

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-16-0190****Výskum Integrácie funkčného systému TEXTílií na monitoring BIODát pre dosiahnutie synergie zdravia, komfortu a bezpečnosti človeka**Zodpovedný riešiteľ **Ing. Dana Rástočná Illová, PhD.**Príjemca **VÚTCH - CHEMITEX, spol. s r.o.**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

VÚTCH-CHEMITEX, spol. s r.o., Žilina

Katedra teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informačných technológií, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina

Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií, Fakulta elektrotechniky a informačných technológií, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Pracovisko Plazmové nanotechnológie a bioaplikácie, Ústav fyzikálnej elektroniky

Prírodovedeckej fakulty Masarykovej univerzity v Brne, Česká republika

INTERCOLOR a.s., Červená voda, Česká republika

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Pripravený návrh patentovej prihlášky „Inteligentný matracový topper „EKG-SmartSheet“ so zvýšenými hygienickými vlastnosťami, určeného pre monitoring biomedicínskych dát človeka v reálnom čase“. Prihlasovateľ: VÚTCH-CHEMITEX, spol. s r. o., Žilina

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

- ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch
 1. Textile electrodes in capacitive signal sensing applications: Babusiak B., Borik Š. and Balogová Ľ.: In: Measurement [print, electronic] : journal of the International Measurement Confederation. - ISSN 0263-2241. - č. 114 (2018), s. 69-77 [print]. - Spôsob prístupu: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224117305894>
 2. Two-electrode ECG for ambulatory monitoring with minimal hardware complexity: Babusiak B., Borik S., Smondrek M.: In: Sensors [print, electronic]. - ISSN 1424-8220 (online). - Roč. 20, č. 8 (2020), s. [1-19] [online, print]. - Spôsob prístupu: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/8/2386>
 3. A Smart IoT System for Detecting the Position of a Lying Person Using a Novel Textile Pressure Sensor: Hudec R.; Matúška S; Kamencay P.; Benčo M.: In: Sensors (Basel), 2020, 21(1):206, doi: 10.3390/s21010206
- ADM Vedecké práce v zahraničných časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS
 4. Frequency dependent alterations of S. Cerevisiae proliferation due to LF EMF exposure:

- Radil R., Barabáš J., Janoušek L., Bereta M.: In: Advances in Electrical and Electronic Engineering [print, electronic]. - ISSN 1336-1376. - Roč. 18, č. 2 (2020), s. 99-106 [print, online]. - Spôsob prístupu: <http://advances.utc.sk/index.php/AEEE/article/view/3461>
5. Concept of a wearable temperature sensor for intelligent textile: Hudec R.; Matúška; Kamencay P., Hudecova L.: In: Advances in Electrical and Electronic Engineering [print, electronic]. - ISSN 1336-1376. - Roč. 18, č. 2 (2020), s. 92-98 [print, online]. - Spôsob prístupu: <http://advances.utc.sk/index.php/AEEE/article/view/3610>
- ADN Vedecké práce v domácich časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS
6. Mattress topper with textile ECG electrodes: Babušiak B., Šmondrk M., Balogová Ľ., Gála M.: In: Fibres and textiles in Eastern Europe : an international magazine devoted to current problems of the textile industries in Central and Eastern Europe. - ISSN 1230-3666. - Roč. 28, č. 3 (2020), s. 25-28 [print, online]. - Spôsob prístupu: http://vat.ft.tul.cz/2020/3/VaT_2020_3_5.pdf
7. Smart Mattress Topper with Enhanced Hygienic Properties for ECG Measurement and Detection of Position: Rástočná Illová D., Balogová Ľ., Ščasníková K., Gála M., Babušiak B., Borik S.: In: Fibres and textiles in Eastern Europe : an international magazine devoted to current problems of the textile industries in Central and Eastern Europe. - ISSN 1230-3666. - Roč. 28, č. 4 (2020), s. 81-85 [print, online]. - Spôsob prístupu: http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_11.pdf
- AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách
8. Jednotka zberu dát 8-zvodových bioelektrických signálov: Bednár T., Babušiak B., Smetana M.: In: Informačné technológie v biomedicíne [tlač, elektronické]: zborník z konferencie. - 1. vyd. - Cham: Springer International Publishing AG, 2019. - ISBN 978-3-030-23761-5. - s. 495-506 [tlač, online]. Spôsob prístupu: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-23762-2_44
9. Smart sheet design for electrocardiogram measurement: Babušiak B., Borik Š., Šmondrk M., Janoušek L.: In: Information Technology in Biomedicine [print, electronic] : conference proceedings. - 1. vyd. - Cham: Springer International Publishing AG, 2019. - ISBN 978-3-030-23761-5. - s. 507-517 [print, online].
10. Detection of QRS complexes using convolutional neural network: Martin Paralic. In: TSP 2019 [print] : 42nd International conference on telecommunications and signal processing. - 1. vyd. - Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2019. - ISBN 978-1-7281-1864-2. - s. 182-186. Spôsob prístupu: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8768867>

Uplatnenie výsledkov projektu

Využitelnosť výsledkov projektu je najmä v medicínskej oblasti veľmi široké. Inteligentný matracový topper „EKG-SmartSheet“ je možné používať v domovoch sociálnych služieb (DSS) pre monitorovanie dlhodobu ležiacich pacientov. Topper nám v tomto prípade neposkytuje informáciu len o srdcovej kondícii klienta DSS ale taktiež nám poskytuje informácie o jeho polohovaní. Na základe polohovania vieme predchádzať vzniku dekubitov u týchto klientov a tak im zvýšiť komfort na lôžku. V prípade, že je klient dlhšiu dobu nepolohovaný, je personál DSS upozornený aby došlo k zmene polohy klienta. Zároveň ako bolo uvedené vyššie inteligentný topper monitoruje elektrickú aktivitu srdca a v prípade náhle zástavy srdca bezodkladne upozorní službu konajúci personál. Náhla zástava srdca vzniká väčšinou z dôvodu poškodenia elektrickej funkcie srdca, čím sa zastaví jeho funkcia a krv sa prestane pumpovať do celého tela. Ak okamžite nedôjde ku zásahu zvonku, pacient zomrie. Ďalšou oblasťou využitia toppera je ambulancia všeobecného lekára resp. ambulancia prvého kontaktu kde ho je možné využiť najmä na rýchly monitoring elektrickej aktivity srdca (EKG). Ak má lekár podozrenie na srdcovú arytmiu, srdcový infarkt, kardiomyopatia, závažné chlopňové chyby a iné môže veľmi rýchlo získať záznam EKG tým, že si pacient ľahne na lôžko na ktorom je položený inteligentný matracový topper. Krivku elektrickej aktivity lekár získa bez potreby inštalovania klasických konvenčných elektród na pacienta čím sa výrazne skrátí čas potrebný na diagnostiku ochorenia a pacient je urýchlene transportovaný na príslušné nemocničné oddelenie kde mu bude poskytnutá adekvátna lekárska starostlivosť. Čas je v týchto prípadoch veľmi dôležitý, nakoľko ak nedôjde ku zvráteniu arytmie dostatočne rýchlo dochádza ku poškodeniu mozgu a ďalších orgánov. Uplatnenie inteligentný matracový topper „EKG-SmartSheet“ nájde aj napríklad na jednotkách intenzívnej starostlivosti (JIS) alebo všade tam kde je potrebný dlhodobý

monitoring elektrickej aktivity srdca či už v zdravotníckych zariadeniach alebo aj v domácnostiach s dlhodobou ležiacimi pacientami.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Hlavným výsledkom riešenia projektu sú dva prototypy inteligentného matracového toppera „EKG-SmartSheet“ so zvýšenými hygienickými vlastnosťami (Variant A, Variant B), určeného pre monitoring biomedicínskych dát človeka v reálnom čase. Inteligentný matracový topper „EKG-SmartSheet“ je výsledkom využitia progresívnych technológií ako je plazmatická úprava, nanotechnológie a inteligentné technológie. Technické riešenie projektu prebiehalo v súlade s vecným zámerom projektu a predpokladalo naplnenie troch základných cieľov:

Cieľ č.1 - Výskum aplikácie povrchových nanoúprav s využitím antimikrobiálneho nanosólu na plazmou iniciovaný povrch textilného materiálu a príprava základného textilného materiálu so zvýšenou hygienou, použitého v konštrukcii matracového toppera „EKG-SmartSheet“: V rámci riešenia projektu boli stanovené technologické podmienky aplikácie povrchovej nanoúpravy s využitím antimikrobiálneho nanosólu AMB-9 s koncentráciou 15 ppm Ag+ na nízkoteplotnou plazmou, za atmosférického tlaku, iniciovaný povrch poťahovej textílie zo 100% polyesteru. Permanentnosť antibakteriálnej nanoúpravy bola potvrdená po 15 cykloch údržby stanovením permanentnej bakteriostatickej účinnosti podľa normy AATCC TM 100 na úrovni cca 20 % redukcie počtu baktérií *Staphylococcus aureus*. Z poťahovej textílie bol pripravený ochranný snímateľný poťah použitý v konštrukcii finálneho prototypu matracového toppera „EKG-SmartSheet“. Výsledky antibakteriálnej účinnosti garantujú permanentné hygienické vlastnosti a zdravotnú nezávadnosť podľa predpisov medzinárodného združenia OEKO-TEX® prototypov inteligentných matracových topperov „EKG SmartSheet“ pri dodržaní odporúčaných symbolov údržby (min. 15 cykloch) počas dlhodobého užívania toppera. Cieľ bol splnený.

Cieľ č.2 - Modelové riešenie snímacieho systému, so zabudovanými aktívnymi textilnými kapacitnými EKG elektródami, senzormi na zistenie prítomnosti a polohy ležiacej osoby, elektrickými obvodmi, riadiacou jednotkou a komunikačnou jednotkou s komunikačným rozhraním, integrovaného do konštrukcie matracového toppera „EKG-SmartSheet“: Optimalizáciou riešenia snímacieho systému na meranie elektrickej aktivity srdca generovanej telom človeka boli pripravené funkčné prototypy lineárne prepojených odnímateľných aktívnych EKG kapacitných elektród, referenčnej aktívnej odnímateľnej EKG kapacitnej textilnej elektródy a pasívnej DRL elektródy. Riešenie v oblasti snímacieho systému na detekciu prítomnosti a polohy pacienta na lôžku prebiehalo súbežne technológiou našívania tlakových kapacitných senzorov (Variant A) a technológiou vyšívania tlakových odporových senzorov (Variant B). Overený bol spôsob zobrazenia výsledkov merania kapacity pomocou farebnej mapy a pre zobrazovanie stavu tlakových senzorov bola vytvorená webová aplikácia. Realizovaná bola výroba dosiek plošných spojov riadiaco-komunikačnej jednotky s modulom pre snímanie EKG, jednotky pre snímanie kapacity, zbernice na prepojenie riadiaco-komunikačno-snímacej jednotky s topperom zbernicová jednotka a prípravky na prepojenie kapacitných senzorov prepojujúcich jednotiek a zbernicovej jednotky. Potvrdené bolo prepojenie funkčných prvkov matracového toppera, komunikačného reťazca, modulárneho softvéru a prototypovej mobilnej aplikácie pre analýzu, vyhodnotenie, zobrazenie a archiváciu nasnímaných signálov. Vytvorený bol hardvérový a softvérový modul na meranie odporu vyvinutých tlakových senzorov. Cieľ bol splnený.

Cieľ č.3 - Konštrukčné riešenie a príprava prototypu inteligentného matracového toppera „EKG-SmartSheet“ so zvýšenými hygienickými vlastnosťami, určeného pre monitoring biomedicínskych dát človeka v reálnom čase: Pripravené boli 2 varianty finálnych prototypov inteligentného matracového toppera EKG-SmartSheet“ so zvýšenými hygienickými vlastnosťami, určeného pre monitoring biomedicínskych dát človeka v reálnom čase: Variant A: Matracový topper s odnímateľnými textilnými kapacitnými EKG elektródami a našívanými textilnými kapacitnými tlakovými senzormi. Prototyp umožňuje meranie elektrickej aktivity srdca v reálnom čase a taktiež monitoruje polohu resp. prítomnosť pacienta na lôžku pomocou matice textilných senzorov pracujúcich na kapacitnom princípe. Funkčnosť prototypu inteligentného matracového toppera bola potvrdená pomocou patientskych simulátorov a aj za pomoci reálnych osôb. Výsledkom je jasne viditeľný

priebeh EKG signálu nameraný bezkontaktným spôsobom vhodný pre ďalšiu analýzu a grafické zobrazenie prítomnosti pacienta na lôžku, ktorý potvrdil funkčnosť prototypu matracového toppera Variant A.

Variant B: Matracový topper s odnímateľnými textilnými kapacitnými EKG elektródami a vyšivanými textilnými odporovými tlakovými senzormi. Snímacia časť poťahu jadra matracového toppera je založená na vyšivaných odporových tlakových senzoch. Funkčnosť prototypového riešenia bola potvrdená inteligentným systémom detekcie a klasifikácie polohy ležiaceho človeka pomocou neurónovej siete. Vytvorená automatická aplikácia pre ukladanie nameraných anotovaných dát do databázy. Výsledky potvrdzujú funkčnosť vyšitých tlakových odporových senzorov snímacieho systému detekcie polohy pacienta na lôžku integrovaného do prototypu inteligentného matracového toppera – Variant B. Výstupom riešenia projektu sú aj prototypové aplikácie / zdrojové kódy: MqttTestApp, TopperApp, TopperEmulator, TopperMonitor a TopperSignalGenerator. Cieľ bol splnený. Pripravený bol návrh patentovej prihlášky „Inteligentný matracový topper „EKG-SmartSheet“ so zvýšenými hygienickými vlastnosťami, určeného pre monitoring biomedicínskych dát človeka v reálnom čase“. Výsledky výskumu boli priebežne publikované v odborných a vedeckých karentovaných, nekarentovaných, recenzovaných aj nerecenzovaných časopisoch a zborníkoch z odborných konferencií na národnej a medzinárodnej úrovni. Uvedené výsledky potvrdzujú splnenie všetkých cieľov projektu.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

The main result of the project is two prototypes of intelligent mattress topper “ECG-SmartSheet” with increased hygiene properties (Variant A, Variant B), designed for real-time monitoring of human biomedical data. Intelligent mattress topper “ECG-SmartSheet” is the result of the use of advanced technologies such as plasma modification, nanotechnology and smart technologies. The technical solution of the project was carried out in accordance with the objective of the project and envisaged three basic objectives:

Goal No.1: Research of application of antimicrobial nanosol on plasma initiated textile surfaces and development of basic textile material with improved hygiene, used in construction of the mattress topper „ECG-SmartSheet“. As part of the project solution, the technological conditions of application of surface nanotreatment using antimicrobial nanosole AMB-9 with a concentration of 15 ppm Ag+ on plasma-initiated coating fabric made of 100 % polyester were established. The permanentity of the antibacterial nanotreatment was confirmed after 15 maintenance cycles, establishing permanent bacteriostatic efficacy according to AATCC TM 100 at a level of 20 % reduction in Staphylococcus aureus count. Protective removable coating was prepared from the treated fabric, used in the construction of the final prototype mattress topper “ ECG-SmartSheet ”. The results of antibacterial efficiency guarantee permanent hygiene properties and health innocence of prototype intelligent mattress topper “ ECG-SmartSheet”, according to international regulations OEKO-TEX®. The durability of antibacterial efficacy was also demonstrated after 15 maintenance cycles. The goal has been met.

Goal No.2: Model solution of sensing system with incorporated active textile capacitive ECG electrodes, sensors for detection of presence of a laying person, electrical circuits circuits, control unit and communication unit with communication interface, integrated into construction of the mattress topper „ECG-SmartSheet“. By optimising the solution of the scanning system to measure the electrical activity of the heart generated by the human body, functional prototypes connected linearly were prepared removable active ECG capacitive electrodes, reference active removable ECG capacity textile electrode and passive DRL electrode. In the area of the scanning system to detect the presence and position of the patient on the bed, it has been run concurrently with the technology of suture capacity sensors (Variant A) and embroidery technology pressure resistance sensors (Variant B). The method of displaying the results of capacity measurement using a color map was verified. For displaying the state of pressure sensors a web application has been created.

The production of printed circuit boards of the control-communication unit with the module for ECG sensing, units for capacity sensing, bus for connecting the control-communication-sensing unit with the topper, bus unit and jigs for connecting capacitive sensors, connection units and bus unit was realized. The connection of functional elements of the mattress

topper, communication chain, modular software and prototype mobile application for analysis, evaluation, display and archiving of scanned signals was confirmed. A hardware and software module was created to measure resistance of developed pressure sensors. The goal has been met.

Goal No.3: Design concept and development of prototype of the smart mattress topper „ECG-SmartSheet“ with improved hygienic properties designed for monitoring of human biomedical data in real time. 2 variants of the final prototypes of the intelligent mattress topper ECG-SmartSheet were prepared with increased hygiene properties designed for real-time monitoring of human biomedical data:

Variant A: Mattress topper with removable textile capacity ECG electrodes and stitched textile capacity pressure sensors. Prototype allows measurement electrical activity of the heart in real time and also monitors the position or presence of the patient on the bed using a matrix of textile sensors working on capacity principle. The functionality of the prototype of the smart mattress topper was confirmed by patient simulators and also with the help of real persons. The result is a clearly visible process of the ECG signal measured in a contactless way suitable for further analysis and graphical representation of the patient's presence on the bed, which confirmed the functionality of the prototype mattress Variant A.

Variant B: Mattress topper with removable textile capacity ECG electrodes and embroidered textile resistance pressure sensors. Core cover sensing part the mattress topper is based on embroidered resistance pressure sensors. The functionality of the prototype solution was confirmed by an intelligent system for detecting and classifying of the position of the laying person by a neuron network. Created automatic application for storing measured annotated data into a database. The results confirm the functionality of the high pressure resistance sensors of the scanning system to detect the position of the patient on the bed integrated into the prototype of intelligent mattress topper – Variant B. The project solution output is also prototype applications / source codes: MqttTestApp, TopperApp, TopperEmulator, TopperMonitor and TopperSignalGenerator. The goal has been met.

A proposal for a patent application was prepared for "Intelligent mattress topper "ECG-SmartSheet" with increased hygiene properties, designed for real-time monitoring of human biomedical data. The results of the research have been continuously published in professional and scientific peer-reviewed, peer-reviewed and unreviewed journals and proceedings from professional conferences at national and international level.

The above results confirm the fulfilment of all project objectives.