



BIOSENZORY

Mikrovlonné neinvazivní monitorování koncentrace glukózy v krvi

Doc. Dr.-Ing. Jan Vrba, M.Sc.

Katedra biomedicínské techniky
Fakulta biomedicínského inženýrství
České vysoké učení technické v Praze



**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ
ČVUT V PRAZE**



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



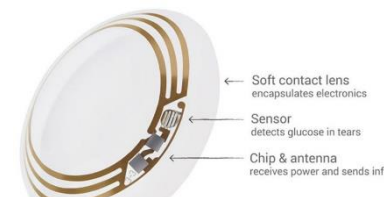
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Úvod

- 382 miliónů pacientů (8.3% z celkové populace) v roce 2017,
- Náklady na léčbu diabetu přesahují aktuálně 11% nákladů na zdravotní péči. [1]
- Monitorování koncentrace glukózy v krvi je nezbytné pro udržení ve fyziologických mezích. Invazivní měření, spojené s řadou problémů, se provádí méně často než je potřeba.
- Z předchozích bodů vyplývá motivace pro vývoj neinvazivních metod.
- Na vývoji se kromě výzkumných skupin podílí i společnosti jako např.:
 - Integrity Applications (kombinace měření ultrazvuku, elektromagnetické pole, teploty)
 - Google Inc. (elektrochemický senzor integrovaný do kontaktní čočky a měřící koncentraci glukózy v slzách)
 - MediWiSe (měření koeficientu přenosu na 65 GHz)



GlucTrack,
Integrity Applications



SmartLens,
Google Inc.

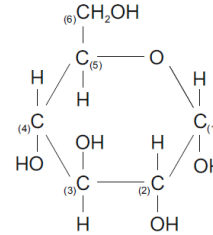


Glucowise,
MediWiSe

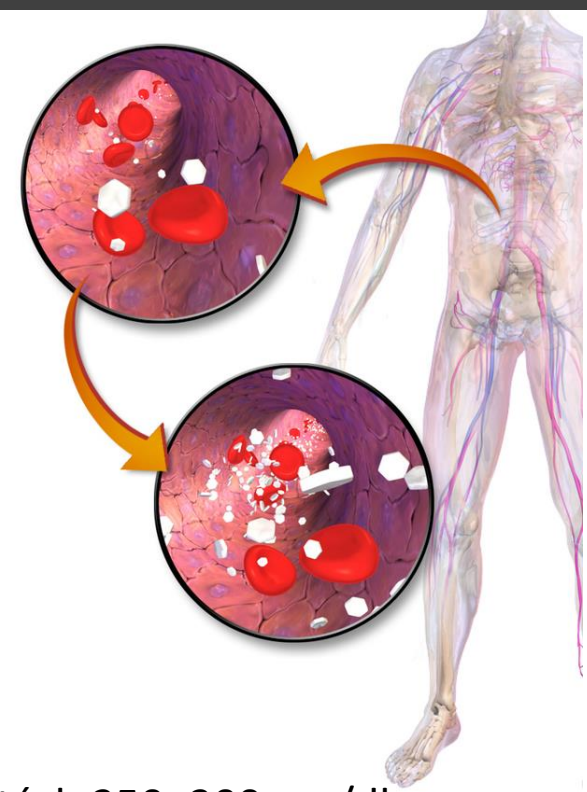
[1] International Diabetes Federation, IDF DIABETES ATLAS. Online, 2017.



Koncentrace glukózy v krvi

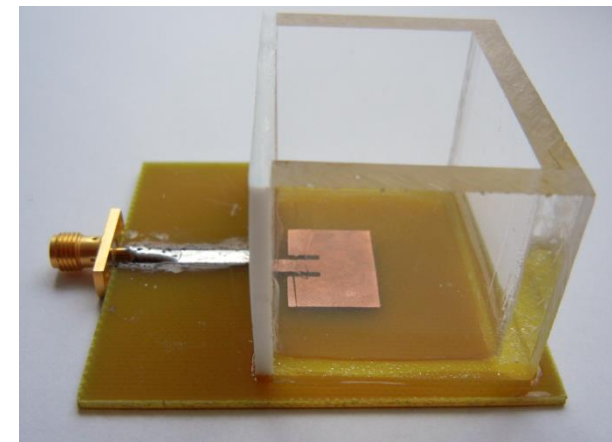
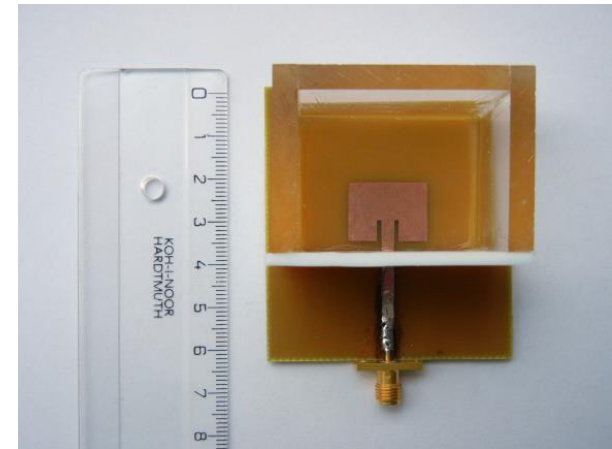
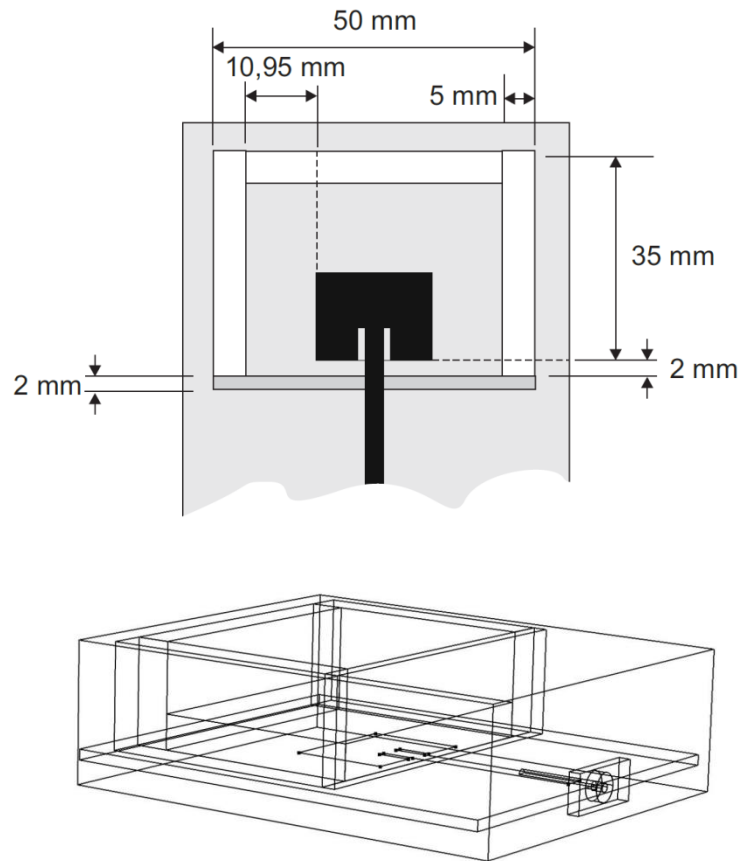


- Hypoglykemie
< 40 mg/dl
- Glykemie
79 to 110 mg/dl (střední hodnota 100 mg/dl)
- Hyperglykemie
> 200 mg/dl
Symptomy nemusí být znatelné ani při vysokých hodnotách 250–300 mg/dl
- Hodnoty koncentrace 500 mg/dl jsou extrémní, mohou ale nastat u pacientů s diabetem
(hodnoty odpovídají cévní koncentraci glukózy)
- Nejvyšší uvažovaná koncentrace 500 mg/dl odpovídá pouze cca 0,5 % hmotnostnímu poměru glukózy v krvi



Numerický model a realizovaný senzor

- COMSOL Multiphysics + MATLAB



J. Vrba, J. Karch, and D. Vrba, "Phantoms for Development of Microwave Sensors for Noninvasive Blood Glucose Monitoring," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2015, 2015, p. e570870, Mar. 2015.



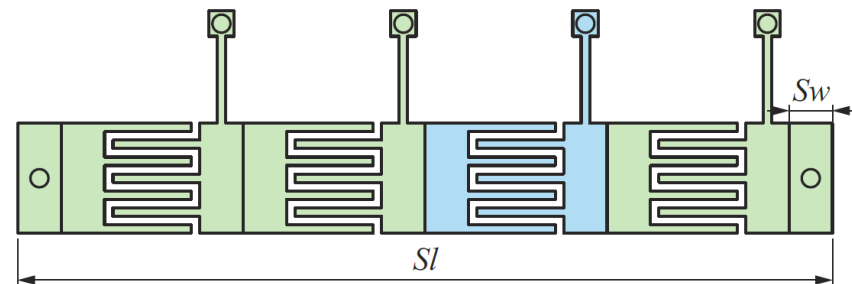
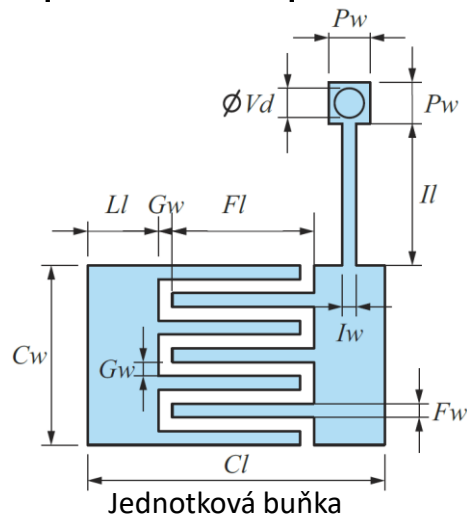
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Geometrie senzoru a numerický model

- Planární struktura skládající se z N_c tzv. jednotkových buněk
- V rámci návrhu byly testovány struktury o $N = 5, 7, 9$
- Na povrch senzoru byla navržena tenká vrstva substrát o síle $100 \mu\text{m}$. Tato vrstva chrání obvodový analyzátor před statickým nábojem, zvyšuje amplitudu koeficientu přenosu.
- Celková délka senzoru Sl byla zvolena 20 mm .
- Šířka prstů a vzdálenost mezi prsty byla zvolena $100 \mu\text{m}$.
- Byla provedena parametrická studie pro parametry N_c, N_f, C_w, Fl, Il .



Elektricky vodivý motiv navrženého senzoru se 4mi jednotkovými buňkami

J. Vrba, D. Vrba, „A Microwave Metamaterial Inspired Sensor for Non-Invasive Blood Glucose Monitoring,“ *Radioengineering*, vol. 24, no. 4, pp. 877-884, 2015.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

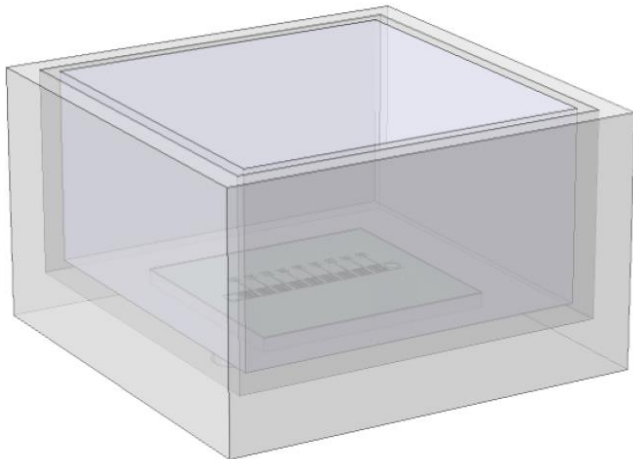
MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Geometrie senzoru, numerický model a realizované senzory

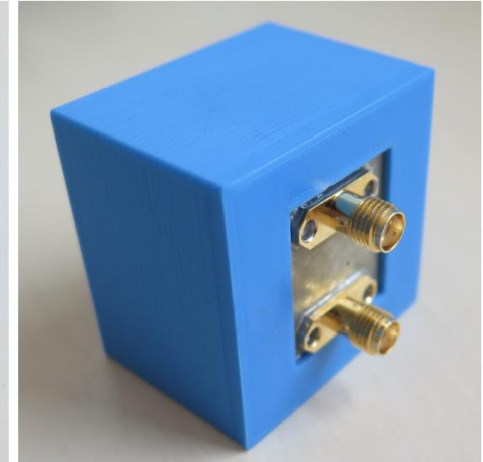
- Numerický model zahrnoval:
 - Geometrii senzoru včetně zjednodušené geometrie SMA konektorů
 - Homogenní fantom krve s dielektrickými vlastnostmi odpovídajícími dostupnému modelu zahrnující závislost dielektrických vlastností krve na frekvenci a koncentraci glukózy.



Senzory s $N_c = 5, 7$ a 9



Geometrie numerického modelu se senzorem s 9 jednotkovými buňkami.

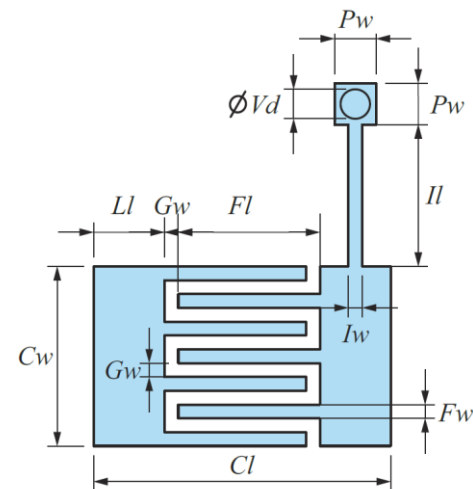


Senzor v nádobce pro pilotní experimenty s fantomem „prasečí krev + glukóza“

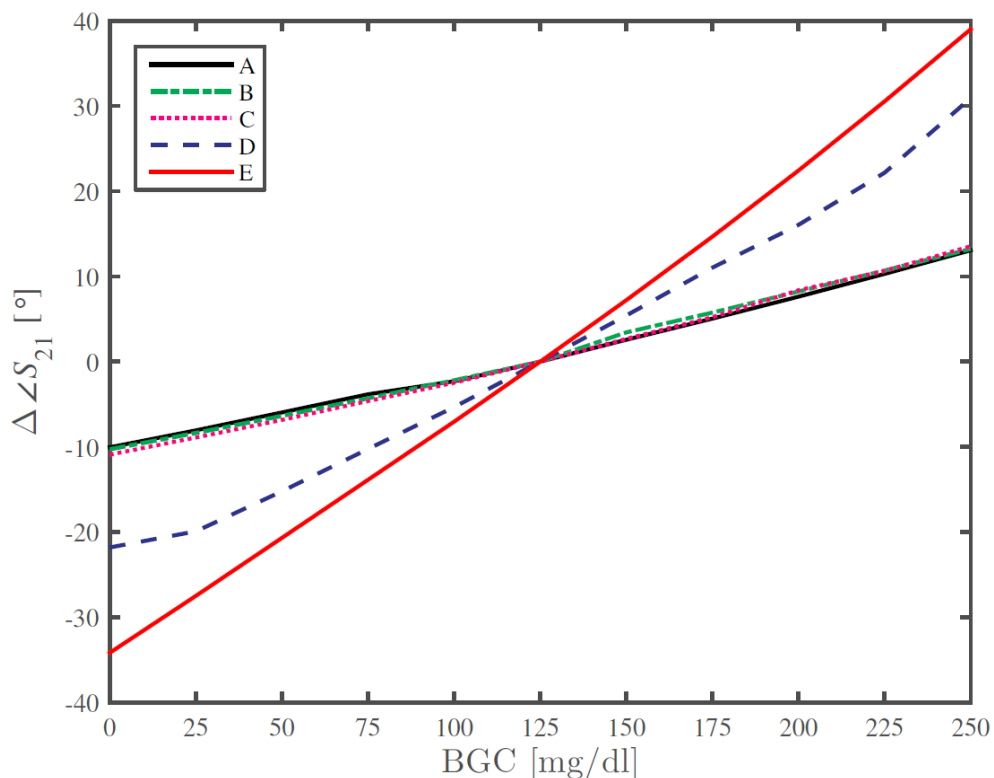


Výsledky numerické parametrické studie

- Se zvyšujícím se počtem použitých buněk a snižující se výškou izolační vrstvy roste citlivost senzoru



Jednotková buňka



Sensor	N_c	N_f	t_{coat} (mm)	C_w (mm)	F_l (mm)	I_l (mm)
A	5	7	0,2	1,3	2,86	2,10
B	5	7	0,2	2,0	2,86	1,30
C	7	9	0,2	1,7	1,85	2,85
D	7	9	0,1	1,7	1,89	2,55
E	9	11	0,1	2,1	1,36	2,85

J. Vrba, D. Vrba, „A Microwave Metamaterial Inspired Sensor for Non-Invasive Blood Glucose Monitoring,“ *Radioengineering*, vol. 24, no. 4, pp. 877-884, 2015.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Shrnutí

- Mikrovlnný senzor pro „in vitro“ sledování hladiny glukózy v krvi byl navržen, vyroben a testován pomocí dvou odlišných fantomů: „fyziologický roztok + glukóza“ a „prasečí krev + glukóza“.
- Posun rezonanční frekvence v závislosti na koncentraci glukózy byl určen pomocí numerických simulací i měření.
- Posun rezonanční frekvence pro fantom „fyziologický roztok + glukóza“ byl v případě měření maskován jiným jevem, pravděpodobně malými změnami dielektrických vlastností fantomu způsobených malou změnou teploty během měření.
- Posuny rezonanční frekvence pro fantom „prasečí krev + glukózy“ ukázaly jasný lineární trend se sklonem, který by mohl být použit pro určení hladiny glukózy.
- Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že fantom „fyziologický roztok + glukóza“ není v uvažovaném frekvenčním pásmu vhodný pro experimentální návrh systémů pro sledování hladiny glukózy v krvi.

J. Vrba, J. Karch, and D. Vrba, “Phantoms for Development of Microwave Sensors for Noninvasive Blood Glucose Monitoring,” *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2015, 2015, p. e570870, Mar. 2015.



Shrnutí

- Dále byl navržen mikrovlnný senzor založený na umělém přenosovém vedení.
- Vytvořen odpovídající numerický model a provedena parametrická studie s cílem nalézt rozměry senzoru s vhodnou citlivostí.
- Citlivost navrženého senzoru byla cca 10x vyšší v porovnání se senzorem založeným na mikropáskovém vedení.
- Vzhledem k vysokému počtu stupňů volnosti při návrhu MTM přenosových vedení, je pravděpodobné, že citlivost může být dále zvýšena.

J. Vrba, D. Vrba, „A Microwave Metamaterial Inspired Sensor for Non-Invasive Blood Glucose Monitoring,“ *Radioengineering*, vol. 24, no. 4, pp. 877-884, 2015.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY