový produkt - tuto myšlenku zcela podporuji. Přišel s glukometrem, který je malý, vypadá elegantně a celý systém je v koženém pouzdře, které vypadá úplně jinak, než vše ostatní dostupné na trhu. Bohužel je však toto pouzdro nedostatečné pro krytí součástí systému, které stále, z části, koukají ven.

Na znehodnocení proužků má vliv nejen výše popsaná vlhkost a nebezpečí kontaktu s vodou, či vyspání, ale také systém glukometru. Glukometr se standardně zapíná vložením proužku. Měření ale předchází kontrola systému, měření teploty okolí a následná kalibrace měřícího algoritmu. To je operace, která trvá standardně 1 - 2 sekundy. Pokud v této době aplikuje uživatel krev, dojde ke znehodnocení proužku, protože glukometr si ho zatím nevšímá. Když skončí kontrola systému a proužek je změřen kalibračním proudem, systém naměří jinou hodnotu, než jakou vyžaduje a vyhodnotí proužek jako použitý. To, že je krev čerstvá systém neřeší. To i z důvodu reakce aplikované krve a enzymu. Systém odečítá elektrický proud měněný chemickou reakcí. Začíná však s čistým proužkem, kdy si odečte referenční proud a až po aplikaci krve měří rozdíl, který se přepočítá na glykemii. Reakce krve a enzymu je samozřejmě proměnná v čase, takže pozdní měření by nebylo přesné.

Horším scénářem jsou loga výrobců zobrazovaná na displayi zařízení s matrixovým displayem, při každém spuštění. Uživatel ví, co si koupil, nebo co dostal. Logo je na většině glukometrů nanázeno i na plastovém krytu, ale výrobce přesto vytvoří počáteční, „uvítací“ sekvenci log. To je samozřejmě nejen otravné, protože pacient logo vidí minimálně 4x denně, ale také trvá příliš dlouho, než loga zmizí a glukometr začne měřit. A opět platí, pokud aplikujeme krev příliš brzy, proužek je znehodnocen.

To zdánlivě není problém, protože by bylo normální počkat. Jenže, pokud se jde diabetik měřit, chce se změřit co nejrychleji, tento proces je z pochopitelných důvodů dost otravný a je nejlepší ho mít za sebou co nejrychleji. Jelikož se u měření jedná o proces opakovaný, mozek se naučí kroky nazpaměť a člověk je často schopný se měřit „poslepu,“ takže si častokrát ani nepamatuje, jakou hodnotu naměřil. Je to podobné jako to, že se podíváte na hodinky a po 5 vteřinách nevíte, kolik je hodin. Častokrát je třeba se změřit rychle, ať už ve škole či v práci na obědě, v tramvaji nebo venku na výletě. Zkušený diabetik zasune proužek do glukometru a v mezičase se píchne do prstu, ovšem časem je s

tímto hotový dříve, než se glukometr zapne. A pokud aplikuje krev brzy, proužek znehodnotí.

Tvar proužku vychází z výše popsané nutnosti ruční manipulace s ním. Obdélníkový tvar proužku je základem pro modifikace všech výrobců. Některé drží vyloženě obdélník s ostrými hranami, jiné designy mají hrany více či méně zaoblené. Čistě obdélníkové proužky nejsou z pohledu pacienta šikovným řešením, protože při špatné manipulaci, nepozornosti nebo při špatných světelných podmínkách hrozí, že se proužek zasekne o prst a odpruženým vystříkne krev z proužku do okolí. Ať už na pacienta, kterému například pošpiní oblečení, nebo jinam. Existují také proužky, které mají malý ostrý výstupek, který je určen jako náhrada lancety. Z mého pohledu toto řešení není zcela ideální, protože pokud na proužek uživatel sáhne špinavou rukou, může se snadno infikovat. To se při schované jehle tak snadno nestane.

### Co s použitým proužkem

Likvidace použitého proužku je opět problém, který se zdá, nikdo neřeší. Na proužek se aplikuje velice malé množství krve, to znamená, že také poměrně rychle zasychá. Přesto je krev několik minut vlhká a hygienicky nebezpečná. Standardní poučka je vyhodit použitý proužek do odpadkového koše. Což je poměrně nepraktická rada, protože člověk častokrát není na místě, kde je odpadkový koš, nebo se nehodí aby vstával a nebo jednoduše vstávat nechce. Proto je většinou realitou pouzdro glukometru přeplněné použitými proužky. Ty vypadávají při každém dalším otevření pouzdra, překáží a v neposlední řadě nejsou zcela hygienické. A jednou za čas buď vypadnou úplně a nebo je diabetik vyhodí do koše. Ideální by bylo je vracet zpět do obalu, odkud se berou proužky nové. To však nejde právě pro jejich znečištění.

Vzhledem k přítomnosti krve, jako pomyslného přenašeče nemoci není možné proužek navrhnout z rozložitelných materiálů a jen tak zahodit (na zem, do trávy), glukometr musí mít vyřešený systém likvidace proužků, který musí být pacientovi jasný od prvního použití glukometru. Z vlastních poznatků i od respondentů mého dotazníku poměrně jasně vyplývá, že ideální je odhodit proužek zpět do balení. Málokteré pouzdro má ale kapsu přímo pro tento účel, tedy takovou, která se dá zaprvé snadno vysypat a zadruhé se neušpiní krví a její dostupnost musí být okamžitá a přirozená.





## Design glukometru

### Materiál a životnost

Těla glukometrů jsou dnes standardně vyrobena z plastů, jejichž kvalita a hlavně zpracování není nikterak ohromující. Většina je vyrobena z ABS skořepiny, do které je vložena elektronika. Z podstaty stavby zařízení je velmi jednoduché je ušpinit krví a velmi náročné je dokonale vyčistit. Snadno se poškrábnou, tím spíš pokud mají velký display, který je krytý transparentním plastem.

Životnost baterií je rozdílná napříč spektrem glukometrů a liší se z praktických důvodů, dle vybavenosti zařízení. Standardní „hloupé“ glukometry mohou na standardní baterii CR 2032, či jejich dvojici fungovat i několik let. Vybavenější glukometry jsou na tom z logických důvodů o poznání hůř. Glukometry získávají v posledních 5 - 10 letech další funkce, jako například schopnost odeslat naměřenou hodnotu do inzulínové pumpy, nebo mobilního telefonu. Rozdílná je také spotřeba displaye, kdy klasický segmentový LCD display má nižší spotřebu, než dot-matrixový AMOLED u nejdražších modelů. Otázkou ovšem zůstává, jestli je takový display na glukometru potřeba. Samozřejmě, možnost barevně upozornit na negativní výsledek je příjemná a žádaná, ovšem výrobci toho většinou neumí využít správně, nebo nevyužívají plného potenciálu displaye. Super-úspornou alternativou je display na technologii e-paper, který spotřebovává energii jen v momentě, kdy je překreslován obsah displaye a jindy nepotřebuje energii žádnou. Takový glukometr je například Freestyle Optium Neo, který byl prvním glukometrem, který tuto technologii na poli glukometrů využil. Poslední zmíněné technologie pixelových displayů umožňují vykreslovat fonty v daleko větším detailu, výsledek působí určitě příjemněji. Nejvybavenější glukometry umožňují propojení s inzulínovou pumpou, kterou imí i ovládat. Umožňují nejen zaznamenat dávku sacharidů, inzulínu, ale také aktivitu, pocit. Problémem je ale UI.

Morální životnost přístroje je diskutabilní. Po dlouhá léta byly glukometry vzhledově doslova divné, jako by z jiné planety. To se naštěstí mění zhruba od roku 2010, kdy se industriální design začíná dostávat i mezi glukometry v poměrně kvalitní míře. V České republice má pacient nárok na jeden glukometr v ceně 1000 Kč za 10 let. To je z pohledu technologie až neuvěřitelně dlouhá doba, vezmeme-li v potaz, že procesory jsou každé dva roky dvakrát menší, rychlejší a energeticky úspornější. Design zařízení musí být nadčasový, unisex, ale nemusí se nutně snažit být pro všechny. Může mířit na jednu skupinu lidí, což je něco co se dnes neděje a většina glukometrů se snaží být univerzální. Nutno

poznamenat, že glukometry jsou poměrně odolná zařízení, nestává se často, že by tzv. odešly a tak pacient, který dostane glukometr nový si starý odloží do skříně, nebo daruje dál.

### Uživatelské rozhraní

Standardním vybavením glukometru je display, několik tlačítek a port na proužek.

Displaye byly zmíněny výše, jejich rozměry jsou stejně rozmanité jako portfolio glukometrů na trhu. Dají se pořídit glukometry s velkým displayem a velkými číslicemi, stejně jako malé přístroje s menšími displayi. A to je správné, protože všichni diabetici nejsou stejní, jsou různé cílové skupiny s různými potřebami.

Tlačítka jsou v základu zpravidla tři. Jedno funguje jako vypínač, další dvě jsou šipky, které slouží pro procházení výsledků. Některé glukometry mají ještě další tlačítko, které slouží pro rozsvícení pomocného světla u místa portu proužku. Spouštěcí tlačítko slouží také pro přepnutí módu na zobrazení profilů glykemií za posledních 7, 14, 21 dní. Tyto profily bych označil za módu počátku tisíciletí, protože dnes je již stále rozšířenější znalostí, že pouze na základě jednočíslných profilů zahrnujících všechny výsledky se diabetes kvalitně řídit nedá. Je důležité zohlednit každé hlavní jídlo jednotlivě a hledat, respektive zobrazovat souvislosti v čase.

Port na proužek je standardně oddělen barvou, nebo materiálem a jen málo kdy je opravdu chytře tvarovaný tak, aby například usnadnil vložení proužku do přístroje. Častokrát jde jen o tvarovaný plast, který ale nemá hlubší smysl a je vidět, že nad většinou přístrojů nepřemýšleli při vývoji diabetici - uživatelé, ale někdo jiný.

### Uživatelské prostředí

Samotné uživatelské prostředí se opět velmi liší výrobce od výrobce a model od modelu. Od jednoduchých segmentových displayů, které ukazují velkou číselnou hodnotu a v rohu displaye ještě datum a čas, spolu s jednotkami hodnoty. Takové rozhraní je zcela základní a vpravdě nedostatečné. Ano, poskytne informaci o

glykemii, ale tím končí. Uživatel nevidí souvislost s ničím dalším.

O trochu novější a chtělo by se říci pokročilejší je rozhraní glukometru, které reaguje na změřenou hodnotu a upozorní na špatnou hodnotu. Toto upozornění má v horším případě formu smutného smajlíka, v o trochu lepším případě ukazuje šipkou na barevné kódy na těle přístroje, které znázorňují nízkou či vysokou glykemii. Toto je opět nedostatečný systém, protože sice upozorní uživatele, že má špatnou glykemii - a případně jakou (hypo / hyper), ale nedokáže povědět jak moc a proč. Velkým problémem je také nejednotnost grafického jazyka. Zatímco někteří výrobci označují hypoglykemii modrou barvou a hyperglykemii barvou červenou, jiné výrobci používají pro hypoglykemii žlutou, pro hyper oranžovou. Představíme-li si situaci, kdy na ulici potkáme diabetika, který zjevně není v pořádku a například se právě měří, je důležité rychle zjistit jak na tom je. A pokud při různých barevných kódech různých výrobců pro stejnou veličinu nepanuje shoda, může nastat problém.

Glukometry s barevným displayem umožňují lepší variantu předchozího bodu. Je možné hodnotu špatné glykemie přímo napsat barevným písmem. Což je sice efektivní, protože oko si změny barvy rychle všimne, ale opět chybí detailnější rozdělení na to, jak zlá hodnota je a často také jestli je hodnota vysoká nebo nízká. Uživatel si může nastavit threshold dle vlastního přání, avšak tento threshold se ve finále nemusí vůbec vztahovat k opravdu správným hodnotám glykemií. Glukometry s barevným displayem zpravidla disponují také dalšími funkcemi, jako je záznam jídla, nebo inzulínu a podobně. Problém je, že většinou jsou přístroje tak malé - a tak pomalé - že těchto, na první pohled, výhod téměř nikdo nevyužívá. Některé jsou schopné na dálku ovládat inzulínovou pumpu a odeslat například pokyn k vydání inzulínu. Absurdní ovšem je, pokud má glukometr sloužit jako dálkové ovládání pumpy, která má bolusový kalkulátor (tedy kalkulačka množství inzulínu vzhledem ke glykemii a množství sacharidů v jídle) a na glukometru tato funkce není - a uživatel musí stejně sáhnout po inzulínové pumpě.

Glukometry jsou opravdu rozmanité, ale přesto všichni výrobci jdou velmi podobnou cestou, obecně platí, že čím lepší má zařízení display, tím více funkcí nabízí a tím je také složitější na obsluhu a nepříjemné na používání. Je to zvláštní vztah, ale z mého pohledu platí na 99%.

Podobná praxe je u zvukových signálů glukometru. Většina glukometrů je

vybavena alespoň primitivním piezoměničem, který vydává nepříjemné, avšak slyšitelné tóny. Opět nastává teoretická otázka, kdy je třeba, aby tyto zvuky zněly a jestli se hodí pro každého pacienta bez rozdílu. Já tvrdím, že ne. Jednak je třeba opět zdůraznit rozdílnou váhu/intenzitu glykemií a také různé uživatele. Další faktor je okolí, které si hlasitého pípání vždy všimne a diabetik je tak ve středu pozornosti - nechtěně. Zvuky by proto měly být jednak variabilní a generované podle aktuální glykemie, uživatel by měl mít možnost ztlumit je maximálně dvěma kroky a to navíc dříve, než glukometr zapípá poprvé - například při spuštění.

Za absolutně nepřipustné považuji zvukové signály, které mají vzestupnou nebo sestupnou melodii a spustí v momentě kdy je trend zcela opačný, než melodie napovídá. Mluvím o vlastní zkušenosti s CGM systémem firmy Medtronic, MiniMed 640g. Pokud se po jídle glykemie dostane například na 12mmol/l a po 30 minutách začne klesat, je vše v pořádku, byť uživatel je v lehké hyperglykemii. Po určitém časovém intervalu ovšem pumpa spustí alarm, který má informovat o vysoké glykemii. Problém je, že tento alarm se spouští v závislosti na glykemii, ale ne jejím trendu. A melodie tohoto alarmu je vzestupná. Pokud ale glykemie padá dolů a ozve se vzestupná melodie, první co člověk očekává je, že mu glykemie roste a automaticky tak sahá po bolusu - dávce inzulínu. Pokud by si však inzulín, například poslepu, funkcí rychlého bolusu aplikoval, vystavuje se vážnému problému a dost možná ohrožení života.

### Hodnoty

Analýza výsledků přímo v glukometru se na první pohled zdá být přirozená, ale ve skutečnosti to úplně ideální není. Jak již bylo řečeno, pouze „statické“ průměry všech hodnot za posledních 7, 14, 21 dní jsou velmi lhavým, nepřesným ukazatelem. V diabetických kruzích je známo, že pouze 4 hodnoty glykemie za den jsou tragicky málo pro zachycení celodenního průběhu glykemie. Dnes již běžně dostupné systému kontinuálního monitoringu glykemie (CGM) podávají hodnotu glykemie každých 5 minut, což v celém dni dává 288 hodnot. Porovnáme-li počty, rozdíl je zřejmý. Z CGM je již možné dělat daleko zajímavější a informačně kvalitnější výstupy, přesto, větší množství pacientů s nimi neumí pracovat, nebo jim v tom brání přímo jejich diabetické zařízení. Problémy jako uzavřený systém, omezené možnosti analýzy dat přímo v přístroji (často pouze surové hodnoty v grafu v čase), příliš mnoho kroků k získání výsledku jsou bohužel na denním

pořádku.

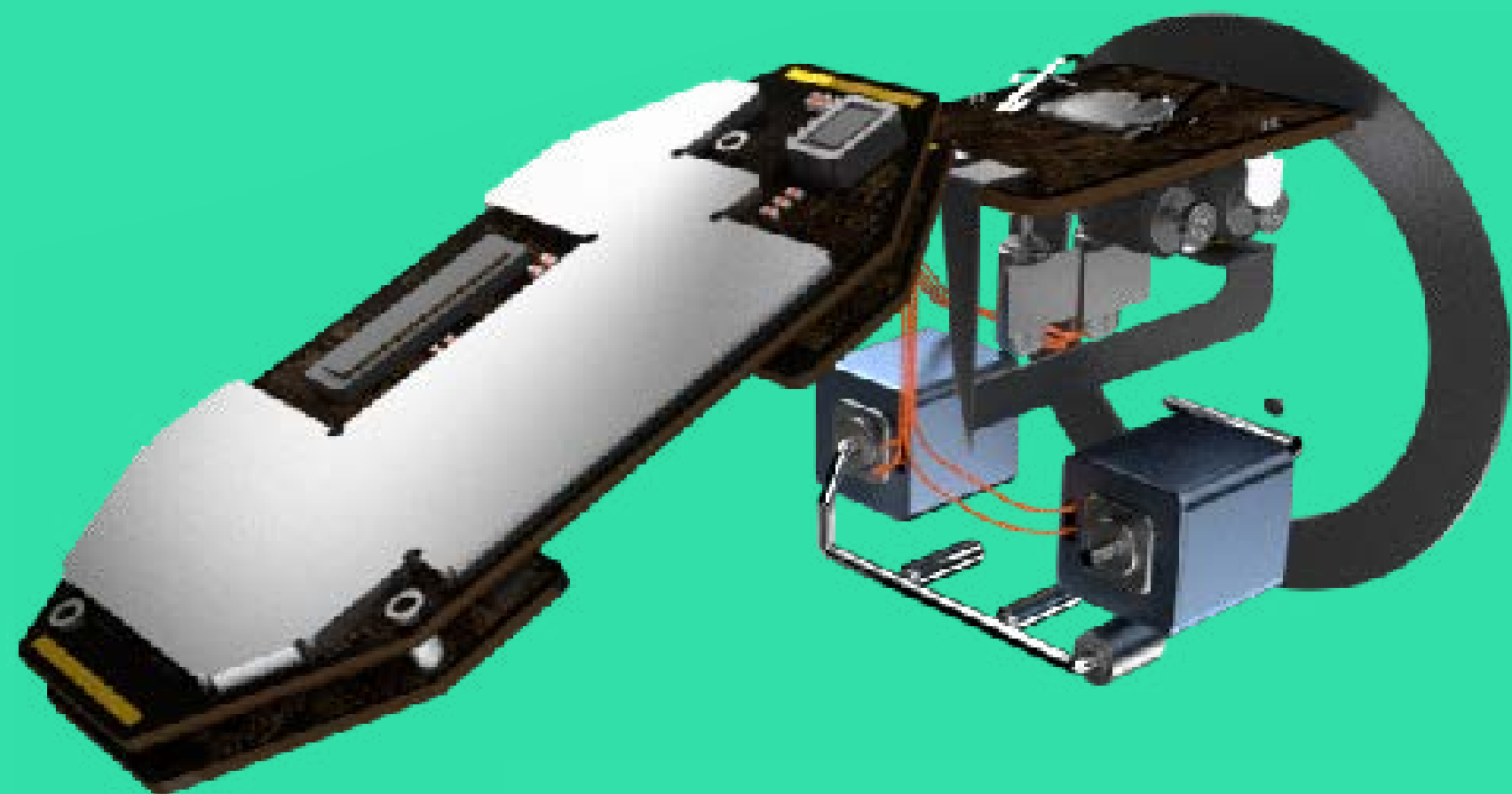
Glukometr by měl být, až na specifické případy, malým a hlavně na obsluhu jednoduchým zařízením. Jeho jediná funkce by mělo být měření glykemie a podání kvalitního výsledku. Kvalitním myslím takový výsledek, který zohledňuje pacientovo chování, aktivní inzulín, hodnoty z CGM, pohyb, stravu a čas. Hodnotu glykemie na pozadí odešle do ostatních zařízení, které ji dále zpracují, ale k tomu již nepotřebuje zásah uživatele. To, že je zařízení malé také znamená malý display, který je sám o sobě limitující pro podání přesvědčivých, vypořádajících informací vhodnou formou.

Rozdělení hodnot na hypoglykemii, hyperglykemii a normální glykemii není správné. Všechny typy glykemie nabývají různých intenzit, tím chci říct, že glykemie 4,1mmol/l je glykemie zdravá, ale 3,9mmol/l už by mohla být při špatně nastaveném thresholdu označena za špatnou stejnou měrou, jakou by byla označena glykemie 2,2mmol/l. To ovšem není pravda. Ve skutečnosti má hodnota 3,9mmol/l samozřejmě daleko blíže k hodnotě 4,1mmol/l, tedy se nejedná o „špatnou špatnou“ glykemii, ale o „lehce špatnou,“ nebo „nižší dobrou“ glykemii. Tento mezistav však žádné zařízení zohlednit neumí. Samozřejmě toto hodnocení má provádět především uživatel zařízení, který ví, že hodnota X znamená jednu věc a hodnota Y znamená něco jiného. Ale v momentě, kdy je pacientovi špatně, může být dezorientovaný a zařízení mu má být pomocníkem.

Důležitá navíc není jen samotná aktuální hodnota, ale také hodnoty z předcházející doby, například za půl hodinu a jejich trend, tedy směr a způsob změny glykemie. Protože z čísla nepoznáme, jestli glykemie klesá, nebo stoupá. Ze série hodnot tuto informaci již odečteme a můžeme adekvátně zareagovat.

Další proměnnou je samotná přesnost proužků, jejichž dovolená odchylka může být v určitých případech až 5 % a poté se dostáváme do teoretické roviny, kdy glukometr vlastně lže, ukazuje číslo s desetinnou hodnotou, kterou člověk přirozeně bere jako poměrně přesnou, přesto, že ve skutečnosti je hodnota jiná. Například pro glykemii 5,0 mmol/l může být reálná hodnota 4,2 mmol/l nebo 5,8 mmol/l. I to je důvod, proč ve svém návrhu upouštím od číselného zobrazování hodnot, byť připouštím, že je to částečně natruc.

# Design \_ vlastní design

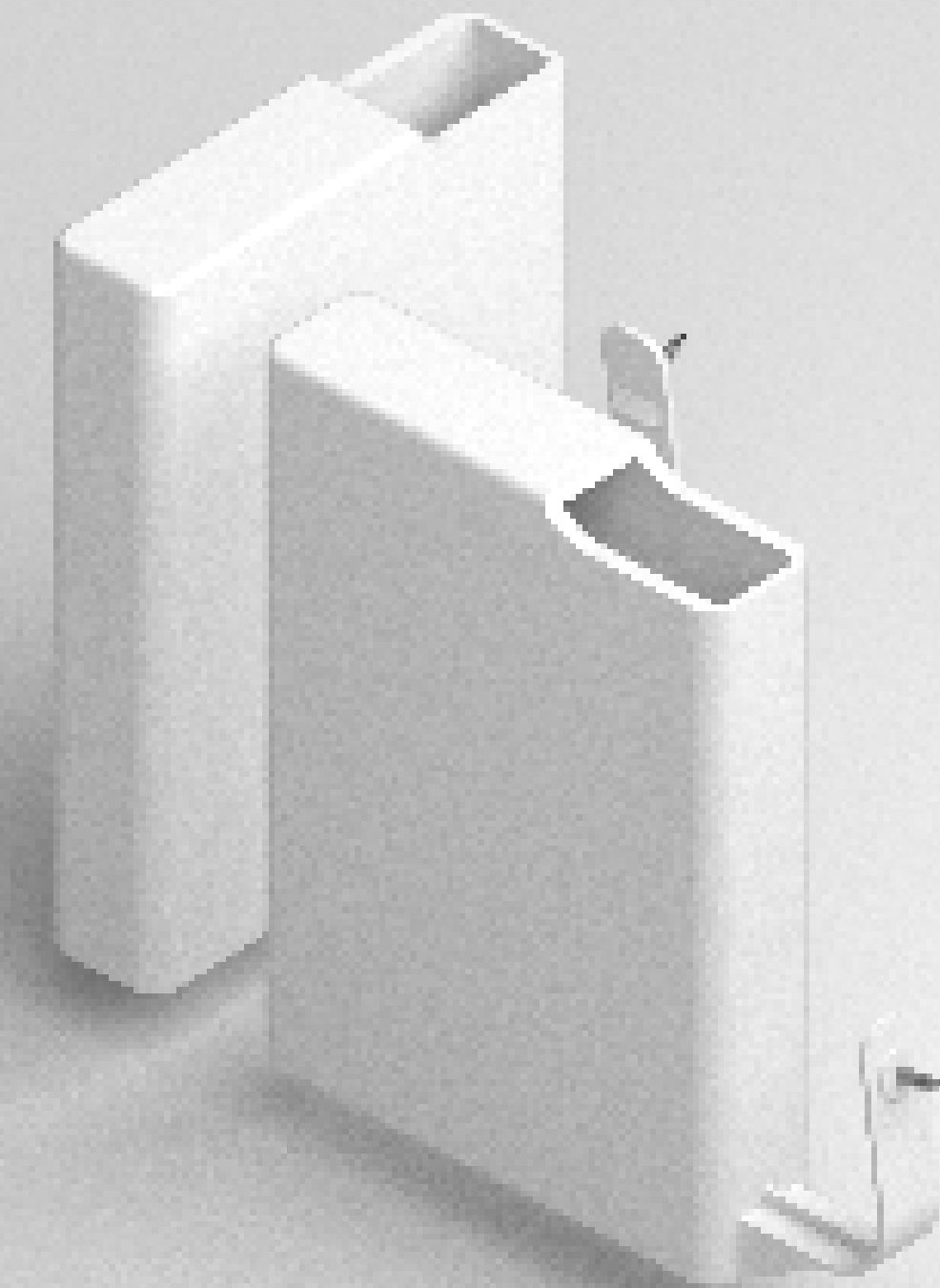


Jak již bylo řečeno, glukometr je zařízení, které má za sebou vývoj trvající zhruba 30 let, za kterých ušel neuvěřitelnou cestu a narazil na mnoho slepých uliček. Pro mé překvapení ovšem glukometry ustanuly na jakémsi pochybném standardu fyzicky rozříštěného systému několika souvisejících předmětů, které jsou pro měření třeba, stejně tak jako rozříštěný systém analýzy dat, kdy nejprve každý výrobce vytvářel svůj systém, z nichž ani jeden nebyl pro pacienty ideální - ale hlavně byl pacient vázán ke konkrétnímu systému konkrétního výrobce. Což je absurdní při uvážení obsahu léčby diabetu - měření glykemie a na druhé straně dávkování inzulínu a jídla. Nic jiného se nedělá a dokonce se to nedělá ani příliš rozdílnými metodami.

Přesto je i dnes částečně problém data provázat mezi jednotlivými systémy, ač tato situace se postupně mění se změnou pohledu na data v široké společnosti. Přesto, že daleko zajímavější systém CGM začíná glukometr vytlačovat a čas od času se objevuje nová, zajímavá technologie, glukometr je stále přítomný a slouží jako nejspolehlivější zdroj hodnot glykemie. Glukometr je přímo vyroben pro spolupráci se systémem Nightscout. Nightscout je online software pro online sledování glykemie, sdílení a vzdálenou péči o pacienta jeho blízkými, nebo sebou samým. Systém vznikl z iniciativy pacientů. Glukometr umí aktuální hodnotu přímo odeslat do Nightscout databáze, kde se uloží do správného oddělení. Stejně tak umí z Nightscoutu získat ostatní data a slouží jako jejich projektor.

Glukometr je zařízení pro každodenní, několikanásobné použití. Musí uživatele motivovat k jeho použití. Musí vždy poskytnout něco navíc - odměnu, chcete-li. Jako moderní přístroj musí být propojen v platformě dalších, nejen diabetických zařízení. Ve výsledku může reflektovat aktuální aktivitu uživatele, hodnoty a trendy z jeho CGM, varovat ho na opakující se negativní situace a podobně. Měření musí být rychlé, nenápadné a intuitivní. Držení glukometru musí být standardní pro všechny situace, ať už uživatel leží v posteli, sedí v restauraci, nebo jde lesem. Ano, napsal jsem jde. Intimita musí být na vrcholu žebříčku priorit designu. Pracovní prostor nutný k provedení testu musí být minimalizován na naprosté minimum. Osvětlení musí být inteligentní a opravdu poskytovat světlo, nikoli se chovat jako rušivý element. Zařízení by mělo být all-in-one a musí se ovládat jednotně a velmi snadno pravou i levou rukou, bez ohledu na to, je-li uživatel pravák či levák, bez jakéhokoli nastavování.

Dělám glukometr pro „zdravé“ diabetiky - tedy takové, kteří nemají žádné diabetické komplikace či poruchy zraku a motoriky, jsou schopni přečíst malou



grafiku či text, nemají problém s držetím menších věcí a navíc mají rádi nové způsoby, cesty a technologie.

## Intimita

Hodnota glykemie je ze své podstaty soukromá, velmi citlivá informace, byť osobně tento názor nesdílím. Člověk je jako společenský tvor většinu času ve společnosti dalších lidí, kteří jsou zvědaví. Sdílet informace, které jsou dobré, kladné, přínosné je fajn, ale sdílení negativních informací, ještě umocněných tím, že se jedná o zdraví už tolik fajn není.

Pokud vyjdeme ze základních lidských instinktů, to co je nám blízké, to co je tajemství, nebo co je důležité máme tendenci skrývat do dlaně. A z tohoto vzešla myšlenka vytvořit glukometr, který sedne do dlaně. Tím bude dán způsob jeho použití, držení. Vnější ruka zároveň slouží jako přirozená clona cizích pohledů, nejen na proces měření, ale na samotné zařízení. Při porovnání s konvenčním glukometrem, který se musí vyndat z pouzdra a v podstatě rozložit na stůl, je tento rozdíl velmi zajímavý.

## Tvar

Umístit do dlaně předmět není na první pohled těžké. Těžké je tam umístit glukometr, který běžně vypadá jako kostka, obdélník, nebo dokonce kruh. Při hledání ideálního tvaru vzhledem ke způsobu práce se zařízením jsem došel k závěru, že nejlepší forma zařízení je taková, která padne do ruky - dlaně v její přirozené poloze, tedy lehce pootevřené pěsti. Při tomto držení nejen, že nedochází k nepříjemnému nucenému tvarování prstů či celé ruky a tím jejich namáhání, ale také může začít testování ihned v momentě, kdy uživatel zařízení uchopí. Na rozdíl od všech ostatních glukometrů, které se drží prsty, tento má oporu hlavně v prostoru mezi palcem a ukazováčkem a poté ve zbytku dlaně.

To znamená dvě věci :

1. držení je daleko bezpečnější a kontrolovanější, protože se zařízením je v kontaktu větší plocha ruky v porovnání s držetím prsty, takže je kontrola úchopu pro mozek snazší.
2. všechny prsty jsou volné, včetně palce a ukazováčku, mezi kterými se glukometr nachází. Můžeme je využít k další činnosti.

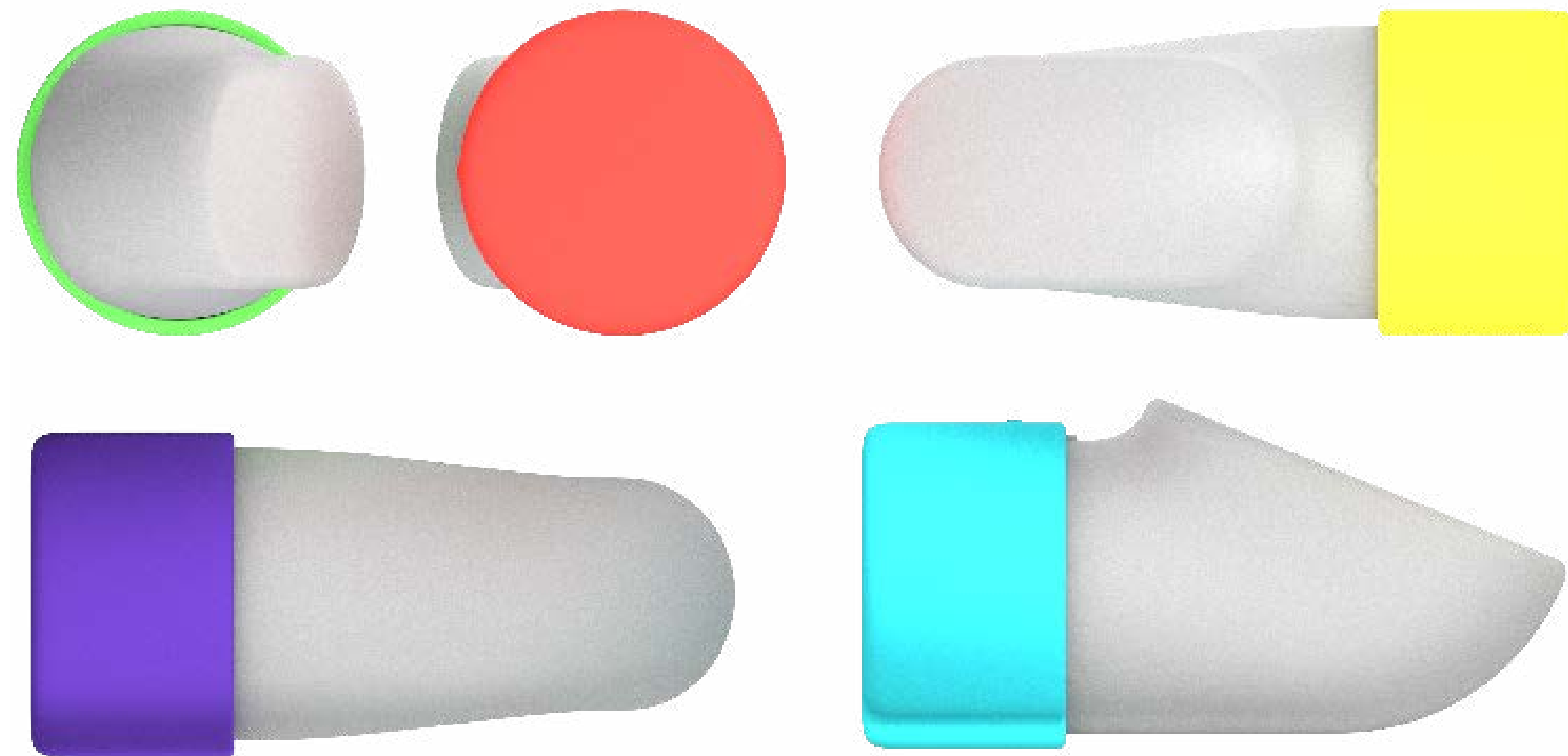
Při konvenčním měření je třeba dopomoci si ke kapce krve stlačením prstu. To je možné buď dvěma prsty druhé ruky, nebo zatlačením právě píchnutým prstem proti palci, což nedělají všichni. Pokud v druhé ruce držíme glukometr právě palcem a ukazováčkem, není jiná možnost než glukometr položit, vymáčknot krev, glukometr zvednou a krev aplikovat na proužek. To je několik kroků, nehledě na kroky předchozí, kdy muselo dojít k natažení lancetovacího zařízení a vpichu do prstu.

V mém designu se vše odehrává v rozsahu dlaně jedné ruky. V prostoru mezi palcem a ukazováčkem držím zařízení, které ovládám palcem, pod nímž je jediné tlačítko, které glukometr má. Díky tomu, že konce prstů jsou volné, mohu jimi vymáčknot krev z prstů protější ruky bez toho, abych pokládal glukometr nebo s krvavým prstem hýbal na vzdálenost delší než cca 5 cm. Důležitá je také úspora času.

Zmíněné tlačítko je opravdu jediným přímým ovládacím prvkem glukometru. Díky tomu, že je umístěno přesně pod palcem a k jeho zmáčknutí dojde při vzájemném protichůdném zatlačení palce a ukazováčku, je uživatel schopen obsloužit celý proces měření bez jediné změny pozice/polohy/uchopení glukometru.

Tvar polouzavřené dlaně je tak vstupní formou pro design zařízení. To je poměrně netradiční tvarovací přístup, který na druhé straně přináší zajímavou výhodu v podobě velkého vnitřního prostoru dlaní obepínané prostorové „koule.“ Díky tomu může vzniknout all-in-one zařízení založené na úplně stejné technologii, jakou využívají dnešní glukometry, takže není třeba žádného výrazného sekundárního vývoje.

Surová hmota těla glukometru tak připomíná jakousi trubku, brambor, násadu, která má na horní straně „operační“ plochu s portem pro proužek a lancetovací zařízením, takže je uživateli skvěle na očích a zároveň je umístění příjemné na obsluhu, protože není třeba nikterak nepřírodně ohýbat prsty či dlaň. Na části hmoty která je v dlaní, tedy pod palcem se nachází obdélníkový display s kulatými rohy - proč takový bude vysvětleno později.





## Plášť

Cílem návrhu bylo udělat zařízení, které bude na venek odolné, které půjde snadno umýt, protože nebude mít zbytečné reliéfní nesmysly, nebude mít žádné švy či otvory, takže při potřísnění krví bude jednoduché ho otřít vlhkým hadrem. Bude připravené na každodenní život, včetně škrábanců. Poškrábané zařízení nebude znamenat, že je nenávratně zničené, nebude člověku připadat nehezké. Vnější plášť zařízení musí také působit jednotně, jako jedna hmota, která je seříznutá a v tomto místě vystupují k uživateli informace.

Z této myšlenky vzešlo transparentní, respektive translucenční silikonové navlíkácké pouzdro, do kterého se zařízení uloží celé zařízení, které bude mít samo plastovou skořepinu. Pouzdro tak musí být logicky z transparentního materiálu, aby bylo možné odečítat hodnoty z displaye. Z počáteční nevýhody silikonu, tedy jeho částečné neprůhlednosti se stala výhoda v podobě vyšší intimity. Tím, že na zařízení není na první pohled patrné, kde je display, není ani jasné, kam se poprvé podívat a co od zařízení čekat. Použitím displaye typu e-paper je také zaručen skvělý kontrast, dokonalé pozorovací úhly a tím, že display při zobrazování hodnot nesvítí, dostane povrch zařízení zcela novou dimenzi, kdy se aktuální hodnoty zobrazují „pod povrchem.“ Citlivé informace tak nekřičí do okolí a pacient se může cítit pohodlněji, přesto, že používá stejnou technologii zobrazování dat, jako dříve.

Měkký materiál zároveň poskytuje ochranu před nárazy při náhodném upuštění zařízení na zem a chrání tak elektroniku a mechanismus uvnitř.

Zajímavá je také možnost barevných variant. Každý glukometr je vyroben v tradiční bílé barvě, ale uživatel si může dokoupit barevné pouzdro v barvě, kterou preferuje. Stejně tak je možná libovolná barevná varianta krycího víka.

## Víko

Díky téměř dokonalému uzavření glukometru do jednoho materiálu je také poměrně snadné udělat zařízení vodotěsné, respektive alespoň částečně vodotěsné. K tomu slouží víko na operační plochu, které se na glukometr nasadí a jen třením mezi dvěma silikony drží na místě, přičemž brání v průniku stříkající vodě a do jisté míry je schopné přežít i chvilkové ponoření. Je tak možné si vzít

glukometr „na vodu“ a nebát se, že se znehodnotí proužky, nebo dokonce zničí zařízení.

Z kapitoly o vyhození proužku vyplývá potřeba přidat glukometru nějakou formu dočasného odpadkového koše pro likvidaci použitého proužku. To je druhá funkce víka glukometru. Víko je kruhového průřezu a vertikálně je částečně vystupující příčkou rozděleno na dvě části. První část přiléhá na glukometr, druhá slouží pro vyhození starých proužků. Díky motorizovanému pohybu proužku také není třeba na použitý proužek sahat. Stačí zmáčknout tlačítko a proužek sám vypadne do odpadního prostoru. Víko poté příčkou zadržuje proužky po celý den a večer, nebo na konci týdne stačí pouze obsah víka vysypat do odpadkového koše.



## Systém měření

Systém je integrovaný do pacientovi dlaně. Jelikož zařízení šikovně integruje zásobník proužků, lancetovací zařízení i samotný obal, není třeba mít k dispozici odkládací stůl. Měření je možné provést v jakékoli poloze a dokonce i v pohybu, za chůze. Dramaticky se také zmenšil již zmíněný pracovní prostor, kdy není s prsty - ani ničím jiným - třeba hýbat na vzdálenost delší než 10 cm.

Měření musí být jednoduché, přímočaré, rychlé a pohodlné. Základem je jedno tlačítko. Tlačítko které rozpozná různé typy příkazů na základně počtu nebo délky stisku. Tlačítko které je při doporučeném způsobu držení zařízení umístěné přímo pod palcem, čímž se eliminuje nutnost přehmatávat a je stále na dosah.

Součástí víka glukometru je magnet, díky kterému glukometr pozná, pokud bylo víko sundané a tím dojde k jeho částečnému probuzení - změření teploty pro zrychlení kalibrace. Glukometr má také akcelerometr, kterým pozná natočení přístroje a díky tomu umí přepnout mezi dvěma módy, více později.

**Jedním stiskem se celé zařízení probudí z režimu polospánku a připraví se na měření. Stiskem tlačítka se aktivuje hned několik věcí:**

- (pokud nepředcházelo sundání víka) Spustí se kalibrační mechanismus odečtu teploty v okolí.
- Aktivuje se proximity senzor v oblasti lancetovacího lůžka a jím ovládaný lancetovací mechanismus. V momentě, kdy pacient přiloží prst na lancetovací lůžko, systém tuto situaci sám rozpozná a provede vystřelení lancety. Bez nutnosti dalšího stisku tlačítka, nebo odpočtu.
- V momentě, kdy je teplotní kalibrace hotova a systém je připraven na měření, spustí se mechanické vysunutí proužku do testovací polohy.
- Zařízení vyhledá známá Bluetooth zařízení a pokud je najde, připojí se k nim a získá hodnoty CGM z posledních 30 - 60 minut, dle preference uživatele. Tyto hodnoty jsou poté promítnuty spolu s aktuální glykemií.
- Systém čeká na aplikaci krve

- Pokud byl vpich do prstu neúspěšný, pacient přiloží prst znovu a dojde k druhému výstřelu

**Pokud je v okolí tma a uživatel potřebuje na měření více světla, podrží tlačítko po dobu 2 sekund. Tím se plynule rozsvítí boční strany zařízení, hrany proužku a také podsvícení displaye.**

- Při dalším podržení po dobu dvou sekund se aktivuje plynulé nastavování intenzity světla, kdy jas pomalu narůstá po dobu, než uživatel tlačítko pustí.

**Světlo plynule pohasne ve chvíli kdy systém rozpozná aplikovanou krev. Zůstane svítit jenom display.**

**Po aplikaci krve glukometr zavibruje, čímž dá uživateli znamení o úspěšné aplikaci krve a spustí se proces měření, který trvá standardně 5 sekund, vlivem doby chemické reakce. Během tohoto času se na displayi může zobrazovat několik různých věcí, dle preference pacienta**

- Z CGM odečtená hodnota a trend jsou převedeny na infografiku, která uživatele informuje o vysoké, nízké případně dobré glykemií. Respektive neříká jí konkrétně, jen upozorňuje, jaký asi bude výsledek.

- Systém ví, kdy se uživatel měří - ve kterou denní hodinu. Je tak schopen udělat analýzu té konkrétní hodiny při aktuálním měření a uživateli ukázat jaké hodnoty v tuto chvíli pravidelně mívá. To skvěle slouží pro vizuální porovnání dlouhodobého trendu vs aktuální hodnoty. Tento systém je zcela opačný oproti standardním glukometrům. Ty nejprve změří glykemií a až poté umožní pacientovi se podívat na dlouhodobá data (a mnohdy neadekvátní). Můj systém nejprve uživateli ukáže, jaké má v konkrétní dobu průměrné glykemie za předchozí nedlouhé období (7 dní) a poté ukáže reálnou hodnotu, která pacienta trkne a řekne si „kruci, už zase.“

- Systém ví, kde se měřím (dle pozice GPS získané z mobilního telefonu), může tak upozornit že například ve škole mívám pravidelně vysoké glykemie.

- Může ukázat uživatelem zapsané diabetické (či jiné) poznámky. Například upozornit, že v lednici dochází zásoby inzulínu, či informovat o bližící se návštěvě diabetologické ordinace a podobně. To je zajímavá hluboká integrace do systému dalších zařízení a glukometru dává zcela nové

perspektivy.

- Může sdělit jaké jsou glykemické profily na aktuální balení proužků a jaké byly předchozí. Uživatel tak může být motivován pro to mít s každým novým balením proužků lepší výsledky.

- Může informovat o nízkém počtu zbývajících proužků v balení.

- Může podávat zajímavé statistiky v podobě kolik měření už bylo s glukometrem provedeno, nebo kolik inzulínu (odečteno ze systému Nightscout pomocí mobilního telefonu, nebo přímo z inzulínové pumpy) bylo od půlnoci aplikováno.

- A v neposlední řadě může zobrazovat diabetické tipy, po vzoru systému Livongo.

Po 5 sekundách zná systém výsledek. Vibrační signál upozorní pacienta. Systém se v pozadí zkombinuje s hodnotami CGM z posledních 30 - 60 minut a vytvoří se grafika kombinující hodnoty CGM (graf) a aktuální glykemii. Před zobrazením hodnot se na display prole v intervalu 0,5s třístupňová infografika. Buď dvojice šipek směřujících vzhůru, dolů, nebo symbol fajfky informující o dobré glykemii. Poté je ihned vykreslena grafika výsledku. Ta může být opět nastavena dle přání pacienta.

- Může zobrazit pouze hodnotu glykemie

- Může zobrazit fúzi aktuální glykemie s trendem z CGM

- Může zobrazit aktuální glykemii spolu s trendem pro aktuálního hodinu z posledního týdne

- Může zobrazit aktuální glykemii spolu s trendem v danou hodinu v daný den po několik týdnů na zpět. Upozorní tak na trendy jednotlivých dní vzhledem k aktuální hodině

- Případně další podobně myšlené informace, které kombinují vícero jevů, hodnot a vlivů do jedné informace

Na pozadí této situace probíhá odeslání hodnoty přes Bluetooth to chytrého telefonu, nebo bezdrátovou technologií Sigfox přímo na servery Nightscout.

Díky použití technologie e-paper je display neustále zapnutý. Po zobrazení hodnoty se tak většina systému vypne, na pozadí se uploadují data do mobilu či na server.

Posledním krokem je vyhození proužku, které proběhne po dalším stisku tlačítka. Uživatel se ovšem nemusí o nic starat, protože pokud nasadí zadní krycí víko glukometru, systém ho pozná díky přítomnosti magnetu v něm a po chvíli vyhodí proužek sám.

Celé měření je tak možné provést minimálně jedním stiskem tlačítka. Pokud je třeba světlo, je zapotřebí ještě podržet tlačítko po dobu 2 sekund. Pokud chce uživatel vyhodit proužek „ručně“, provede to stiskem tlačítka. Nic víc není třeba. Žádné otevírání zásobníku s proužky, žádné vkládání proužku do glukometru, žádné natahování lancetovacího zařízení, žádné mačkání tlačítka pro střelení lancety a hlavně žádné přeručkovávání a práce s několika předměty.

## Časová náročnost

Díky právě popsanému způsobu měření dochází k drastické redukci času potřebného k provedení měření. Pokud položíme vedle sebe na stůl standardní glukometr zavřený v pouzdru a můj all-in-one systém, dostaneme při porovnání potřebných kroků jasný výsledek.

### Standardní glukometr

1. Uchopení balení do ruky
2. rozepnutí zipu
3. vyndání a uchopení balení proužků
4. vyndání proužku (někdy opakované, nepovede-li se na poprvé)
5. zasunutí proužku do glukometru (někdy opakované, nepovede-li se na poprvé)
6. čekání na zapnutí glukometru (1 - 3 sekundy)
7. V mezičase: uchopení lancetovacího pera
8. Natažení pružiny
9. přiložení lancetovacího pera k prstu
10. zmáčknutí tlačítka k provedení vpichu
11. Odložení pera
12. Zmáčknutí prstu pro získání kapky krve
13. Přiložení prstu k proužku a aplikaci krve na proužek
14. Čekání 5s
15. Odečtení výsledku
16. Vytažení proužku
17. Zahození proužku do pouzdra, nebo odpadkového koše
18. Zastrčení pera do pouzdra, zastrčení balení proužků, případně také glukometru
19. Uzavření zipu pouzdra
20. Odložení pouzdra

**Celkový čas je průměrně cca 40 - 90 sekund.**

Čas se liší uživatel od uživatele a také měření od měření. Pokud člověk spěchá, je možné celý proces zvládnout za cca 30 sekund, ale častější je minuta.

### Vedle toho můj design

1. Uchopení glukometru
2. Sejmutí krycího víka - glukometr pozná, že je víko sundané a bude následovat měření. Rozdíl pozná také změnou polohy zařízení.
3. Stisknutí tlačítka
4. Přiložení prstu druhé ruky do lancetovacího lůžka - provedení vpichu
5. Stisk prstu pro získání kapky krve
6. V mezičase se vysune proužek
7. Aplikace krve na proužek
8. V mezičase měření 5s se zobrazí navolený druh informací (viz výše)
9. Zobrazení výsledku, vibrační notifikace.
10. Uzavření víka glukometru a odložení zařízení.

**Celkový čas je při standardní rychlosti pohybů cca 15s.**

To je i více než **50% rozdíl** v porovnání s nejrychlejším měřením normálním způsobem a až 4x kratší čas v porovnání s normálním měřením.

Tento znatelný rozdíl je velmi důležitý ve vztahu uživatel - zařízení - glykemie, protože pokud má uživatel usnadněné používání přístroje, rád ho používá a v tomto případě to znamená, že se rád, takže pravděpodobně častěji, měří.

Neméně důležitý je fakt, že toto měření lze provést za chůze - opět pro porovnání, každá zastávka pro měření se obyčejným glukometrem znamená několika minutové zdržení. Nehledě na společenský aspekt celé věci.

## Uživatelské prostředí

V kapitole o uživatelských rozhraních běžně dostupných glukometrů jsem naznačil, že zobrazovat glykemii číselnou hodnotou nemusí být vždy zcela ideální. Ať už pro nepřesnost proužků nebo vzhledem k malé vypovídající hodnotě ve smyslu informování pacienta o jeho aktuálním stavu. Víím, že se najde velká skupina lidí, kteří můj nápad ihned odsoudí, protože jim nebude připadat bezpečný, reálný, přesný, nicméně pokusím se svůj názor obhájit a vysvětlit jeho přidanou stránku.

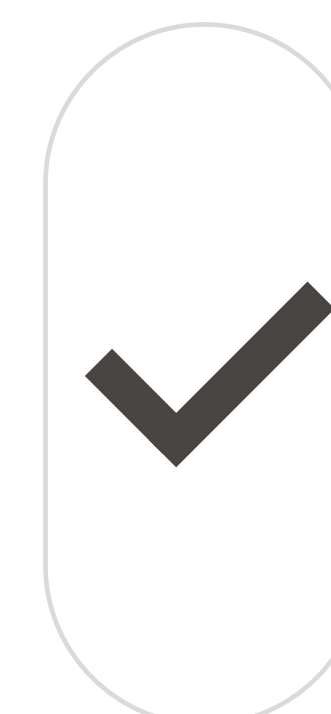
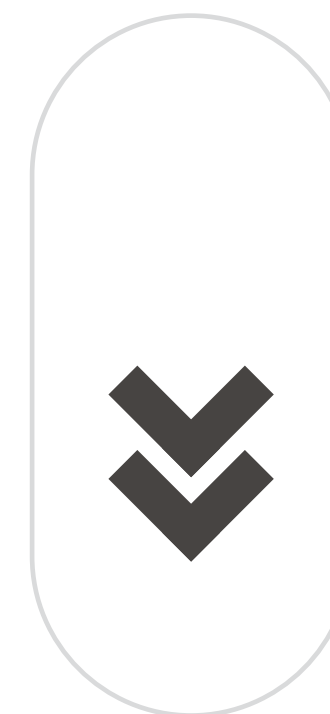
Při přemýšlení nad vylepšením numerického zobrazování glykemie jsem dospěl k názoru, že je zapotřebí přidat ukazatel míry / váhy špatné glykemie, viz kapitola o uživatelském prostředí běžných glukometrů. Cílem léčby je držet glykemii v mezích zdravého člověka, což je ovšem nesmírně obtížné. Jde o trefování se do několika proměnných jako je čas, množství inzulínu, typ, kvalita a pestrost jídla, fyzická aktivita a podobně. Snahou diabetika je směřovat svou glykemii do určitého rozmezí, spektra.

Rozsah glykemie řešíme v rozsahu stupnice 0 - 40mmol/l. Přičemž 0 je neslučitelná se životem, hodnoty nad 30mmol/l jsou život vážně ohrožující, stejně jako hodnoty pod cca 2,7 mmol/l. Hodnoty nad 20 mmol/l lze označit jako nebezpečné, avšak při jednorázovém krátkodobém vlivu téměř „neškodné.“ Zdravý člověk má rozsah hodnot cca 3,5 - 7,5 mmol/l. Tato čísla se liší.

Při diabetu bývá hranice vhodných hodnot posunuta o trochu výše, zpravidla mezi 4 - 8 mmol/l . Je to z důvodu bezpečnosti pacienta, vzdálenost mezi 0 a 3,5 mmol/l není moc velká a změny v tomto spektru se dějí velmi rychle a nečekaně. Glykemie může občas vystoupat až na hodnoty kolem 10mmol/l. Záleží opět na přijaté stravě (druh, typ, množství, kombinace atd.)

Hodnoty pod cca 4,0 mmol/l označujeme jako hypoglykemie, hodnoty nad 12 jako hyperglykemie. Z vypsání hodnot je patrné, že mezi 0 a 4 mmol/l je podstatně menší vzdálenost, než mezi 12 a 30 mmol/l. Jinými slovy, změny v oblasti hypoglykemie jsou daleko znatelnější, než změny v oblasti hyperglykemie. Na toto musí uživatelské prostředí reagovat.

Ne všechny hodnoty, které spadají do kategorie hypoglykemie nebo hyperglykemie je jsou nutně špatné. Například hodnoty 3,7 a 11,2 mmol/l. Jsou sice již v kategorii špatných hodnot, ale mohou být jen chvilkové, nebo jejich trend už může být vzestupný / sestupný a tak by neměly být označeny jako špatné, protože pokud si při již léčené glykemii 3,7 mmol/l člověk vezme další sladké jídlo, aby se z hypoglykemie dostal, vystaví se nebezpečnému růstu glykemie a na 90% skončí s hyperglykemií, například 11,2 mmol/l , kterou, když bude léčit podobně - bez dostatek vizuálně podaných informací spolu s glykemií, může se „předávkovat“ inzulínem a skončí opět v hypoglykemii.



oznamovací grafika

## Oscillation

Mé uživatelské rozhraní nazývám Oscillation. Název vychází z oscilace samotné glykemie, jejíž hodnoty nejsou (téměř) nikdy stále a pohybují se nahoru a dolů při konstantním pohybu doprava, respektive dopředu v čase.

Základním prvkem rozhraní je kruh, který je náhradou za čísla. Kruh se pohybuje po glykemické stupnici nahoru dolů, stejně jako glykemie. Jedná se v podstatě o oslí můstek směrem ke starým ručičkovým glukometrům, kdy ručička ukazovala aktuální glykemii na dané stupnici. Spolu s vlastním ukazatelem aktuální glykemie je zde ještě druhý, větší kruh, který reprezentuje rozsah ideálních hodnot, do kterého by se měl uživatel trefit kruhem malým, tedy svou glykemii.

Na rozdíl od ručičkových glukometrů si vzhledem k možnostem displaye mohou dovolit samotnou stupnici škálovat. Mohu z ní zobrazovat jen určitý výsek, mohu se po ní posouvat a vždy tak nabídnout uživateli pouze ta data, jaká momentálně opravdu potřebuje. Mohu měnit barvu jednotlivých segmentů v závislosti na hodnotách a mohu také měnit jejich vzájemnou velikost.

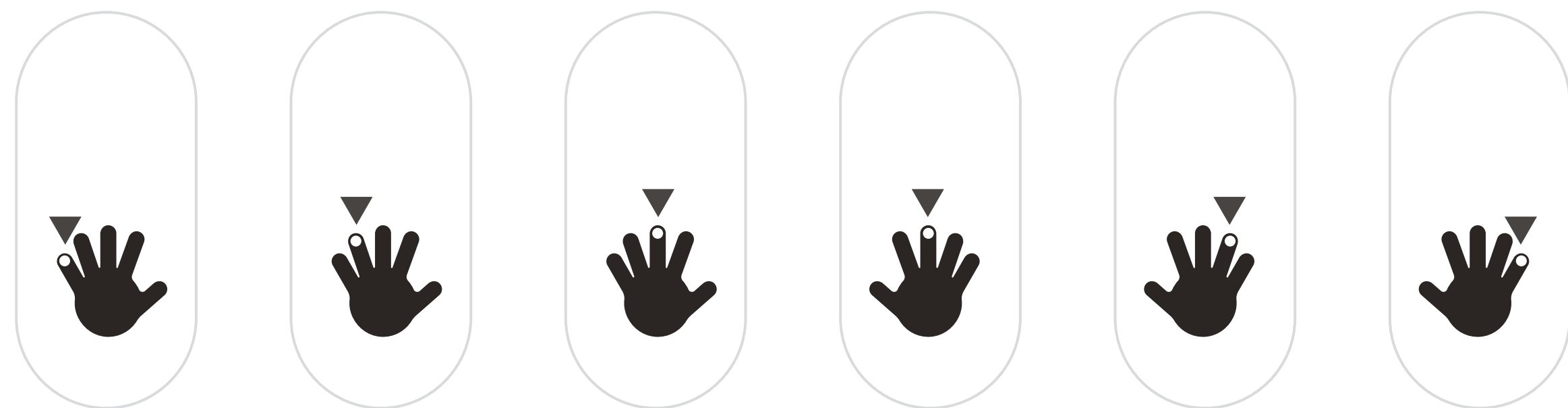
Princip fungování je následující: glykemie, reprezentovaná menším, tlustším ze dvou kruhů se pohybuje po displayi vertikálně, podle aktuální hodnoty. Rozsah ideálních hodnot (tedy cca 3,9 - 7,5 mmol/l; nastavitelné uživatelem) je reprezentován kruhem větším. Rozdílná velikost kruhů zamezuje jejich vzájemnému překrytí a zneřehlednění situace a navíc reprezentuje fyzickou / matematickou podstatu této stupnice. Rozsah ideálních hodnot je větší (cca 3,9 - 7,5 mmol/l) než maximální přípustná odchylka konkrétní hodnoty (+-0,83mmol/l). Z toho vyplývá, že malý kruh se do velkého může vejít celý a to hned několikrát. Cílem správné kompenzace je, aby malý kruh nikdy neopustil prostor kruhu velkého. To se samozřejmě v praxi těžko dodrží a není to vlastně reálné. Samotný display je jako kukátko na osu glykemie. Od osy se může vzdalovat, přibližovat a posouvat se po ní. Pokud je glykemie příliš nízká, nebo naopak vysoká, malý kruh opustí prostor kruhu velkého a dle glykemie vydá směrem dolů, nebo nahoru.

Důležitým prvkem Oscillation je vizuální kontrast aplikovaný na glykemii. Jak již bylo řečeno, kruhy se mohou na displayi pohybovat a měnit svou velikost v závislosti na glykemii.

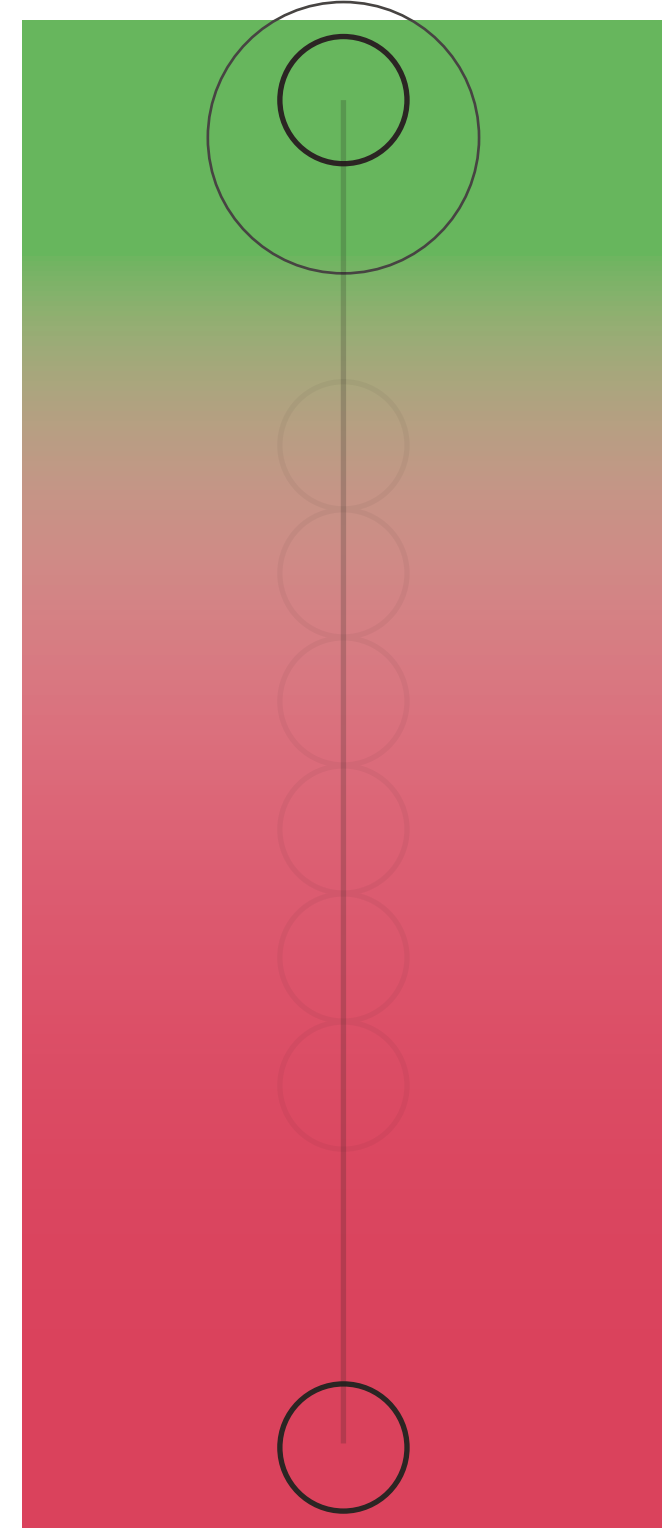
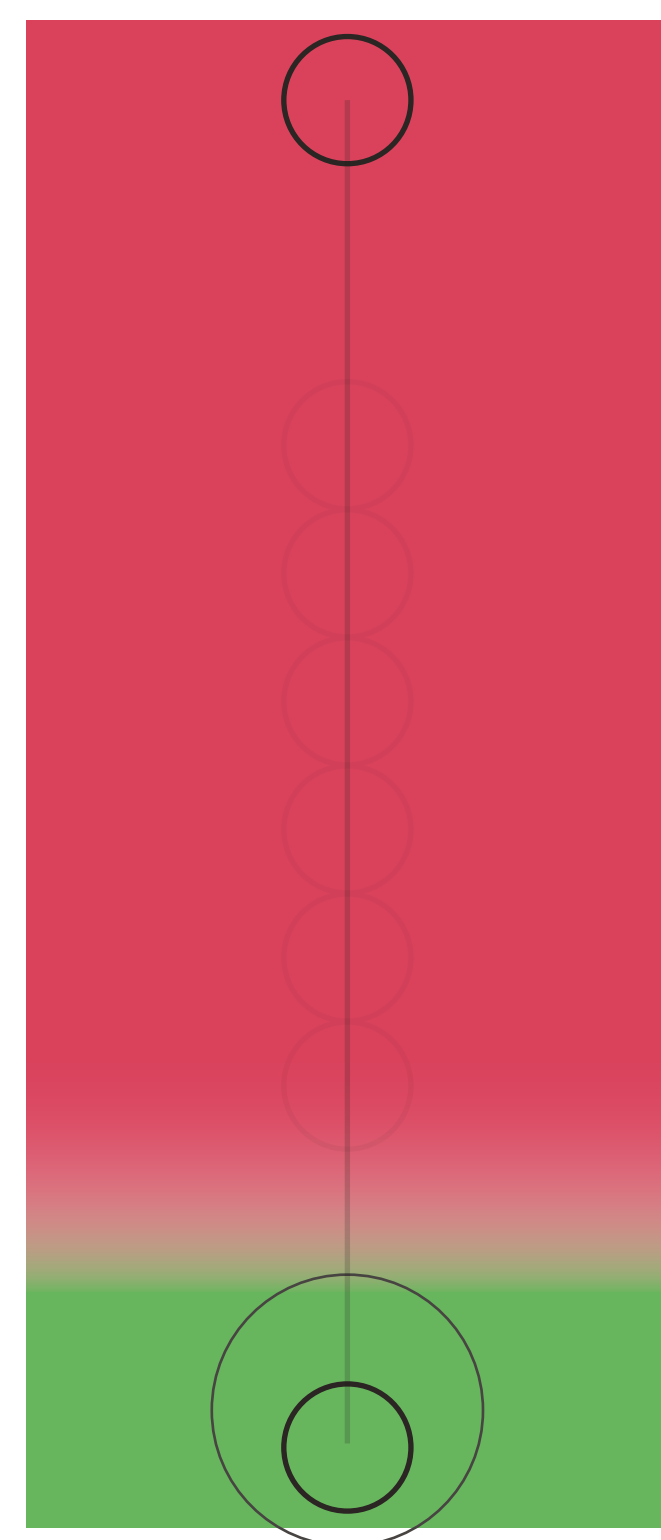
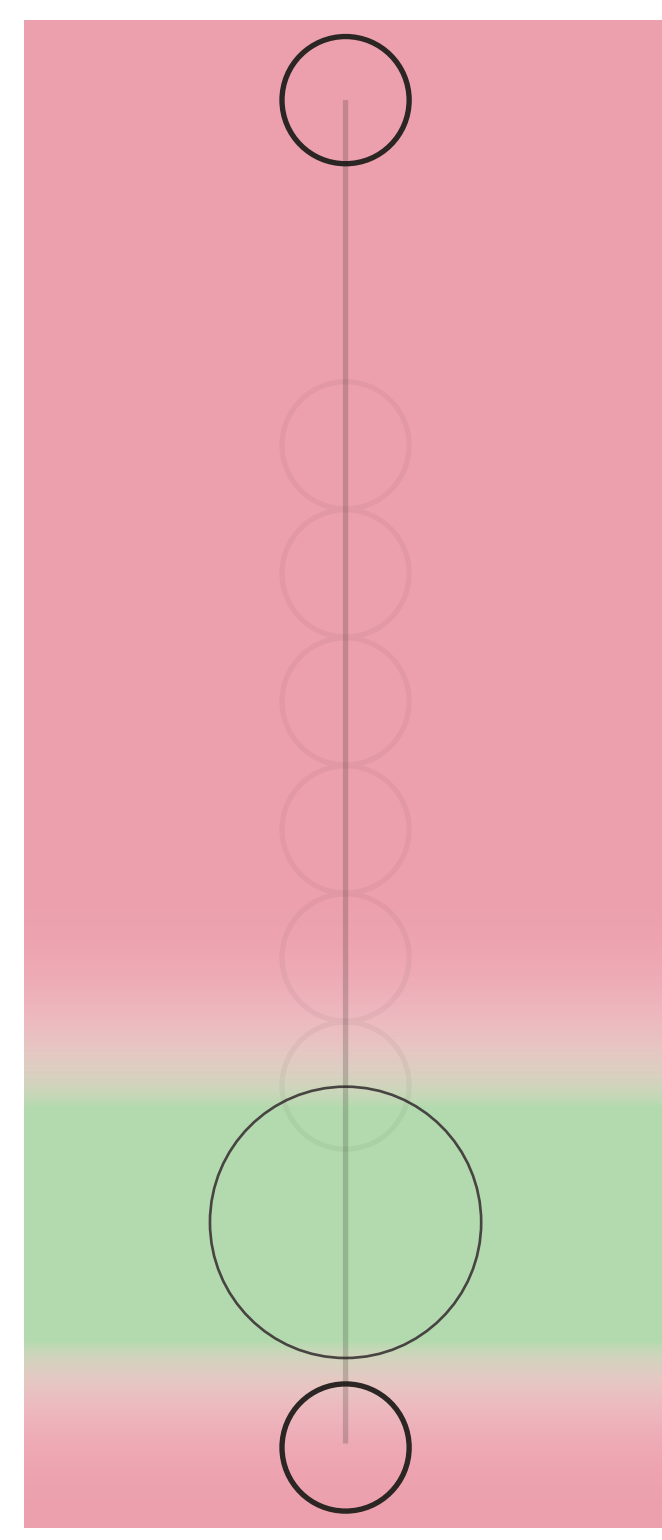
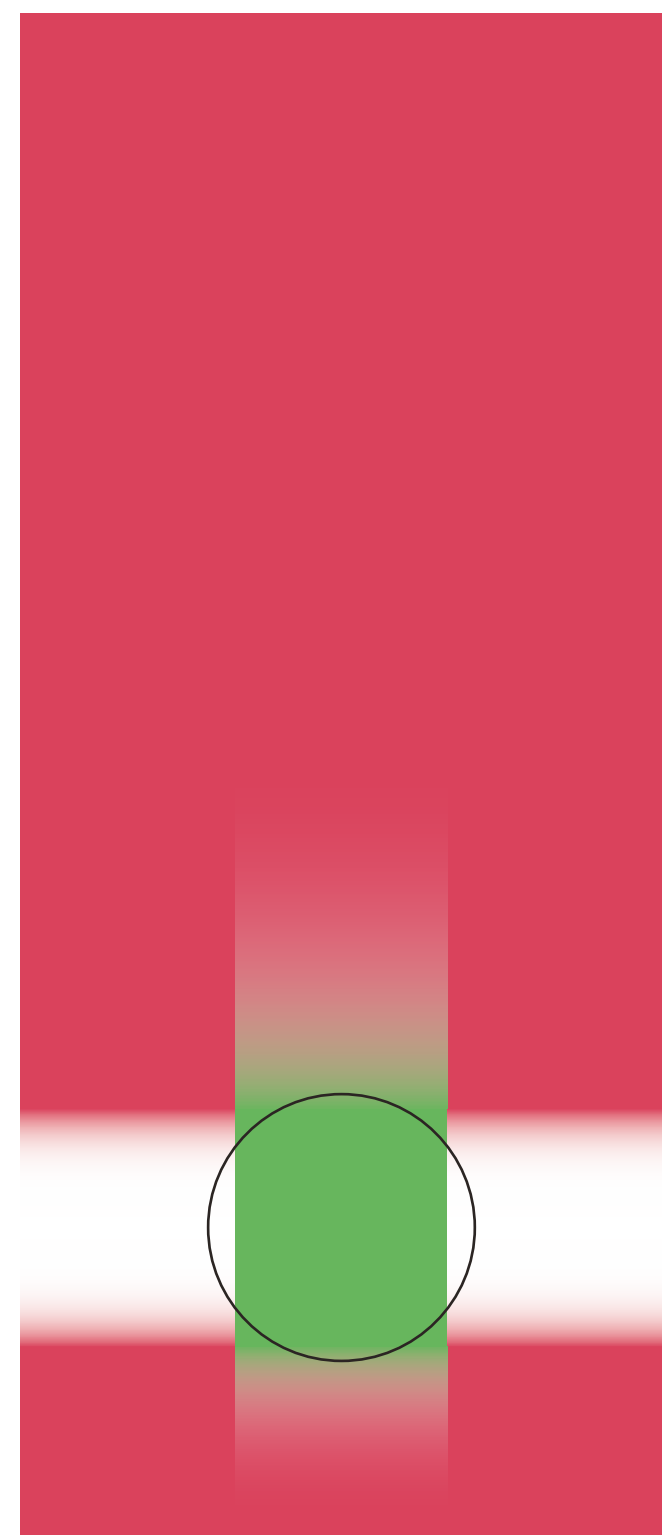
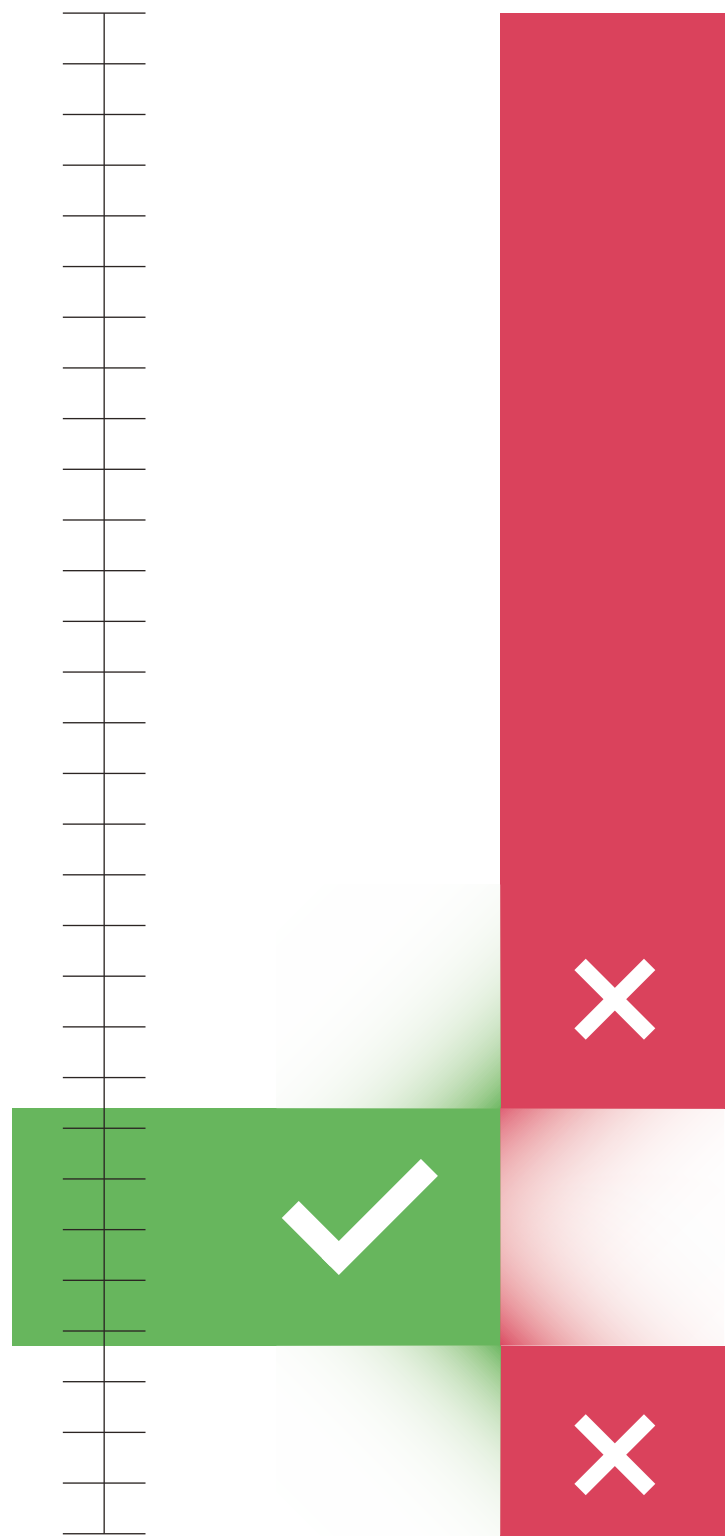
K vysvětlení vizuálního kontrastu využiji následující příklad: diabetik se na oběd změřil s dobrou glykemií (cca 5,6 mmol/l), aplikuje inzulín a jde se najíst. Po několika minutách glykemie začne stoupat a protože jedl šišky s mákem a cukrem, glykemie mu vystoupá až na přibližně 16,3 mmol/l v horizontu 60 minut.

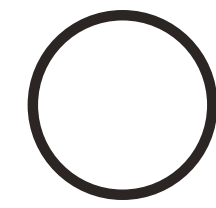
Při aplikaci tohoto scénáře do oscillation se glykemie 5,6 mmol/l zobrazí jako dva, téměř centrálně ležící kruhy, jeden v druhém. V momentě kdy diabetik sní první sousta oběda, začne glykemie stoupat - malý kruh se začne pohybovat směrem nahoru, nad obor ideálních hodnot. Když glykemie dosáhne hodnoty 8,5 mmol/l je malý kruh už z poloviny mimo kruh velký. Glykemie, stejně jako malý kruh stále stoupají. V momentě kdy glykemie vystoupá na glykemii přibližně 11 mmol/l je malý kruh na zcela opačném konci displaye, než velký kruh znázorňující ideální hodnoty. Při stále více a více stoupající glykemii se postupně začne velký kruh zmenšovat, čímž naznačuje že je dál a dál od právě měřené glykemie. Tím dává uživateli vizuální kontrast a nový pohled na problém hyperglykemie. Kruh se zmenšuje do chvíle, než je jeho průměr o cca 10% širší, než průměr kruhu malého, pro zachování vizuálního přehledu. Při dosažení hodnoty 15 mmol/l malý kruh zčervená. Tato glykemie už je velmi špatná a nebezpečná. S vyšší a vyšší glykemií se kruhu s glykemií zvětšuje tloušťka čáry - červená plocha je větší a větší. Při případném dosažení hodnot okolo 25mmol/l začne pod kruhem blikat červená šipka vzhůru. Při hypoglykemií je postup podobný, jen opačný, na druhou stranu displaye. Kruh ideálních hodnot se posune na horní stranu displaye a hodnota glykemie se zobrazuje pod ním.

Důležitým prvkem je propojení hodnot s CGM. Uživatel dostane při každém měření kromě samotné glykemie také graf trendu glykemie z posledních desítek minut. Tyto informace se zobrazí na jednom displayi, jednoho nařizení propojené do sebe v momentě, kdy se diabetik měří. Nemusí tak sahat po další zařízení, aby získal další informaci. Díky takové syntéze dat je následné rozhodování o dávkách inzulínu, nebo jídla daleko snazší a chytřejší, protože pokud je z displaye vidět, že glykemie poslední dobou lehce stoupá, uživatel dostane vizuální informaci o tom, že by měl po dávce inzulínu počkat s jídlem o něco déle, než normálně, aby předešel špatným situacím.

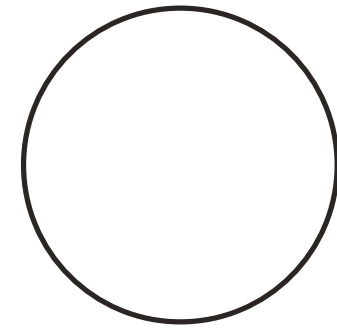


Grafika dávající informaci, ze kterého prstu nyní odebírat krev - pro pravidelné střídání

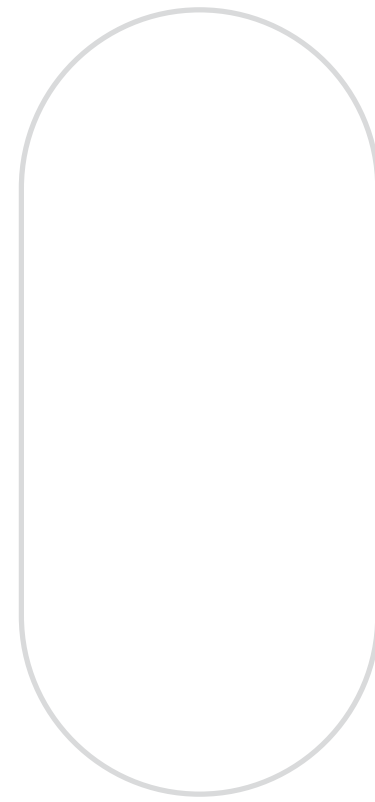




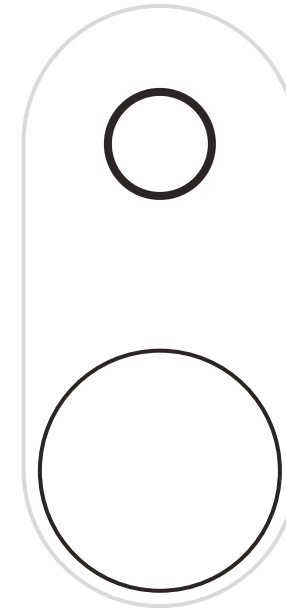
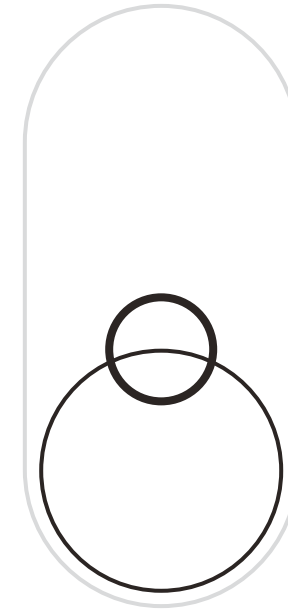
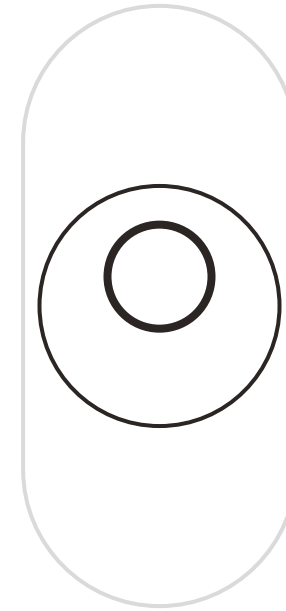
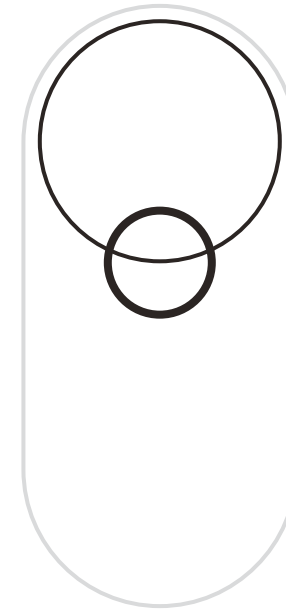
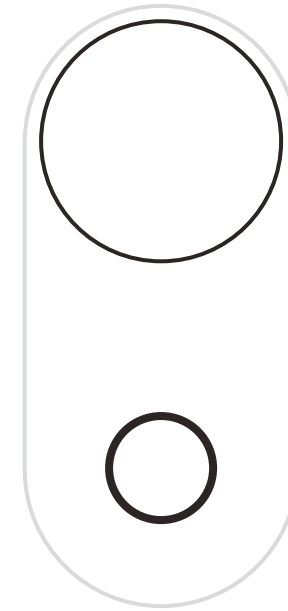
Kruh glykemie



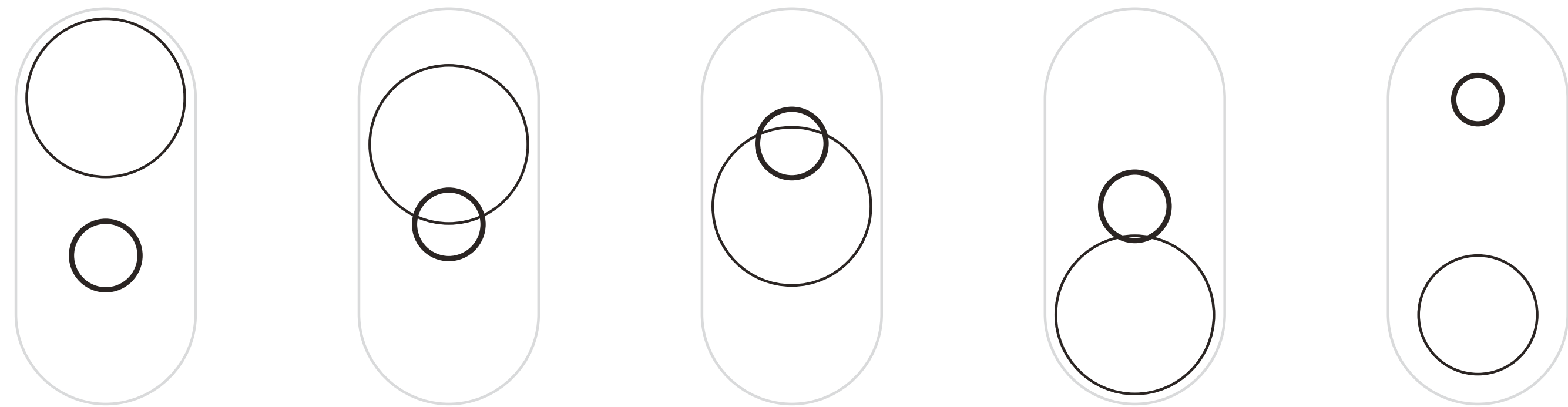
Kruh ideálních hodnot



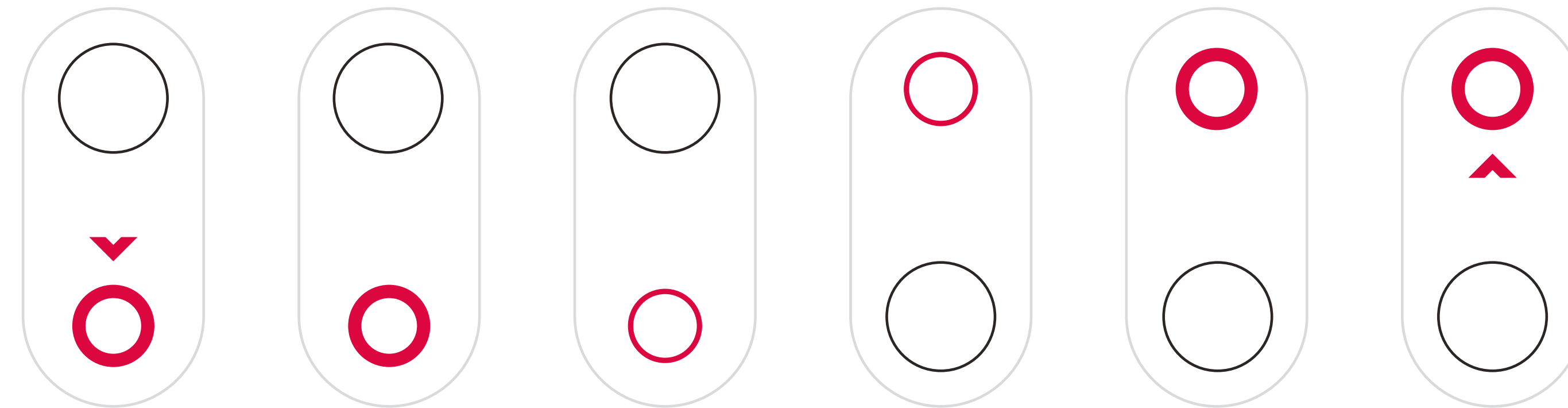
Display



Grafika průchodu glykemickým spektrem



Grafika průchodu glykemickým spektrem



Varovné signály pro velmi špatné glykemie

## Osvětlení

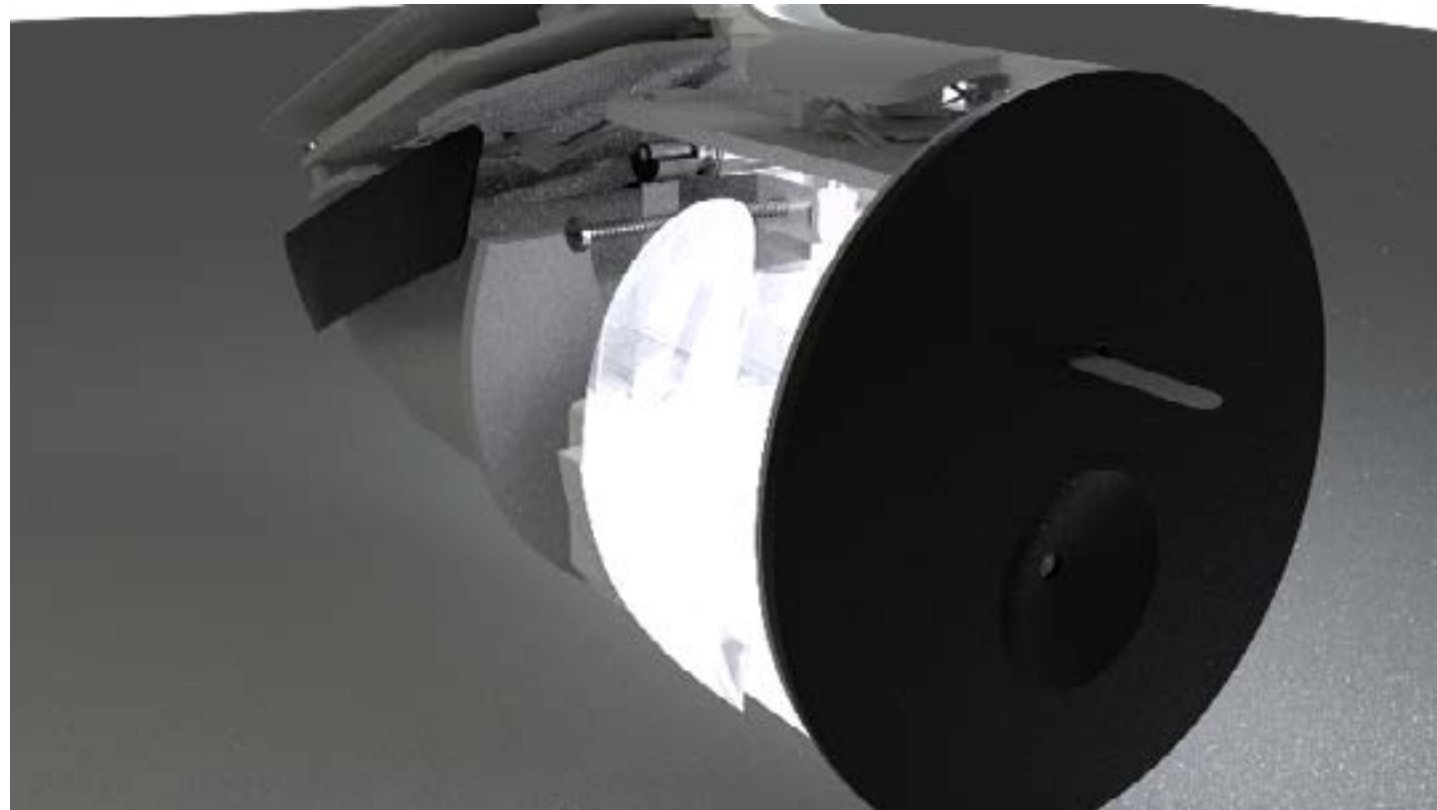
Osvětlení okolí glukometru je velmi žádaná vlastnost, který má znatelný vliv na kvalitu uživatelského zážitku, protože zvyšuje rychlost a pohodlnost měření ve tmě nebo za zhoršených světelných podmínek. Z dnes na trhu dostupných glukometrů touto vymožeností nedisponuje ani polovina produktů. Pokud už nějaký glukometr osvětlení má, většinou svítí buď na zcela zvláštním místě, nebo svítí velmi špatně (slabě, jinam), nebo je nejasné jak světlo rozsvítit.

Důležité je si uvědomit na co vlastně potřebuji při měření glykemie svítit. Při měření v naprosté tmě je jasné, že potřebuji světlo jak na vyndání proužku, tak také na jeho zastrčení do glukometru, ideálně na prohlédnutí si prstu, jestli na něm není nějaká nečistota před provedením vpichu lancetou, ale především v momentě, kdy potřebuji vědět, jestli z prstu vytekla kapka krve - a jak velká a také při následné aplikaci krve na proužek.

U mého designu řeším v oblasti světla právě otázku „kam svítit,“ na kterou jsem odpověděl ve druhém odstavci. Je třeba svítit na místo, kde mačkám krev z prstu, abych si byl jistý, že mám kapku pro testování. A druhým místem, překvapivě možná ne, až tak podstatným, je samotný proužek. Proto je glukometr vybaven dvěma světelnými zdroji, na každé straně jeden, proto je možné pravo i levoruké ovládání. Světlo svítí do boku, směrem od dlaně, k druhé ruce přímo do prostoru mezi palcem a ukazováčkem. Tedy do místa, které z celého designu vychází jako místo pro mačkání prstu.

V momentě, kdy mám na prstu připravenou kapku, mohu přistoupit k jejímu nanesení na proužek, který je, jak již bylo napsáno také prosvícen, takže jsou ve tmě vidět jeho kontury, což usnadní aplikaci krve.

Glukometry standardně svítí někde v okolí portu pro diagnostický proužek. Barva světla je rozdílná, v různých teplotách bílé až žluté barvy, k vidění jsou i exotické barevné varianty, které jsou opravdu nepoužitelné a nechutné. Intenzita světla je většinou neměnná a rozsvícení většinou skokově z vypnutého stavu do zapnutého. Pozitivní přínos pro uživatele přitom má i taková maličkost, jako planulé rozsvícení světla, byť v intervalu 1 sekundy. Je to malá drobnost, která zařízení přidá na pocitu promyšleného designu a kvality.



## Design zásobníku a proužků

Od počátku přemýšlení o designu glukometru bylo jasné, že se musí jednat o all-in-one zařízení, které rozumně kombinuje technologie a snaží se optimalizovat a posouvat dál věci, které máme dnes. Z analýzy diagnostických proužků je vidět, že jejich velikost je především určena nutností manipulovat s proužkem ručně, prsty. Samotný proužek tak náročný není. A vezmeme-li v úvahu nutnost použít na proužek vzácné kovy, jako dokonalé induktry, každý centimetr čtvereční je v ceně při statisicových sériích opravdu znát. Zmenšíme-li velikost, do jisté míry redukuje i cenu. Můj návrh obsahuje proužky s rozměry 2,5 x 13,5 mm, což je o více než polovinu méně, než mají jedny z nejmenších proužků na trhu.

Design proužků vychází ze standardní podoby proužků dnes běžně dostupných. Kromě zmíněné miniaturizace je však důraz kladen na uživatelský komfort při používání. Každý proužek je založen na plastovém proužku, který je úplně spodní vrstvou proužku a jako takový tvoří jeho podporu proti krutu a ohybu. Tento plast je standardně bílý. To znamená že není průsvitný. Pokud ale použijeme plast transparentní, můžeme uvnitř glukometru rozsvítit LED a světelná vodivost v plastu se postará o to, že proužek bude po svém obvodu svítit. Díky tomu má pacient velmi dobrou orientaci ve tmě v porovnání s dnešními glukometry, které sice často svítí, ale nedosvítí ani na konec proužku - pokud vůbec tímto směrem svítí, natož aby bylo vidět, kde je odebírací okénko pro aplikaci krve.

V kapitole o běžných proužcích bylo také zmíněno, že standardně mají z výroby nějaký ostrý roh. O ten se však uživatel častokrát zachytí prstem a výsledkem je, že proužek zapruží a na sebe, nebo do okolí vystříkne krev z proužku.

Tvar odběrového okénka je také často opomíjený. Při diabetické edukaci je vždy řečeno, že je třeba dbát na pravidelné střídání prstů a místa odběru přímo na jednotlivých prstech. V tomto většina proužků vůbec nevychází vstříc, protože mají odběrové okno lineární a být je na špičce proužku, častokrát je dostupné obtížně, protože vyžaduje různé natočení ruky pacienta, přehmatávání glukometru a podobně. Proto mají proužky v mém návrhu odběrové okno po obvodu předního zaoblení, takže je jednoduché nabrat krev z kterékoli strany. Samozřejmě musí zde být lépe vyřešena ochrana před

vnikem kyslíku, jakožto škodlivého prvku při elektrochemické reakci, ale to není nepřekonatelný problém. A od tohoto už byl jen krůček k tomu udělat proužku vizuálně atraktivní, což je opět něco, co dnes téměř nikdo neřeší.

Při takové velikosti už ale není jednoduché a příjemné s proužkem manipulovat ručně a proto musí na řadu přijít mechanismus. Při zmenšení proužků a jejich vyskládání do jednoho sloupce je patrné, že úspora místa může být značná.

Bylo samozřejmě třeba vymyslet nový design krabičky na proužky, ve které jsou přepravovány, ale také uloženy v zařízení. Základem je obdélníkový kvádr, která těsně obléhá proužky. Na horní straně je připravený otvor pro první kolo posuvného mechanismu, na spodní straně je z výroby lehce přitavené víko, které později v glukometru slouží jako tlačný element. Má na spodní straně připravené dva výstupky, do kterých zapadají oka pružinového systému v glukometru a ty slouží pro bezpečnější a přesně zajištění pružin, které jsou součástí glukometru a slouží jako posuvný mechanismus proužků do podavače.

Díky miniaturizaci, ale vlastně jen díky inteligentnímu přeskupení se velikost balení proužků neuvěřitelně zmenšila. Po porovnání velikosti krabičky s rozměry glukometru vyšlo dokonce najevo, že je možné do balení přidat dalších 20 proužků tak, aby se balení stále do glukometru vešlo. To je velký přínos v ohledu na redukci nutné logistiky stejného množství u konvenčních proužků a samozřejmě také navýšení uživatelského komfortu ve smyslu delší doby měření s jednou krabičkou.

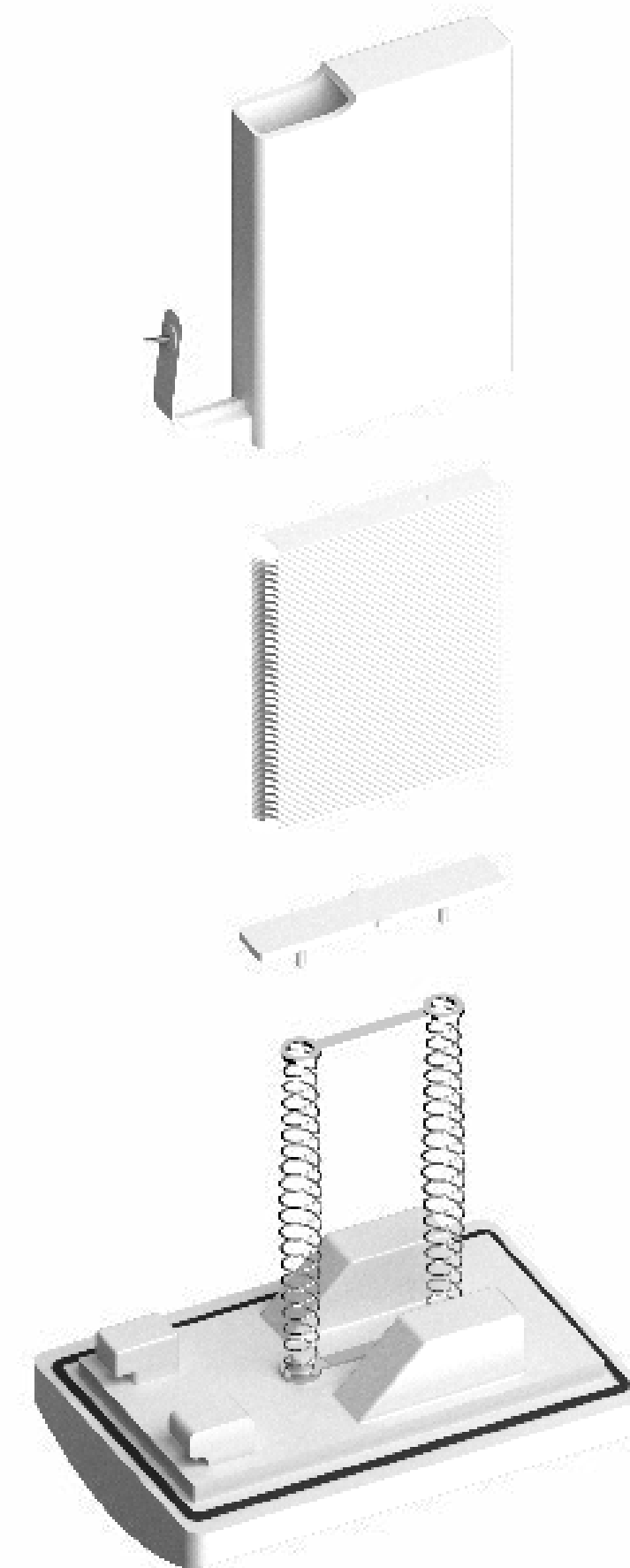
Při jednotlivém miniaturizování součástí jsem došel k problému, kterým bylo jak pohodlně umístit zminiaturizovanou lancetu do zařízení, když už standardní lanceta je velmi malá. Vzniklé řešení je velice zajímavé a efektivní hned v několika rovinách.

Lanceta je integrovaná přímo do krabičky s proužky. Když už proužky přijdou v kusu plastu, který je chrání, proč ten trochu nepředělat a neintegrovat dvě funkce do jedné. Výsledkem je snížení nákladů na výrobu, velká redukce logistiky se samostatnými lancetami a zajímavé, funkční spojení.

Ještě důležitějším faktorem je vliv na pacienta. Tím, že je lanceta závislá na balení proužků, je jasné daná doba, po kterou ji bude uživatel používat.

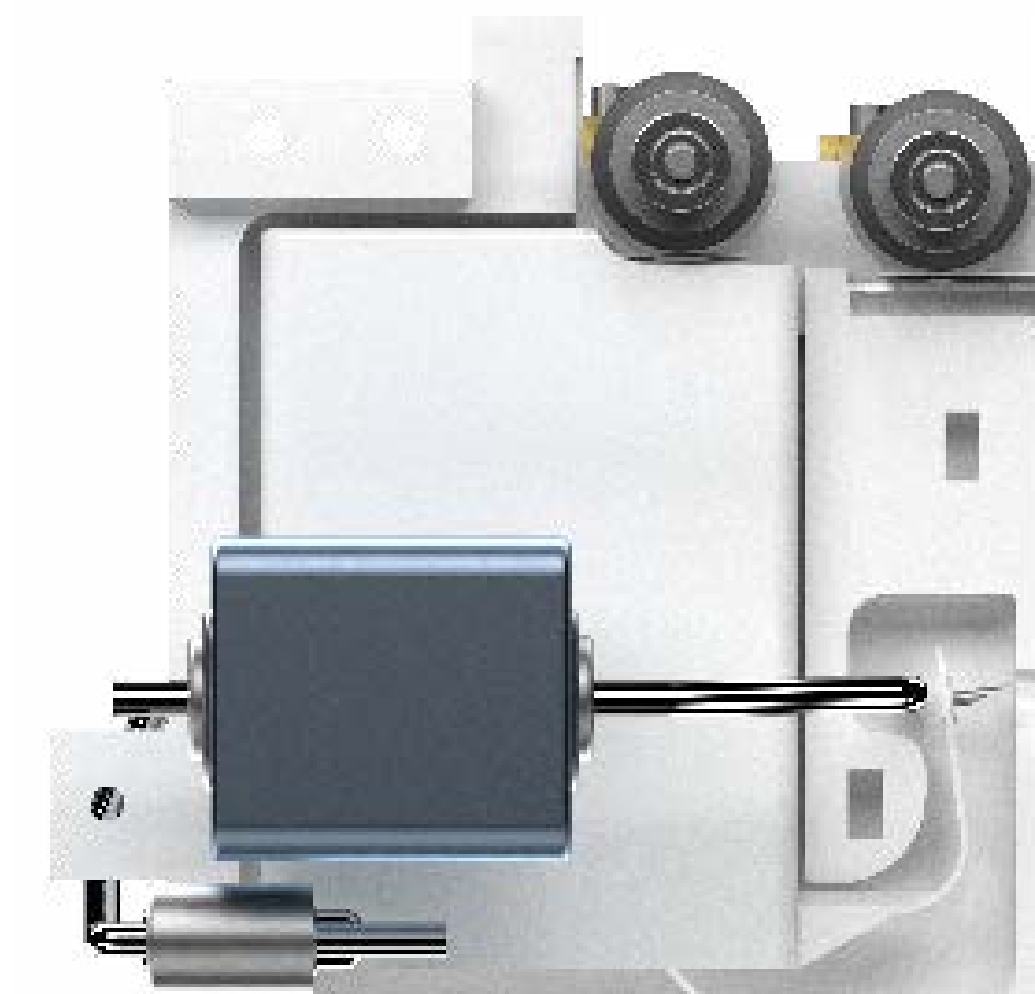


Po vyčerpání proužků se obal vyhodí a sním se vyhodí také použitá lanceta. S novým balením proužků si uživatel automaticky vloží také novou lancetu. Proužky vydrží na cca 17 dní, tedy o trochu více, než dva týdny. Z mého dotazníku přitom vyplývá, že většina uživatelů si jehlu mění v lepším případě po měsíci, většinou však po 3 měsících. Se systémem integrované lancety jde opět o drastický posun v kvalitě léčby, uživatelském komfortu, odstranění jednoho kroku, na který musí uživatel myslet a zároveň zajištění větší hygieny měření.



## Prostor

Vnitřní prostor je samozřejmě dělen dle principu funkce. Na jedné straně se nachází baterie a potřebná elektronika, na druhé straně elektromechanický mikromechanismus pro vystřelení lancety a zásobník proužků spolu s elektronickým vysunovacím mechanismem.



## Alternativní způsoby využití glukometru

I v roce 2017 jsou glukometry standardně (až na opravdu pár výjimek) v podstatě jednoúčelová zařízení, sloužící ke změření glykemie 4x během dne a po zbytek času jsou nevyužitá. S trendem chytrých věcí, který je patrný už minimálně jedno desetiletí a s rychlostí příchodu nových chytrých zařízení, který se každým dnem zrychluje ještě víc je zákonitě nutné, aby tento trend potkal i glukometry. Princip měření byl v předchozím textu popsán poměrně detailně, co tedy s glukometrem potom?

Jeden z nejhorších vlivů na dlouhodobě špatnou glykemii má nevědomost. Uživatel neví, že jeho glykemie má negativní trend, nebo hodnoty a pokud už to zjistí, často neví čím je to zapříčiněno. Pro lidskou lenost se málokdo neustále kouká na inzulínovou pumpu či jiný zdroj hodnot CGM, aby odhalil nebezpečný stav rychle. Toto je problematika, kterou jsem řešil již v mém projektu D3, chytré lampě určené pro diabetiky. Ta je napojena pomocí WiFi do internetu, na systém Nightscout a v reálném čase promítá hodnotu glykemie do místnosti uživatele ve formě barevného spektra, kdy je každé barvě přiděleno jedno glykemické spektrum a na základě jejich vzájemného míchání uživatel včas pozná, že se s glykemií děje něco, co je třeba řešit.

Při uvážení, že každý diabetik má doma zařízení, které je 23 hodin a 56 minut každý den vypnuté, vyvstává otázka, jestli se tím nedá něco dělat. Při současném sedavém způsobu života sedíme stále u počítačů, ale mít na monitoru ještě graf, který ukazuje aktuální glykemie je často nemožné - byť jen z důvodu velikosti displaye. Existují různé systémové doplňky, které hodnotu oznamují v systémové liště Windows, nebo macOS, ale většinou zobrazují jen číslo a šípku, z čehož přecijen není zcela jednoduché odečíst co se doopravdy děje.

Vzhledem k tomu, že můj glukometr disponuje matrixovým e-paper displayem bez spotřeby energie a technologií Bluetooth Smart s funkcí Low Energy je nasnadě tot zařízení propojit do systému ostatních a využít jeho potenciál. Jedná se o „Desktop mode.“

Při odloženém přístroji je možné ho buď položit normálně na záda, kdy se na displayi každou hodinu zobrazí průměrná glykemie pro tu konkrétní hodinu a nebo je možné glukometr postavit na výšku, na plochu kde se



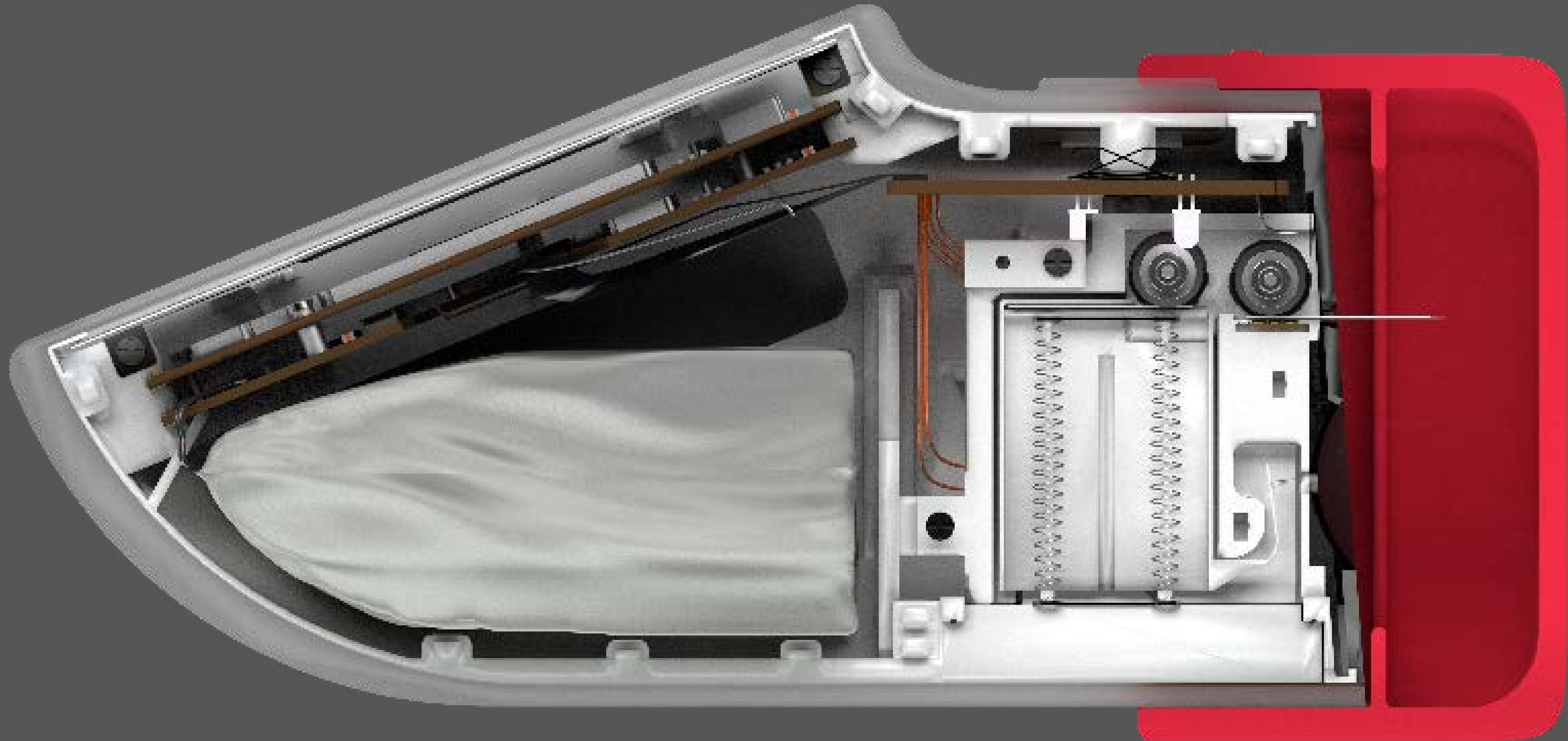
nachází lancetovací lůžko a port diagnostického proužku. Při takové orientaci je display vůči uživateli na výšku a stojí na stole jako malý monitor. Glukometr rozpozná tuto polohu akcelerometrem a připojí se ke známým zařízením pomocí bluetooth. Tyto zařízení mu budou každých 5 minut posílat aktuální hodnotu CGM glykemie a na displayi je tak živý graf aktuálních hodnot. Pokud se glykemie blíží nebezpečnému limitu, glukometr může využít vestavěný systém osvětlení pro vizuální upozornění probliknutím - efekt dýchnutí, což uživatele upoutá a on tak může včas zareagovat. To je velký rozdíl oproti tomu čekat, až zapípá inzulínová pumpa v kapse, v momentě, kdy je už špatně. Důležité je také vizuální upozornění na místo akustického. Akustická upozornění u většiny diabetických zařízení je velmi podobná a velmi nepříjemná, osobně bych to označil za „syndrom akustické buzerace,“ což je kombinace špatně reagujících algoritmů, které spustí nepříjemně znějící alarmy a navíc vyžadují potvrzení od uživatele, nevypnou se samy, pokud už tento stav neplatí.

## Technologie

Glukometr je vybaven:

- 2Gb paměti pro uložení několika tisíc výsledků.
- Rychlým, moderním procesorem, který je energeticky úsporný. Jako referenci bych uvedl chip Texas Instruments MSP430, který je low-power, vhodný pro aplikaci v zařízeních jako jsou glukometry a obsahuje také LCD driver. Samozřejmě pro kvalitnější uživatelský zážitek by byl lepší procesor výkonnější. Musí být schopen více taskových úloh a vykreslení dat pro display ve vyšší frekvenci pro plynulé přechody animací. Musí mít také podporu pro BL-LE a Sigfox.
- Sigfox - moderní bezdrátová technologie pro implementaci v IoT a embedded devices. Systém s protokolem stavěný pro nízkou spotřebu a několika měsíční - letou životnost na baterii. Poskytuje úžasnou přenosovou technologii, která je schopna odeslat data na vzdálenost až několika desítek kilometrů. Samozřejmě záleží na vysílacím výkonu, okolních podmínkách a zástavbě a podobně. Systém je stavě pro přenos maloobjemových zpráv s omezením 140 zpráv za den. Což je více než dostatečné pro přenos cca 4 měření denně.

- Bluetooth LE, pro komunikaci s mobilním telefonem či počítačem.
- Zajímavá by určitě byla implemenace technologie ANT+ - technologie pro vzájemnou komunikaci věcí a senzorů na krátkou vzdálenost. Ta by umožnila například přímé propojení inzulínové pumpy libovolného výrobce s glukometrem a například lednicí či teploměrem. Výsledná data by se dala propojit do velmi zajímavých vzorců.
- Baterie s kapacitou cca 1200 mAh poskytuje dostatečnou kapacitu pro měsíce provozu.
- Bezdrátové nabíjení standardu Qi. Glukometr nemá vyměnitelnou baterii, nemá žádný konektor. Dá se nabíjet bezdrátově v kombinaci například s lampami a chytrým nábytkem firmy IKEA vybavenými Qi nabíječkami, stejně jako libovolnou bezdrátovou nabíječkou mobilních telefonů..
- E-paper display pro energeticky nenáročný provoz. Konstantní zobrazovací vlastnosti, pozorovací úhly srovnatelné s papírem. Informace je zobrazena i bez přísunu napájení. V tomto návrhu pracuji s (tří) barevným displayem, který je schopný zobrazit černou, červenou a zelenou barvu.
- Akcelerometr pro rozpoznání náklonu zařízení a přepnutí módu.
- Solenoidové lineární motorčky poskytující kinetickou energii pro vystřelení lancety a otevření víka glukometru.
- DC bezkartáčové motorčky pro posun proužku. Dvojice motorků, jeden pro výsuv proužku ze zásobníku, druhý pro jeho aretaci v portu a následně vysunutí při vyhození proužku. Zajímavé by určitě bylo vyvinutí miniaturního krokovacího motorčku pro přesný posun proužku.



## Nabíjení

Byť je zařízení od základu navrhováno jako velmi energeticky úsporné pro eliminaci nutnosti pravidelného nabíjení. A je jen na uživateli, jak se k zařízení bude chovat a jaké vymoženosti bude používat, jestli půjde jen o měření glykemie a nebo bude odesílat data do cloudu a naopak si data brát z chytrého telefonu - tyto technologie jsou na odběr proudu náročnější a tak jednou za čas nabíjení nutné bude. Jak již bylo zmíněno, glukometr je vybaven cívkou pro bezdrátové nabíjení. Díky tomu ho stačí jen vhodně postavit na určené místo a glukometr se nabíjí, bez potřeby cokoli kamkoli zapojovat nebo se o něco starat. Uživatel, který má například stůl s integrovanou bezdrátovou nabíječkou, nebo podobně vybavenou lampu či automobil si vlastně ani nevšimne, že se zařízení nabíjí. A to je přesně cílem. Uživatel nesmí být vyrušen, provokován hláškou o nízké baterii, nebo nutností připojit kabel.

## Napojení na další systém

Glukometr sám k dokonalé analýze nestačí a asi nikdy stačit nebude. Od začátku je třeba přemýšlet o tom, co je uživatel schopný s glukometrem dělat, jaké informace z něho může získat a jaké je schopen z něho přijmou. A to především pro určité rozměrové limity, výpočetní výkon a pohodlnost ovládní. Nedílnou součástí tak musí být jak mobilní tak i webová / desktopová aplikace. Kdy je třeba brát v úvahu rozdílnou velikost displaye jednotlivých zařízení, z které vychází rozdílné množství informací, které je uživatel schopen při přímém pohledu, bez interakce přijmou.

Platí, že čím menší display, tím méně informací co nejpřímější formou, která je snadno pochopitelná a uživatel i tak dostal informaci, kterou chtěl. To znamená umět vyselektovat důležité a méně důležité prvky z celkových dat a ty pacientovi předkládat, ideálně dynamicky. Každý pacient je jiný, byť určité rysy, chyby v chování diabetiků se opakují.

Naopak čím větší display, tím si můžeme dovolit prezentovat informace více do hloubky, ukazovat zajímavější souvislosti a více pracovat s časem.

Pacient by měl vždy dostat informace, které se týkají jeho osobně, problémů a chyb, kterých on se dopouští.

Celý systém musí být jednotný v grafickém jazyku. Glukometr musí korespondovat s aplikací v chytrých hodinkách, v iPhonu, v iPadu a také ve webové aplikaci. Samozřejmě, druhým směrem musí tato rovnice platit taktéž - tedy stejný grafický jazyk mezi glukometrem, inzulínovou pumpou a dalším příslušenstvím.

Příliš do hloubky aplikací v této práci zasahovat nechci, protože toto téma je natolik obsáhlé, že by vypadlo na práci samotnou. Chci touto sekcí ale zdůraznit potřebu se aplikacím ve spojení se zařízením věnovat a stavět systém od základů - ale neuzavírat ho dalším integracím jiných výrobců, byť to může být často limitující. Pokud však má systém ambice na to být samostatným, nebylo by rozumné tak neudělat.

# Závěr

Problémy okolo zdravotnických pomůcek pro diabetiky vnímám snad od mého záchytu. Nikdy jsem nepochopil, proč většinou velmi drahá zařízení, která jsou do jisté míry méně či více specializovaná mají tolik negativních vlastností. Počínaje samotným produktovým designem, přes systém jejich používání až po práci s daty.

Pravdou je, že vývoj zdravotnických zařízení je často zdržován nutností získat schvalovací razítko od několika organizací, které dohlíží nad kvalitou zařízení na trhu. Tyto kontrolní procesy jsou velmi přísné, drahé a zdlouhavé. Zařízení musí splnit státem vyžadované normy a pokud je nalezen problém, musí dojít k jeho nápravě.

Klasický glukometr si drží podobu opravdu neuvěřitelně dlouho. Chtělo by se říct, že i digitální hodinky urazily za posledních 20 let větší a zajímavější cestu, než glukometry.

Diabetes má jako jedna z mála nemocí zvláštní vlastnost. Tato nemoc na člověku není vidět, ani sám pacient ji necítí (pominu-li hypo a hyper glykemické stavy a možné pozdní komplikace). Diabetik je vlastně zdravý člověk, který si jen musí hlídat co jí a co dělá. Bohužel většinový pohled farmaceutických společností je takový, že jde o pacienta, který má specifické potřeby. Zajímavé je, že snad každý výrobce se chvástá přívlastky jako snadný, jednoduchý, přehledný. Realita ovšem ukazuje, že na tom není nic pravdy a vlastně se dokola recyklují věci, které jsou na trhu opravdu více, než 20 let. A přesto, tyto „specifické potřeby“ diabetik má, ale trh na ně zatím nepřinesl adekvátní odpověď. Každé zařízení je spojeno s určitým kompromisem, přičemž si myslím, že jsem v mé práci ukázal, že to tak vždy být nemusí.

Většina glukometrů se ohání velkým displayem s úžasně čitelnými obrovskými číslicemi, hlasitým akustickým signálem a deníčkem s možností záznamu jídla. Velký display však většina diabetiků nepotřebuje, protože kvalita léčby se už natolik zvedla, že při normálním životě pacientovi pozdní komplikace téměř nehrozí. Málokterý výrobce myslí na mladé, aktivní lidi, kteří se nechtějí se svým glukometrem ve společnosti stydět. Akustické signály většinou pouze přilákají pozornost lidí v okolí a deníček v zařízení je často nepoužitelný, protože umožňuje zaznamenat například jen to, že pacient jedl, ale nikoli co, nebo je cesta a celý proces k zadání nové hodnoty tak nepříjemný a zdlouhavý, že ho pacient nevyužívá.

Je třeba optimalizovat poměr čísel a grafiky. Jsou lidé, kteří nerozumí číslům, jsou lidé kteří jim rozumí. Je důležité hledat nové, inovativní cesty, byť se mohou ukázat jako slepé, protože jedině tak se posuneme dopředu.

Jsem si vědom, že zde prezentovaný design by ve výsledku vyústil v drahé zařízení. To se na první pohled zdá být jako negativní, ale na základě mnou vzneseného dotazu v diabetické skupině na Facebooku, většina lidí s vyšší cenou nemá problém, pokud je obhajitelná a zařízení má vážně přínos. A ostatní by zůstali u svého hloupého glukometru.

Byl bych rád, kdyby se situace začala měnit k lepšímu. Farmaceutické společnosti by se však musely více otevřít pacientům a design zařízení by měli mít na starost jen opravdu zapálení lidé a nejen diabetici, ale především diabetici, kteří mají vztah k technice, designu, analýze procesů.

# Zdroje, přílohy.

## Diabetes, historie

1 [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Diabetes\\_mellitus#](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Diabetes_mellitus#)

2 <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Glukoneogeneze>

3 <https://cs.wikipedia.org/wiki/Triacylglycerol>

4 [https://cs.wikipedia.org/wiki/Diabetes\\_mellitus#Diabetes\\_mellitus\\_1.\\_typu](https://cs.wikipedia.org/wiki/Diabetes_mellitus#Diabetes_mellitus_1._typu)

5 [http://www.transplantace.eu/slinivka/transplantace\\_ostrovky.php](http://www.transplantace.eu/slinivka/transplantace_ostrovky.php)

6 [https://cs.wikipedia.org/wiki/Diabetick%C3%A1\\_ketoacid%C3%B3za](https://cs.wikipedia.org/wiki/Diabetick%C3%A1_ketoacid%C3%B3za)

7 <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Inzulin>

8 <https://cs.wikipedia.org/wiki/Gluk%C3%B3za>

9 [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Slinivka\\_b%C5%99%C5%A1n%C3%AD](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Slinivka_b%C5%99%C5%A1n%C3%AD)

10 <https://cs.wikipedia.org/wiki/Inzulin>

## historie měření

11 <http://www.remedia.cz/Clanky/Prehledy-nazory-diskuse/Soucasne-moznosti-monitorovani-glykemie/6-E-eG.magarticle.aspx>

— vypůjčena práce na historii měření

5 BRITISH JOURNAL OF BIOMEDICAL SCIENCE[online]. S. F. Clarke, J. R. Foster, [http://www.bjbsonline.org/pdf/pp83-93%20BBS69\(2\).pdf](http://www.bjbsonline.org/pdf/pp83-93%20BBS69(2).pdf)

, 2012

6 BRITISH JOURNAL OF BIOMEDICAL SCIENCE[online]. S. F. Clarke, J. R. Foster, [http://www.bjbsonline.org/pdf/pp83-93%20BBS69\(2\).pdf](http://www.bjbsonline.org/pdf/pp83-93%20BBS69(2).pdf)

, 2012

7 BRITISH JOURNAL OF BIOMEDICAL SCIENCE[online]. S. F. Clarke, J. R. Foster, [http://www.bjbsonline.org/pdf/pp83-93%20BBS69\(2\).pdf](http://www.bjbsonline.org/pdf/pp83-93%20BBS69(2).pdf)

, 2012

—

<https://www.diabetesselfmanagement.com/blog/why-do-test-strips-cost-so-much/>



