

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A INFORMAČNÝCH TECHNOLOGÍÍ

INTERNÉ VÝSKUMNÉ STÁŽE

ZOZNAM PROJEKTOV 2025



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Fakulta elektrotechniky
a informačných technológií

OBSAH

Obsah	iii
Predslov	v
1 Katedra elektroenergetiky a elektrických pohonov	1-1
1.1 Syntéza nástrojov pre analýzu možností aktívnej účasti prosumera na dennom a vnútrodennom trhu s elektrinou.....	1-2
1.2 Návrh multifázového meniča pre riadenie deväťfázových motorov.....	1-4
1.3 Inovácia sústrojenstva synchronného stroja a Schrage motora vo funkcii regulovaného zdroja s opciou diaľkového ovládania v laboratóriu elektrických strojov	1-6
2 Katedra fyziky	2-1
2.1 Nanokompozitné dielektrické systémy a moderné trendy v ich diagnostike.....	2-2
2.2 Simulation and measurement of optical properties of chiral polymer plasmonic structures.....	2-4
2.3 Vplyv elektrických výbojov na kompozitné polyuretány	2-7
3 Katedra mechatroniky a elektroniky	3-1
3.1 Merací prípravok pre test dvojitým impulzom	3-2
3.2 Realizácia prúdového hysterézného regulátora	3-4
3.3 Aparatúra pre meranie vplyvu impulzného napájania procesu elektrolýzy.....	3-5
4 Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií.....	4-1
4.1 Detekcia interferencie GPS signálov	4-2
4.2 Výskum zmien hlasu vplyvom starnutia pre robustnú hlasovú biometriu	4-4
4.3 Fotonické integrované zariadenia na báze nitridu kremíka pre multi-pásmový polarizačný manažment na čipe.....	4-6
4.4 Inverzný návrh mriežkových väzobných členov.....	4-8
4.5 Dáta a komunikácia pre podporu autonómnej mobility	4-10
4.6 Vysvetliteľnosť modelov AI pre správanie sa človeka.....	4-13
4.7 Rekonštrukcia mračna bodov z CT angiografie.....	4-15
4.8 Výskum a vývoj v oblasti kybernetickej bezpečnosti informačných systémov	4-17
4.9 ML agenti v doprave – Zilina livelabs	4-19
4.10 Predikcia QoS v 5G sieti pomocou strojového učenia	4-21
5 Katedra riadiacich a informačných systémov	5-1
5.1 Dáta pre digitálne dvojča.....	5-2
5.2 Digitálne dvojča mesta	5-5
5.3 Bezpečné spracovanie obrazu.....	5-8
6 Katedra teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžierstva.....	6-1
6.1 Návrh a realizácia experimentálnych meraní simulujúcich jazdu v automobile za účelom analýzy únavy vodiča	6-2
6.2 Klasifikácia alergických odpovedí na základe perfúzných parametrov.....	6-6

6.3	Klasifikácia zdravých a diabetes mellitus chodidiel na základe perfúzných vzorov z fotopletyzmozografického zobrazovania	6-10
-----	--	------

PREDSLOV

Dynamický rozvoj vedy a technológií si vyžaduje nielen kontinuálne inovácie, ale aj odborníkov, ktorí sú schopní aktívne sa zapojiť do riešenia súčasných výskumných výziev. V dnešnej dobe už nestačí len pasívne prijímať poznatky – skutočný posun v rozvoji nastáva vtedy, keď študenti získajú možnosť pôsobiť na mieste, kde sa teoretické vedomosti prepájajú a aplikujú priamo v praxi. Práve tam majú priestor rozvíjať svoje kritické myslenie, pracovať s modernými technológiami a vlastným prínosom sa podieľať na tvorbe nových riešení a konceptov.

Fakulta elektrotechniky a informačných technológií Žilinskej univerzity v Žiline si uvedomuje dôležitosť prepojenia existujúceho vzdelávacieho procesu s aktívnou participáciou študentov na vedecko-výskumných projektoch svojich pedagógov a ich pracovísk. Z tohto dôvodu fakulta obnovila a systematicky rozšírila systém tzv. „*pomocných vedeckých síl*“ – teda fakultnej platformy, v rámci ktorej sú študenti platení za svoju prácu pre potreby univerzitného pracoviska. Naša fakulta ponúka študentom možnosť stať sa súčasťou aktuálneho výskumu už počas ich inžinierskeho štúdia, a to prostredníctvom programu interných výskumných stáží – *FEIT INTERNSHIPS*. Tento program bol vytvorený s cieľom poskytnúť talentovaným a ambicióznym študentom priestor na rozvoj, experimentovanie a vlastnú prácu s najmodernejšími technológiami priamo na pracoviskách našej fakulty.

Účasť na interných výskumných stážach prináša študentom množstvo benefitov – od prehĺbovania odborných znalostí a analytického myslenia, cez získavanie praktických skúseností s reálnymi výskumnými projektmi, až po nadväzovanie cenných profesijných kontaktov. Zapojením sa do výskumných tímov získajú jedinečný pohľad na riešenie komplexných problémov a budú mať možnosť pracovať po boku skúsených akademikov a odborníkov z jednotlivých oblastí pôsobenia fakulty. Tento program im umožní lepšie pochopiť, ako funguje vedecký proces, a poskytne im silný základ pre ďalší odborný alebo profesijný rast – či už v rámci akademickej dráhy, alebo v priemyselnom sektore.

Program FEIT INTERNSHIPS nie je len príležitosťou pre šikovných študentov, ale aj silným impulzom pre rozvoj fakulty a jej odbornovo-výskumného potenciálu. Veríme, že táto iniciatíva prispeje k zvyšovaniu kvality výskumu a výučby, ako aj k možnému efektívnejšiemu prepojeniu akademického a priemyselného sektora.

Nech je tento pilotný program FEIT INTERNSHIPS odrazovým mostíkom k spoločným budúcim vedeckým a profesijným úspechom!

Ing. Daniel Benedikovič, PhD.

Prodekan pre vedu, výskum a medzinárodné vzťahy

Fakulta elektrotechniky a informačných technológií

Žilinská univerzita v Žiline

1 KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A ELEKTRICKÝCH POHONOV

1.1 Syntéza nástrojov pre analýzu možností aktívnej účasti prosumera na dennom a vnútrodenom trhu s elektrinou

Výskumný tím: Elektroenergetika

Oblasť výskumu: Využívanie obnoviteľných zdrojov energie a batériových systémov pre poskytovanie energetických služieb a optimalizáciu vlastnej spotreby

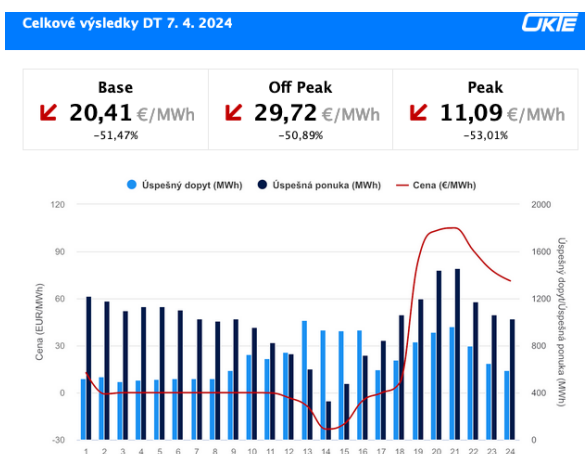
Kontaktná osoba (školiť): prof. Ing. Peter Bracíník, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2150	peter.bracinik@uniza.sk	keep.feit.uniza.sk

Syntéza nástrojov pre analýzu možností aktívnej účasti prosumera na dennom a vnútrodenom trhu s elektrinou

Opis projektu:

V súčasnosti neustále rastie požiadavka na dekarbonizáciu Európy [1], čo sa prejavuje už niekoľko rokov masívnym zavádzaním a implementáciou obnoviteľných zdrojov energie (OZE). Medzi rôznymi technológiami OZE sú v rámci interkontinentálnej Európy a Slovenska preferované predovšetkým fotovoltaické elektrárne (FVE). Ich zavádzanie bolo v minulosti až umelo dotované zo strany štátu, čo prispelo k nezdravej situácii na trhu s elektrinou. Prejavuje sa to najmä tým, že počas letných mesiacov, ale nielen cez ne, sa na dennom [2] a vnútrodenom [3] trhu s elektrinou objavujú záporné ceny elektriny (obr. 1), ktoré sú dôsledkom nekontrolovanej výroby elektriny predovšetkým vo fotovoltaických elektrárnach.



Obr. 1. Ukážka priebehu zápornej ceny pre denný trh

K neštandardnej situácii taktiež prispieva skutočnosť, že výstupný výkon z fotovoltaických elektrární má premenlivý charakter. Obe uvedené skutočnosti prispeli k tomu, že prevádzkovatelia distribučných sústav sa čiastočne bránia inštalácii takýchto typov zdrojov do sústavy, pretože im spôsobujú problémy pri dodržiavaní kvalitatívnych a technických aspektov dodávky elektriny pre odberateľov vyžadovaných legislatívou.

Na strane druhej, situácia s vysokou cenou za elektrinu, ktorá tvorí podstatnú časť vstupných nákladov firiem a domácností, vytvára priestor pre rozumné využívanie FVE pre znižovanie vlastnej spotreby, a tým aj vstupných nákladov. Aby však bolo využívanie FVE nákladovo efektívne, je potrebné zväziť, či pre daného prosumera (výrobca a zároveň spotrebiteľ elektriny) nie je vhodné využívať aj iné energetické služby. Z technologického, legislatívneho a aj praktického hľadiska sa javí ako vhodná možnosť participácia na dennom (DT) a vnútrodenom trhu s elektrinou (VDT).

Ciele projektu:

V rámci výskumno-vývojových aktivít nášho výskumného tímu prebieha vývoj nástrojov, ktorých cieľom je analyzovať vybrané typy informácií, dáť a podkladov a na ich znalosti predpovedať lokálnu výrobu a spotrebu prosumera. Táto znalosť sa následne využíva pre aktívne znižovanie či optimalizáciu vlastnej spotreby prosumera, s cieľom umožniť jeho aktívnu a hlavne finančne úspešnú účasť na dennom a vnútrodenom trhu s elektrinou. Uvedené nástroje sú však zatiaľ vyvíjané

jednotlivo na rôznych typoch dát bez vzájomnej hlbšej interakcie. Preto je cieľom predkladaného projektu vyvinúť aplikáciu, ktorá by umožnila spojiť zdroje dát a zastrešiť jednotlivé analytické nástroje do jedného celku, ktorý umožní lepšiu (grafickú) interpretáciu dosahovaných výsledkov. To poskytne členom výskumného tímu lepšiu spätnú väzbu pri vývoji čiastkových analytických a predikčných nástrojov. Výstupy výskumnej stáže budú použité pri aktuálnom výskume pre priemyselného partnera.

Metodológia projektu:

Od študenta sa očakáva, že počas stáže sa bude venovať nasledovným oblastiam:

- analýza prístupu k dostupným dátam popisujúcich výsledky DT a VDT,
- návrh a realizácia získavania týchto dát prostredníctvom dostupných API rozhraní OKTE,
- analýza prístupu k verejne dostupným dátam popisujúcich vybrané parametre počasia pre definovanú lokalitu prosumera,
- návrh a realizácia monitoringu i predikcie výstupného výkonu FVE prosumera pre zadaný časový horizont,
- získanie meraných dát o spotrebe prosumera a ich spracovanie do časovej rady,
- zobrazenie uvedených dát do rôznych grafov pre zvolené časové obdobie a identifikácia potencionálnych príležitostí pre úspešné pôsobenie prosumera na DT a VDT.

Všetky uvedené činnosti budú spracovávané do grafickej aplikácie vytvorenej v jazyku Python.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- znalosť elektroenergetiky,
- znalosť jazyka Python a práce s balíčkami,
- skúsenosť so spracovaním dát popisujúcich odberový diagram odberateľa elektriny,
- kreativita, samostatnosť a odhodlanie učiť sa nové veci.

Financovanie:

Neuvedené

Referencie:

[1] The European Green Deal, dostupné online: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

[2] Celkové výsledky DT, dostupné online: <https://okte.sk/sk/kratkodoby-trh/zverejnenie-udajov-dt/celkove-vysledky-dt/>

[3] Celkové výsledky VDT, dostupné online: <https://okte.sk/sk/kratkodoby-trh/zverejnenie-udajov-vdt/celkove-vysledky-vdt/>

1.2 Návrh multifázového meniča pre riadenie deväťfázových motorov

Výskumný tím: Elektrické pohony a elektrická trakcia

Oblasť výskumu: Výkonová elektronika pre elektrické pohony

Kontaktná osoba (školiť): Ing. Vladimír Vavrúš, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2167	vladimir.vavrus@uniza.sk	keep.uniza.sk

Návrh multifázového meniča pre riadenie deväťfázových motorov

Opis projektu:

Projekt sa zameriava na vývoj a návrh **multifázového meniča** schopného riadiť **až deväťfázové motory**. Tieto typy motorov nachádzajú uplatnenie v aplikáciách s vysokými nárokmi na spoľahlivosť a plynulosť riadenia, ako sú **elektrické vozidlá, letecké systémy a priemyselné pohony**.

Hlavnou úlohou študenta bude:

- Návrh a realizácia plošných spojov (PCB) pre výkonovú a riadiacu časť meniča
- Optimalizácia rozloženia súčiastok a minimalizácia elektromagnetického rušenia (EMI)
- Príprava dokumentácie pre výrobu PCB a výkonového meniča

Projekt ponúka možnosť získať praktické skúsenosti v **elektronike, výkonovej elektronike** a je vhodný pre študentov so záujmom o návrh hardvéru a simulácie výkonových systémov.

Ciele projektu:

Vyvinúť a optimalizovať **multifázový menič** na riadenie **až deväťfázových motorov**, vrátane návrhu hardvéru a prípravy výroby prototypu.

Konkrétne ciele:

1 Návrh výkonovej a riadiacej časti meniča

- Výber vhodnej topológie meniča
- Výber polovodičových spínacích prvkov (MOSFET, IGBT, SiC, GaN)
- Implementácia riadiacej logiky pre multifázové riadenie

2 Návrh a výroba plošných spojov (PCB)

- Návrh **viacvrstvového PCB** s dôrazom na **EMI minimalizáciu**
- Výber komponentov a optimalizácia rozloženia
- Príprava podkladov pre výrobu a osadenie PCB

3 Dokumentácia a prezentácia výsledkov

- Spracovanie technickej dokumentácie
- Prezentácia riešenia na seminároch alebo konferenciách

Metodológia projektu:

Projekt bude realizovaný v **niekoľkých fázach**, pričom každá fáza bude zahŕňať špecifické kroky vedúce k vývoju funkčného prototypu meniča.

1. Analýza požiadaviek a výber riešenia

- Definovanie **parametrov systému** (napájacie napätie, maximálny prúd, spínacia frekvencia)
- Výber **vhodných výkonových polovodičových prvkov (MOSFET, IGBT, SiC, GaN tranzistory)**
- Návrh **riadiacej stratégie** pre multifázové riadenie

2. Návrh plošných spojov (PCB)

- Návrh **viacvrstvého PCB** v softvéri (Altium Designer, KiCad, Eagle)
- Implementácia **nízkoindukčných spojov** na minimalizáciu elektromagnetického rušenia (EMI)
- Výber **napájacích a ochranných obvodov** (ochrana proti prepätiu, nadprúdu)

3. Dokumentácia a prezentácia výsledkov

- Príprava podkladov pre výrobu a osadenie PCB
- Prezentácia výsledkov na seminároch, konferenciách alebo študentských súťažiach

Požadované kvality/znalosti študenta:

Študent by mal mať kombináciu teoretických a praktických znalostí v oblastiach výkonovej elektroniky, simulácie obvodov, návrhu PCB a riadenia motorov. Okrem technických zručností sa od neho očakáva aj schopnosť samostatného riešenia problémov a komunikácie výsledkov prostredníctvom dokumentácie a prezentácií. Vyžaduje sa znalosť:

- **Návrh PCB v Altium Designer, KiCad, alebo Eagle** – Schopnosť navrhnuť **viacvrstvé plošné spoje** pre výkonové a riadiace obvody.
- **Výber a umiestnenie komponentov** – Znalosť techník pre optimálne rozloženie komponentov na plošnom spoji s ohľadom na výkon, chladenie a spoľahlivosť.

Financovanie:

Neuvedené

Referencie:

1.3 Inovácia sústrojenstva synchrónneho stroja a Schrage motora vo funkcii regulovaného zdroja s opciou diaľkového ovládania v laboratóriu elektrických strojov

Výskumný tím: Elektrické pohony a elektrická trakcia

Oblasť výskumu: Algoritmy riadenia a estimácie veličín troj a viacfázových strojov

Kontaktná osoba (školiteľ): prof. Ing. Pavol Rafajdus, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2158	pavol.rafajdus@uniza.sk	keep.uniza.sk

Inovácia sústrojenstva synchrónneho stroja a Schrage motora vo funkcii regulovaného zdroja s opciou diaľkového ovládania v laboratóriu elektrických strojov

Opis projektu:

V laboratóriu elektrických strojov na Katedre elektroenergetiky a elektrických pohonov sa okrem výučby realizuje aj výskum a vývoj zameraný na elektrické stroje a elektrické pohony. Laboratórium v nedávnom období prešlo čiastočnou modernizáciou, v rámci ktorej pribudli do laboratória moderné meracie prístroje a dynamometre. Avšak získané financie neboli dostačujúce, aby bola vykonaná komplexná modernizácia a niektoré existujúce zariadenia, konkrétne zdroje striedavého napätia, majú nevyhovujúce prevádzkové parametre pre realizáciu aktuálnych výskumných úloh.

Snahou je, aby bolo v laboratóriu elektrických strojov možné realizovať výskumné úlohy ktoré sú zamerané na regulačné algoritmy a overovanie rôznych typov riadenia, skúmanie účinnosti pri rôznych pracovných bodoch pri prevádzke generátora a motora, alebo výskum v oblasti batériových úložísk v spojení so zdrojom ako stabilizačným prvkom. Aby bol realizovaný výskum relevantný, musí merací reťazec (napájací zdroj, meracie prístroje a merané zariadenie) obsahovať také prístroje, ktoré svojimi parametrami nebudú negatívne vplývať na metodiku merania a vnášať nepresnosti do vykonávaných meraní. Z uvedeného vyplýva, že laboratórium musí byť vybavené zdrojom striedavého napätia, ktorý bude disponovať jemnou reguláciou výstupného napätia, možnosťou zmeny frekvencie výstupného napätia, možnosťou zmeny účinníka. Nevyhnutná je spätná väzba meraných veličín (U , I , f) a diaľkového ovládania uvedeného zdroja. Dôležitým faktorom kvality striedavého zdroja je čo najmenšie harmonické skreslenie výstupného napätia.

Možným riešením pri dodržaní požadovaných výstupných parametrov a nízkeho THD s možnosťou diaľkového ovládania je inovácia existujúceho sústrojenstva synchrónneho stroja a Schrage motora, ktoré sa v laboratóriu elektrických strojov nachádza. Základom predkladaného projektu je preto spojenie synchrónneho stroja a Schrage motora do jedného regulovaného zdroja. Sústrojenstvo pozostáva z dvoch základných častí. Prvou je synchrónny stroj, ktorý možno využiť ako generátor s možnosťou presnej regulácie výstupného napätia a frekvencie. Druhá časť predstavuje Schrage motor, špeciálny typ asynchrónneho stroja schopného plynulej regulácie otáčok bez potreby meniča frekvencie. Vďaka pohyblivým vinutiám v rotorovej časti dokáže Schrage motor prispôbovať svoje prevádzkové otáčky v širokom rozsahu, čo umožňuje riadiť predovšetkým frekvenciu výstupného napätia synchrónneho stroja. Spojením oboch strojov sa teda vytvára zdroj, ktorý dokáže produkovať energiu s požadovanými elektrickými veličinami.

Kľúčovou časťou inovácie existujúceho sústrojenstva je integrácia meracieho a riadiaceho systému, ktorý umožní kontinuálne merať a regulovať veličiny, ako je budiaci prúd, výstupné napätie či frekvenciu. Hardvérová časť riadiaceho a meracieho systému tvorená programovateľným riadiacim automatom (PLC), spolu s vytvoreným softvérom, bude riadiť prevádzkové stavy synchrónneho stroja a Schrage motora. Pri svojej činnosti PLC automat nepretržite meria pomocou snímačov požadované veličiny a v reálnom čase upravuje nastavenia otáčok, výstupného napätia, alebo iných regulačných parametrov, napríklad na základe zmeny zaťaženia, prípadne signálov od obsluhy. Takýmto spôsobom riadenia je možné dosiahnuť presné požadované výstupné veličiny a efektívne využiť dostupný výkon.

Prehľadný a užívateľsky prívetivý prístup k ovládaniu navrhovaného systému sa dosiahne použitím tzv. HMI (Human-Machine Interface) a to vo forme dotykového panela, alebo obrazovky a klávesnice s touchpadom. Prostredníctvom HMI môže obsluha sledovať všetky prevádzkové veličiny a stavy. Vyvinutá aplikácia pre HMI zobrazí grafické rozhranie so schematickým znázornením sústrojenstva

a umožní obsluhu vykonávať zmeny v konfigurácii bez zásahov do hardvérovej časti systému. Cez intuitívne vytvorené dotykové ovládanie je možné nastavovať napríklad otáčky, úroveň záťaže či rôzne ochranné limity, pričom všetky zmeny je možné vykonávať aj počas behu systému.

Celý systém je rozšírený o funkciu diaľkového ovládania. Takto je možné riadiť, monitorovať a upravovať prevádzkové parametre počas vedeckých experimentov prostredníctvom komunikačného rozhrania, konkrétne ProfiNet-u. Pripojenie riadiaceho PLC v kombinácii s HMI do komunikačnej siete umožní zdieľanie nameraných dát na rôzne miesta a súčasne aj zadávanie riadiacich signálov z týchto miest. Ovládanie navrhovaného zdroja pri meraniach bez fyzickej prítomnosti v laboratóriu prispeje k zvýšeniu flexibility prevádzky meracích stanovišť. Z pohľadu bezpečnosti prevádzky zariadenia, môže obslužný personál zasiahnuť do systému v prípade akejkoľvek anomálie, upraviť regulačné algoritmy, alebo okamžite reagovať na neštandardné správanie stroja.

Významným prínosom navrhovanej inovácie z dôvodu využitia PLC v danom systéme je možnosť pomocou vytvoreného softvéru zbierať a spracovávať dáta spolu s ich archiváciou. Vďaka tomu sa môžu identifikovať možné príčiny porúch, alebo optimalizovať energetickú bilanciu.

Uvedené postupy vedú k inovácii sústrojenstva, ktoré bude schopné spoľahlivo generovať elektrickú energiu s plynulo regulovateľnými parametrami, spolu s vysokou mierou automatizácie, požadovanou bezpečnosťou a používateľským komfortom. Integrácia PLC s HMI prispeje k intuitívnemu ovládaniu, monitoringu, čím sa zvýši efektívnosť aj spoľahlivosť prevádzky. Získané prevádzkové údaje môžu v budúcnosti slúžiť nielen na zlepšovanie samotného zariadenia, ale aj na ďalší výskum a analytické účely, čím sa otvára priestor pre neustále napredovanie v oblasti elektrických strojov a regulovaných zdrojov.

Ciele projektu:

Primárny cieľ tohto projektu, ktorý je možné zaradiť do aplikovaného výskumu, je vytvoriť moderný zdroj striedavého napätia z existujúceho sústrojenstva synchronného stroja a Schrage motora s plynule meniteľnými parametrami, so zreteľom na bezpečnosť jeho prevádzky spolu s vysokou mierou ovládateľnosti a to lokálne aj diaľkovo.

Samotný projekt na základe primárneho cieľa je možné rozdeliť na nasledujúce čiastkové ciele:

- Zlepšenie regulačných možností v sebe zahŕňa návrh riadiacich obvodov a algoritmov, výber hardvéru, ktorými sa dosiahne plynulá zmena výstupného napätia, frekvencie a v prípade potreby aj zmena účinníka.
- Implementácia snímačov pre potrebu merania kľúčových veličín (výstupné napätie, frekvencia výstupného napätia, výstupný prúd, budiaci prúd).
- Implementácia programovateľného riadiaceho automatu (PLC) a vývoj softvérovej nadstavby pre tento automat z dôvodu dosiahnutia požadovanej funkcionality.
- Rozšírenie PLC o ovládacie príslušenstvo (HMI), ktoré umožní okrem zobrazenia meraných veličín a prevádzkových stavov zariadenie ovládať a nastavovať. Tento čiastkový cieľ v sebe zahŕňa aj vývoj grafického rozhrania – intuitívnej aplikácie pre HMI.
- Inštalácia hardvérovej časti komunikačného rozhrania s jej softvérovým nastavením na dosiahnutie diaľkového prístupu a online monitoringu.
- Dodržanie technických noriem, ktoré definujú bezpečnú prevádzku zariadenia.
- Navrhnuť tento zdroj ako otvorený systém, ktorý dovolí vykonávať zmeny na zariadení podľa požiadaviek nových výskumných a experimentálnych aktivít.

Metodológia projektu:

Metodológia realizácie projektu:

1. Špecifikácia požiadaviek a vstupná analýza:
 - analýza aktuálneho mechanického a elektrického stavu existujúceho sústrojenstva synchronného stroja a Schrage motora,
 - definovanie limitných podmienok pre činnosti z pohľadu výkonových parametrov a meraných veličín.
2. Návrh koncepcie:
 - blokovými schémami definované elektrické zapojenie silovej, riadiacej, meracej a komunikačnej časti sústrojenstva,
 - špecifikácia hardvérových komponentov riadiaceho a meracieho systému,
 - definovanie požiadaviek pre vývoj softvérových nadstavieb pre riadiaci systém, merací systém, komunikačné rozhranie.
3. Tvorba technickej dokumentácie:
 - vytvorenie elektroinštalačných schém potrebných pre zapojenie elektrických komponentov,
 - tvorba technických výkresov pre nutné mechanické úpravy.

4. Implementácia riadiaceho, meracieho systému a komunikačného rozhrania:
 - inštalácia a prevedenie fyzického zapojenia jednotlivých častí riadiaceho, meracieho systému a komunikačného rozhrania,
 - vytvorenie softvérovej nadstavby pre PLC
 - sieťové nastavenia.
5. Implementácia HMI:
 - fyzická inštalácia vybraného zobrazovacieho zariadenia a spojenie s riadiacim systémom pomocou komunikačného rozhrania,
 - vývoj grafického rozhrania ako aplikácie pre HMI.
6. Integračné testy, ladenie:
 - testovanie zariadenia z hľadiska zadaných požiadaviek a bezpečnej prevádzky zariadenia,
 - ladenie nastavení pre požadované výstupné veličiny,
 - kontrola funkčnosti diaľkového ovládania a online monitoringu.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosti z oblasti elektrických strojov
- Znalosti z oblasti elektrických pohonov
- Znalosti z oblasti priemyselnej automatizácie a vizualizácie

Financovanie:

Neuvedené

Referencie:

- [1] J. PYRHÖNEN, T. JOKINEN a V. HRABOVCOVÁ, Design of Rotating Electrical Machines, 2nd ed., Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley&Sons Ltd., 2014.
- [2] V. HRABOVCOVÁ, P. RAFAJDUS a P. MAKYŠ, Analýza elektrických strojov, Žilina: EDIS-vydavateľské centrum ŽU, Žilinská univerzita v Žiline, 2017.
- [3] V. HRABOVCOVÁ a P. RAFAJDUS, Elektrické stroje. Teória a príklady, 2. ed., Žilina: EDIS-vydavateľstvo ŽU, Žilinská univerzita v Žiline, 2015.
- [4] V. HRABOVCOVÁ, P. RAFAJDUS, M. FRANKO a P. HUDÁK, Meranie a modelovanie elektrických strojov, 3. ed., Žilina: EDIS vydavateľstvo ŽU, Žilinská univerzita, 2014.
- [5] https://cache.industry.siemens.com/dl/files/542/40263542/att_829827/v1/GS_STEP7Bas105enUS.pdf

2 KATEDRA FYZIKY

2.1 Nanokompozitné dielektrické systémy a moderné trendy v ich diagnostike

Výskumný tím: Oddelenie akustiky a materiálov

Oblasť výskumu: Elektrotechnika a elektroenergetika

Kontaktná osoba (školiteľ): Ing. Štefan Hardoň, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2334	stefan.hardon@uniza.sk	

Nanokompozitné dielektrické systémy a moderné trendy v ich diagnostike

Opis projektu:

Polyuretány - polyesterimidové a polyuretánové živice (PUR) predstavujú technicky významnú skupinu polymérov so širokým spektrom použitia. Ich základnou výhodou je, že vďaka prijateľnej cene je možné jednoduchými zmenami ich zloženia dosiahnuť širokú škálu vlastností a parametrov, pričom samotná polymerizačná reakcia zvyčajne prebieha pri izbovej teplote. Na druhej strane určitou nevýhodou je potreba vylúčenia vlhkosti, v procese ich vytvrdzovania, a skutočnosť, že PUR nemajú takú stabilitu pri vysokých teplotách ako napr. silikóny, epoxidy alebo zosieťované polyesterové živice. Vyššie dlhodobé prevádzkové teploty (nad 90 °C) pôsobiace na PUR majú výrazný negatívny vplyv na vlastnosti materiálu a primárne mechanické vlastnosti. Vzhľadom na tieto skutočnosti vyplýva, že tepelná stabilita je limitujúcim faktorom pre širokú škálu použitia týchto materiálov. PUR však veľmi dobre spĺňajú úlohu izolačného materiálu vďaka svojim jedinečným vlastnostiam, pričom až 70% všetkých vyrobených PUR predstavujú termosetové živice a termoplasty pre oblasť elektrotechniky v prevádzkových medziach do 80 °C.

V oblasti materiálového inžinierstva v oblasti PUR materiálov sa najnovšie trendy zameriavajú na ich dopovanie nanočasticami. Zavádzanie nanoplín do čistej PUR ukazuje niekoľko výhod oproti čistej PUR bez nanoplín. Štúdie dielektrických parametrov (permitivity ϵ_r a stratového činiteľa $\tan \delta$) PUR nanokompozitov v posledných rokoch ukázali, že zmiešanie nanočastíc (prevažne anorganických oxidov) do čistej PUR matrice výrazne zlepšuje dielektrické konštanty nanokompozitov. Nanokompozit je v tomto prípade charakterizovaný ako finálna zmes PUR a nanočastíc [1, 2].

V rámci realizácie projektu sa budú používať najnovšie a hlavne ekologickejšie typy nenасыtených polyesterimidových a polyuretánových živíc od slovenskej spoločnosti VUKI a.s., ktoré sú založené na tzv. bio-based báze (s použitím tzv. „zelených surovín“). Nový nenасыtený PUR dopovaný nanoplínami bude základom pre tzv. HQPR (High Quality Performance Resin) impregnanty s lepšou tepelnou vodivosťou, s antikorozívnymi vlastnosťami, s odolnosťou voči extrémnym vplyvom prostredia, s lepšími reologickými vlastnosťami, zvýšenou reaktivitou, čo prispeje k predĺženiu životnosti elektrických točivých a netočivých strojov a zariadení. Príprava nanokompozitného materiálu bude prebiehať v laboratórnych podmienkach osvedčenými metódami priamej disperzie. Výsledné nanokompozity v súčasnosti predstavujú ďalšie originálne produkty aj pre trh v oblasti výroby vysokokapacitných batérií na ukladanie energie z alternatívnych zdrojov, zalievanie elektronických prvkov a elektroizolačné materiály pre oblasť výroby tzv. e-car mobility.

Pri analýze vytvorených materiálov budú použité viaceré diagnostické metódy a s možnou pomocou teoretických modelov a simulácií budú popísané jednotlivé procesy, vplyv na špecifikované vlastnosti a navrhne sa najvhodnejšie zloženie nanokompozitu. Podrobne budú charakterizované dielektrické relaxačné procesy: α , β , γ – relaxácia, medzifázová polarizácia, Maxwell–Wagner–Sillars efekt a medzipolárny efekt [3]. Na základe analýz jednotlivých meraní bude popísaný vplyv nanočastíc na dané procesy a v konečnom dôsledku na zmeny priebehu komplexnej permitivity, stratového činiteľa a vodivosti či už tepelnej alebo elektrickej. Zlepšením dielektrických vlastností nanokompozitov je možnosť ich použitia pri vyššom napätí, čo prináša väčší prenesený výkon. Cieľom projektu je analyzovať dielektrické parametre pripravených nanokompozitov, ktoré budú merané v závislosti na koncentrácii nanoplín (0.5 % až 10 % celkovej hmotnosti nanokompozitu), vplyvu teploty (0 °C po +120 °C), frekvencie (10 mHz až 2 MHz) a veľkosti elektrického poľa (rádovo až 100 kV/m) pomocou viacerých diagnostických. Zo získaných experimentálnych výsledkov sa navrhne najvhodnejšie zloženie nanokompozitu.



Obrázok 1 Priemyselné využitie nanokompozitných dielektrických systémov

Ciele projektu:

- Experimentálne príprava nanokompozitných vzoriek s nanoplňivami anorganických oxidov;
- Širokopásmová dielektrická spektroskopia vytvorených vzoriek v závislosti od teploty a veľkosti privedeného napätia
- Analýza tepelnej vodivosti pripravených nanokompozitov;
- Meranie objemovej, povrchovej vodivosti pri zmene externých podmienok;
- Meranie a hodnotenie degradácie elektroizolačného materiálu;
- Využitie experimentálnych výsledkov projektu na priame aplikačné účely;
- Publikácia výsledkov výskumu na konferencii APCOM (WoS) a v impaktovanom časopise s minimálnym kvartilom Q2;

Metodológia projektu:

- Využitie metód priamej a kontinuálnej disperzie na prípravu nanokompozitných materiálov;
- Širokopásmová dielektrická spektroskopia na meranie požadovaných parametrov;
- Meranie objemovej a povrchovej rezistivity využitím trojelektrodového meracieho systému;
- Stanovenie hodnôt tepelnej vodivosti využitím tzv. metódy HOT DISK;
- Experimentálna analýza získaných výsledkov v OriginLab;

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosť širokopásmovej dielektrickej spektroskopie a práce s meracími systémami (napr. trojelektrodové meracie systémy);
- Skúsenosti so simuláciami (napr. COMSOL, MATLAB, ANSYS);
- Práca v laboratóriu (pipetovanie, váženie, miešanie vzoriek, príprava nanokompozitov);
- Ochota a schopnosť učiť sa diagnostickým postupom a platným STN normám pri meraní elektroizolačných vlastností a charakterizácii dielektrických relaxačných procesov;

Financovanie:

Materiálovo – technické zabezpečenie projektu bude financované z prostriedkov získaných z Agentúry na podporu výskumu a vývoja, číslo: APVV-21-0078, trvanie projektu od 07/2022 do 06/2026;

Referencie:

- [1] A. Banerjee, N. Bose, and A. Lahiri, "Effect of zinc oxide nanofiller on the dielectric thermal and optical properties of polypropylene," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 59, no. 1, pp. 479–485, Oct. 2023.
- [2] J. Hornak, J. Černošous, P. Prosr, P. Rous, P. Trnka, A. Baran, and Š. Harďoň, "A comprehensive study of polyurethane potting compounds doped with magnesium oxide nanoparticles," *Polymers*, vol. 15, no. 6, p. 1532, Mar. 2023.
- [3] Altafim, R.A.C.; Murakami, C.R.; Neto, S.C.; Araújo, L.C.R.; Chierice, G.O. The Effects of Fillers on Polyurethane Resin-based Electrical Insulators. *Mater. Res.* 2003, 6, 187–197.

2.2 Simulation and measurement of optical properties of chiral polymer plasmonic structures

Výskumný tím: Nanotechnológie

Oblasť výskumu: Plazmonika

Kontaktná osoba (školiťel): Mgr. Ivana Lettrichová, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2323	ivana.lettrichova@uniza.sk	n/a

Simulation and measurement of optical properties of chiral polymer plasmonic structures

Opis projektu:

Chirality is a characteristic where a mirror image of an object cannot be superimposed on the object. [1] Chiral molecules exhibit **left- and right-handedness** in the sense that they can exist as mirror images that cannot be superimposed by any rotation. About half of the drugs currently in use are chiral compounds, and about 90% of these are mixtures of two enantiomers. Although they have the same chemical structure, most isomers of chiral drugs exhibit notable differences in biological activity, such as pharmacology, toxicology, pharmacokinetics, and metabolism. [2]

Plasmonics is a field of nanophotonics that studies the optical properties of metal particles and nanostructures, which are caused by vibrations of conduction electrons relative to the crystal lattice [3]. If we combine chirality and plasmonics, we open up a unique field of study with significant potential for photonic and biomedical applications [4-5].

During the last decade, **chiral plasmonics** has emerged as a new direction of plasmonics research. The principle lies in the fact that chiral molecules interact differently with circularly polarized light, absorbing **left- (LCP) and right-handed circular polarization (RCP)** to different extents. This interaction can be enhanced by coupling chiral molecules with plasmonic nanostructures. In the Fig. 1, it can be seen the interaction of a specific chiral plasmonic structure for LCP and RCP excitation [5].

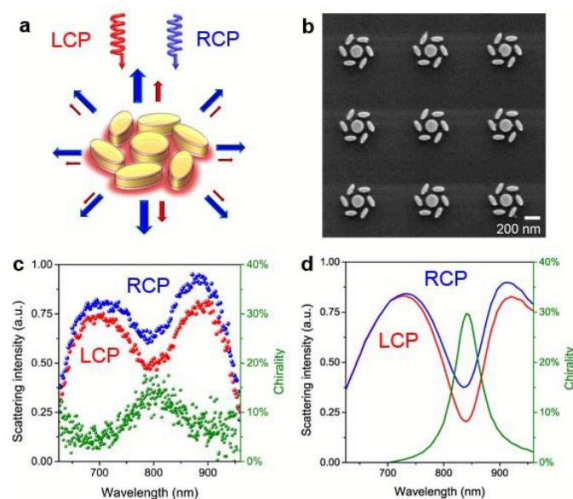


Fig. 1: a) Schematic of the chiral plasmonic structure, b) SEM image of the prepared chiral structure, c) measured and d) calculated dark-field scattering spectra for LCP (red) and RCP (blue) excitation and its corresponding optical chirality (green). [5]

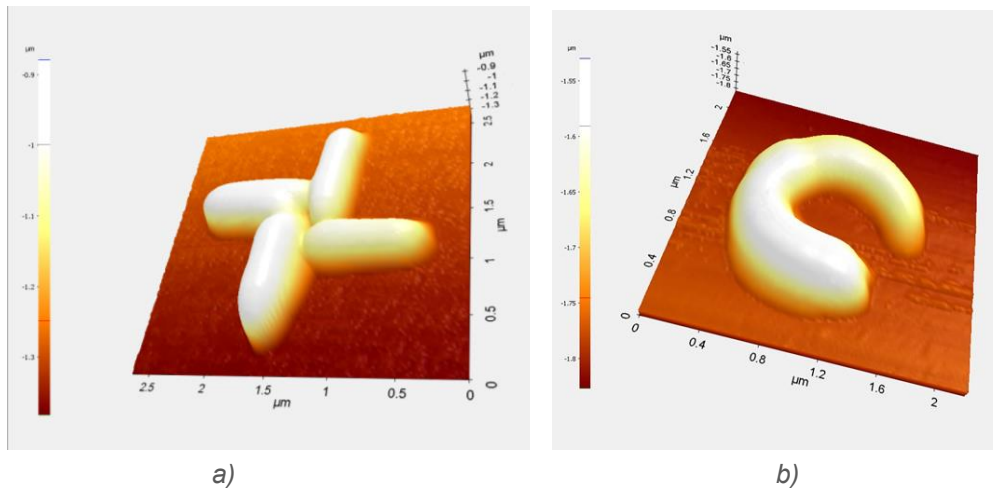


Fig. 2: AFM images of prepared chiral plasmonic structures in two different shapes: a) stepped cross and b) C- shape.

Nowadays, there is an interest in preparation of **chiral polymer plasmonic structures** in the Department of Physics, FEIT, UNIZA for its unique optical properties. Although many 3D methods have been developed for fabricating plasmonic nanostructures, most involve multiple step technologies. Very promising alternative is single-step process based on direct laser polymerization in a volume of liquid polymers. It leads to exceptional designs of great variability of 3D structures with submicrometer resolution. In combination with metal deposition, it can bring very effective plasmonic substrates. The on-going research is funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project No. 09I03-03-V04-00602 and No. 09I05-03-V02-00054.

3D polymer structures were prepared using **direct laser writing (DLW)** technique by a commercial Nanoscribe Photonic Professional GT laser lithographic system. The laser focuses into the volume of IP-Dip photoresist, where two-photon polymerization process arises in the focal spot volume with lateral resolution achieving 200 nm and vertical resolution of 600 nm. Polymer-based structures were metal-coated in the next step. As a metal, silver or gold was used. Structures were investigated by radiation characteristics (transmission, reflection, near-field scanning optical microscopy – NSOM) as well as by micro-Raman measurements. [6-7]

In the Fig. 2, there is shown atomic force microscope (AFM) images of prepared chiral polymer plasmonic structures. The structure consists of patterned IP-Dip photoresist covered by 60 nm Au layer. Two different designs were proposed: **stepped cross** shape (Fig. 2a) and **C-shaped** structure with smoothly increasing height (Fig. 2b). The preliminary results show the resonance of the structures in the infrared region app. around the wavelength of 5 μm .

The aim of the project is to simulate the interactions of prepared structures with both LCP and RCP polarisation in order to prove its chiral optical properties. This step would employ existing **simulation tools**, e.g. Ansys Lumerical FDTD. Simultaneously, the **optical measurements** of prepared plasmonic structures have to be done to show the consistency with simulated results. The radiation properties of prepared structures need to be examined by transmission and reflectance measurements, as well as by NSOM measurements.

Ciele projektu:

1. simulation of optical properties of prepared chiral polymer plasmonic structures using existing simulation tool, e.g. Ansys Lumerical FDTD
2. measurement of radiation characteristics of prepared chiral polymer plasmonic structures, e.g. transmission, reflectance, NSOM measurements
3. (optional) redesign and optimization of prepared structures

Metodológia projektu:

As a design tool for 3D polymer structures, we use standard 3D graphic tool (e. g. Blender, Rhinoceros, 3D Max). The designed structures will be patterned by 3D laser lithography using conventional Nanoscribe DLW system. The processed structures will be covered by thin gold layer (20-60 nm). For morphological characterization, atomic force microscope and scanning electron microscope will be used.

Simulation of the optical properties of prepared structures will be done by existing simulation tools, e. g. Ansys Lumerical FDTD.

The prepared structures will be measured by transmission of infrared radiation (600-2000 nm) using supercontinuum, near-infrared spectrometer and appropriate focusing and detection optics. Also, NSOM is considered for highly resolved measurement of transmitted optical field.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Theoretical knowledge in plasmonics
- Optical diagnostics handling (e. g. transmission, reflectance, NSOM measurements)
- Basics skills in simulation methods (e. g. Ansys Lumerical FDTD)
- Critical thinking, team-work, good communication skills, fluent English

Financovanie:

Funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project

- No. 09I03-03-V04-00602 - 3D polymer-based microstructures for plasmonics, 06/2026
- No. 09I05-03-V02-00054 - Grating structures for LED, laser and photonic component applications, 05/2026

Referencie:

- [1] A. A. Sapunova et al., Laser-Induced Chirality of Plasmonic Nanoparticles Embedded in Porous Matrix, *Nanomaterials* 13, 1634, 2023.
- [2] P. Y. Bruice, *Organic Chemistry* (4th Edition), Pearson Educational Books, ISBN 9780131407480.
- [3] S. A. Maier, *Plasmonics: Fundamentals and Applications*, Springer Science+Business Media LLC, New York, 2007.
- [4] L. V. Besteiro, Y. Liu, H. Okamoto, Chirality of plasmonic structures and materials, *The Journal of Chemical Physics* 161, 180401, 2024.
- [5] S. Zu, Y. Bao, Z. Fang, Planar plasmonic chiral nanostructures, *Nanoscale* 8, 3900, 2016.
- [6] I. Lettrichova et al., NSOM measurements of V-shaped polymer-based plasmonic structures, *Proc. SPIE* 13508, 135080V, 2025.
- [7] I. Lettrichova et al., Polymer-based 3D microcones for application in SERS. *Proc. SPIE* 10976, 19760V, 2018.

2.3 Vplyv elektrických výbojov na kompozitné polyuretány

Výskumný tím: Oddelenie akustiky a materiálov

Oblasť výskumu: elektrotechnika

Kontaktná osoba (školiteľ): prof. RNDr. Jozef Kúdelčík, PhD.-

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2310	jozef.kudelicik@uniza.sk	

Vplyv elektrických výbojov na kompozitné polyuretány

Opis projektu:

Elektrotechnika a technika vysokých napätí (VN) predstavujú dynamicky sa rozvíjajúce oblasti, ktoré kladú čoraz vyššie nároky na izolačné materiály. Vzhľadom na neustále rastúce požiadavky na spoľahlivosť a efektívnosť elektrických zariadení je nevyhnutné hľadať nové materiály s vylepšenými dielektrickými vlastnosťami. Polyuretány (PU) predstavujú atraktívnu skupinu polymérov vďaka ich flexibilitě, mechanickej odolnosti a relatívne jednoduchšej spracovateľnosti a sú široko používané v elektrotechnickom priemysle. Avšak, ich dielektrické vlastnosti, najmä odolnosť voči elektrickým výbojom, je potrebné naďalej zlepšovať. Cieľom tohto projektu je prekonať tieto obmedzenia prostredníctvom inovatívneho prístupu k modifikácii PU pomocou nano- a mikročastíc (Al₂O₃, AlN, w-BN).

Tento projekt sa zameriava na štúdium vplyvu elektrického výboja na pripravené nano- a mikrokompozitné materiály na báze polyuretánu. Kľúčovou súčasťou projektu je rozsiahla experimentálna charakterizácia materiálov v podmienkach simulujúcich reálne prevádzkové prostredie. Štúdium čiastkových výbojov (CV) pomocou moderných prístrojov (LDS6, MPS PD) umožní detailnú analýzu mechanizmov vzniku a šírenia výbojov v materiáli. Meranie DC, AC a impulznej dielektrickej pevnosti poskytne informácie o odolnosti materiálov voči iskrovým výbojom. Skúmanie povrchových a vnútorných výbojov v transformátorovom oleji. Dôležitou časťou projektu je štúdium dlhodobej degradácie materiálov vplyvom CV a iskrového výboja.

Dôležitým aspektom je aj edukácia študenta v oblasti vysokonapäťovej techniky a bezpečnej práce s vysokým napätím. Experimenty v laboratóriu sú navrhnuté tak, aby študent získal reálne skúsenosti s prácou s vysokonapäťovými zdrojmi. Súčasťou projektu je aj oboznámenie sa s princípmi vzniku elektrického výboja a meraním jeho charakteristík. Študent sa naučí analyzovať rôzne typy výbojov, ako sú čiastkové výboje, povrchové výboje a vnútorné výboje. Študent sa naučí pracovať s vybavením na meranie napätia a prúdu, analyzovať priebehy signálov a extrahovať relevantné informácie pomocou štatistických metód a softvérových nástrojov. Študent bude teda vhodne pripravený na profesionálnu prácu v danom odbore.

Ciele projektu:

Cieľom projektu je študovať vplyv elektrického výboja a prierazu na nové inovatívne nano- a mikrokompozitné materiály na báze polyuretánu vhodné pre aplikáciu v oblasti elektrotechniky, zapuzdrenia točivých a netočivých zariadení a techniky VN. Vykonajú sa základné merania čiastkových výbojov a elektrickej pevnosti podľa odpovedajúcich noriem. Na základne experimentov budú vybrané vhodné plnivé do polyuretánových vzoriek, na ktorých sa bude študovať aj dlhodobá degradácia vplyvom vysoko energetických výbojov. Izolačné materiály prichádzajú do styku s rôznym prostredím alebo sú ponorené do izolačnej kvapaliny, pričom i v rámci experimentov sa budú študovať i takéto možnosti vzniku a pôsobenia výboja.

Dôležitou časťou projektu je aby sa študent naučil práci vo vysokonapäťovom laboratóriu a tiež bezpečnej práce s vysokým napätím. V rámci experimentov sa oboznámi s základnými podmienkami vzniku elektrického výboja, meraním jeho napäťových a prúdových charakteristík a v neposlednom rade práci s osciloskopom. Študent sa tiež naučí ovládať najmodernejšie prístroje na meranie čiastkových výbojov, práce s Marxovým generátorom a s inými zdrojmi vysokého napätia.

Metodológia projektu:

- Úvod do základných charakteristík rozvoja elektrických výbojov a ich parametrov
- Bezpečnosť v laboratóriu VN a práce s VN

- Príprava rôznych tvarov vzoriek z polyuretánu s rôznymi nano- a mikroplnivami v rôznych koncentráciách počas celého obdobia stáže
- Meranie charakteristík vonkajších a vnútorných čiastkových výbojov (CV) na pripravených vzorkách, popis charakteristických parametrov ako fázy a náboja CV.
- Stanovenie DC a AC dielektrickej pevnosti študovaných vzorkách pre rôzne usporiadanie elektród.
- Aplikácia impulzného vysokého napätia a použitie Marxovho generátora na vývoj pierazných parametrov výbojov.
- Experimentálne meranie, analýza a vplyv degradácie povrchového výboja na vybraných vzorkách ponorených do transformátorového oleja.
- Meranie dlhodobej degradácie povrchu alebo vnútra materiálu v dôsledku vysoko-energetických výbojov.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Technická zručnosť a elektrotechnické znalosti
- Základné znalosti z materiálov a technológií v elektrotechnike
- Spracovanie nameraných dát v grafickom programe

Financovanie:

- APVV-21-0078 Výskum trvalo udržateľných živíc s vysokou účinnosťou a s použitím surovín z obnoviteľných zdrojov (07.2022 - 06.2026)

- VEGA 1/0622/24 Výskum a optimalizácia výboja pre nekonvenčné geotechnické vrtné systémy, (01/2024-12/2026)

Referencie:

- [1] Kúdelčík, J. et al. "Post-breakdown stages in transformer oil," in The European Physical Journal Applied Physics, vol. 78(2), 20801, 2017.
- [2] J. Kúdelčík et al., "Study of the Complex Permittivity of a Polyurethane Matrix Modified by Nanoparticles," in IEEE Access, vol. 9, pp. 49547-49556, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3069144
- [3] Š. Hardoň et al., "Fabrication and Broadband Dielectric Study of Properties of Nanocomposites Materials Based on Polyurethane," in IEEE Access, vol. 12, pp. 114227-114241, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3443462.

3 KATEDRA MECHATRONIKY A ELEKTRONIKY

3.1 Merací prípravok pre test dvojitém impulzom

Výskumný tím: Výkonová elektronika

Oblasť výskumu: Výkonová elektronika-vyplniť-

Kontaktná osoba (školiť): prof. Ing. Michal Frivaldský, PhD.

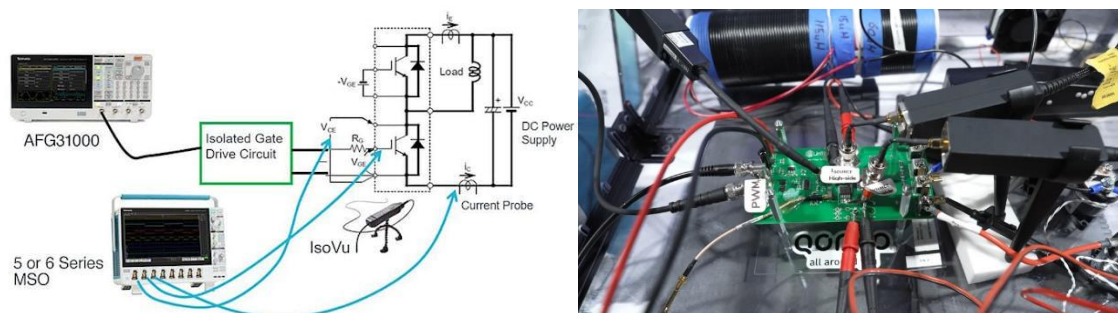
Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2050	michal.frivaldsky@uniza.sk	

Merací prípravok pre test dvojitém impulzom

Opis projektu:

Hlavným cieľom projektu je návrh, vývoj a realizácia meracieho prípravku pre vyhodnocovanie energetických strát výkonových polovodičových štruktúr, metódou testu dvojitém impulzom (TDI). V rámci riešenia tohto projektu bude potrebné realizovať analýzu súčasného stavu (SoA) testovania dvojitém impulzom, nakoľko výskum a vývoj progresívnych topologických riešení výkonových meničov, vyžaduje špecifické podmienky testu zohľadňujúc prevádzku súčiastok v podmienkach cieľovej aplikácie. Po zrealizovaní SoA, bude vzhľadom na cieľovú skupinu výkonových meničov, vypracovaná špecifikácia prevádzkových parametrov testovacieho zariadenia, schematické zapojenie, voľba obvodových prvkov, návrh dosiek plošných spojov, oživenie a otestovanie zariadenia.

Z hľadiska novej kontinuity projektu, je možné komplexitu a funkcionality vyvinutého zariadenia unifikovať v rámci pokračovania intership stáže napr. zavedením metód virtuálnej instrumentácie, automatizovaného priebehu meraní a vyhodnocovaní a spracovaní získaných výsledkov z meraní



Obr. 1. Ukážka schématického zapojenia TDI (vľavo) a praktické vyhotovenie prípravku (vpravo)

Ciele projektu:

Hlavný cieľ projektu:

- Pilotná verzia laboratórneho prípravku meracieho zariadenia pre test dvojitém impulzom

Čiastkové ciele projektu:

- Špecifikácia prevádzkových parametrov zariadenia vzhľadom na zvolenú aplikačnú oblasť – kritické posúdenie potreby.
- Návrh schém, voľba obvodových prvkov, výpočet komponentov.
 - o review report No. 1
- Návrh dosiek plošných spojov, osadenie a oživenie jednotlivých súčastí.
- Implementácia budiaceho systému vzhľadom na priebeh a nastavenie parametrov dvojitého impulzu.
 - o review report No. 2
- Oživenie laboratórneho prípravku a vypracovanie hodnotiacej správy z riešenia projektu.
 - o review report No. 3

Metodológia projektu:

- Analýza súčasného stavu TDI.
 - o prevádzkové podmienky
 - o schématické zapojenia
 - o fyzická realizácia – zohľadňujúc moderné trendy výroby súčiastok
- Návrh obvodových schém zariadenia.
 - o schéma výkonového obvodu

- o schémy pomocných obvodov
- Návrh dosiek plošných spojov.
- Oživenie a otestovanie meracieho zariadenia

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosť problematiky polovodičových súčiastok – dynamické charakteristiky
 - Znalosť problematiky výkonových polovodičových meničov – základné obvody topológie
 - Znalosť softvérových programov
 - Eagle/KiCAD
 - OrCAD_Pspice/LTSpice
 - Skúsenosti s vývojom elektronických zariadení – návrh DPS, otestovanie, oživenie
- Skúsenosti s laboratórnou a meracou technikou

Financovanie:

Projekt podaný v rámci výzvy APVV 24 - Optimalizácia merania prevádzkových parametrov výkonových polovodičových modulov vo výrobnom procese (APVV-24-0584)

Referencie:

- [1] https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Double_pulse_testing-Bodos_power_systems-Article-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d46271bf4f920171ee81ad6c4a1f
- [2] <https://www.keysight.com/used/us/en/knowledge/glossary/oscilloscopes/what-is-a-double-pulse-test>
- [3] <https://www.onsemi.com/download/eval-board-manual/pdf/evbum2897-d.pdf>

3.2 Realizácia prúdového hysterézneho regulátora

Výskumný tím: Výkonová elektronika

Oblasť výskumu: Riadenie výkonových meničov

Kontaktná osoba (školiť): Ing. Slavomír Kaščák, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 1621	slavomir.kascak@uniza.sk	

Realizácia prúdového hysterézneho regulátora

Opis projektu:

Riadenie paralelného aktívneho filtra pre jednofázové alebo trojfázové systémy. Hlavným problémom je regulácia paralelného aktívneho filtra. Jedna z možností realizovania prúdovej slučky je pomocou prúdového hysterézneho regulátora.

Ciele projektu:

- Realizovať prúdový hysterézny regulátor pomocou periférií procesora rodiny C2000.

Metodológia projektu:

- naštudovať periférie procesora rodiny C2000 pre potreby realizácie hysterézneho regulátora
- realizácia hysterézneho regulátora
- implementácia hysterézneho regulátora do riadenia paralelného aktívneho filtra

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Programovanie procesorov Texas Instrument rodiny C2000
- Znalosti z automatickej regulácie
- Znalosti z riadenia výkonových polovodičových meničov

Financovanie:

Neuvedené

Referencie:

[[1] R. Pavlanin, Optimalizácia riadiacich štruktúr paralelného aktívneho filtra, Doktorandská dizertačná práca, Žilina, 2009

3.3 Aparatúra pre meranie vplyvu impulzného napájania procesu elektrolýzy

Výskumný tím: Výkonová elektronika

Oblasť výskumu: Výkonová elektronika

Kontaktná osoba (školiteľ): prof. Ing. Pavol Špánik, PhD.

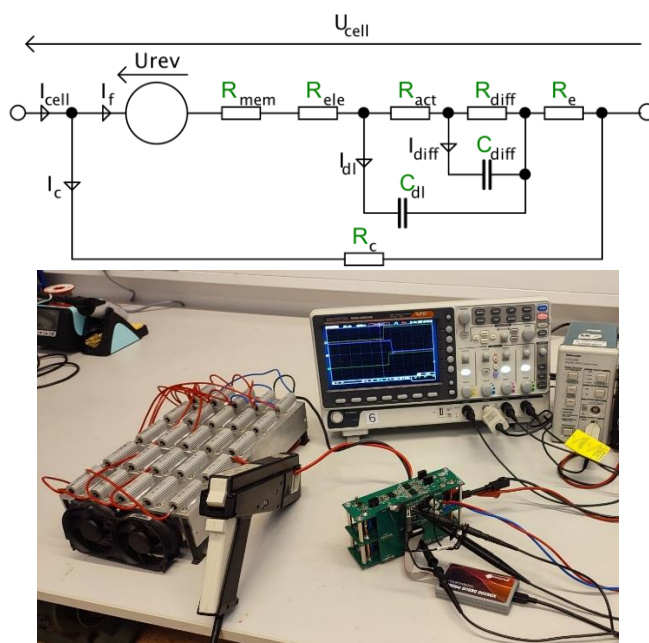
Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	41 / 513 1600	pavol.spanik@uniza.sk	

Aparatúra pre meranie vplyvu impulzného napájania procesu elektrolýzy

Opis projektu:

Hlavným cieľom projektu je návrh, vývoj a realizácia meracieho prípravku pre vyhodnocovanie energetickej optimalizácie procesu elektrolýzy. V rámci riešenia tohto projektu bude potrebné realizovať fyzikálny model aparatúry alkalického elektrolyzéra (AWE) pre potreby merania vplyvu impulzového priebehu prúdu na účinnosť procesu rozkladu elektrolytu tvoreného vodou a hydroxidom na vodík a kyslík, pomocou procesu elektrolýzy. Po špecifikácii základného usporiadania elektrolyzéra, bude vzhľadom na cieľovú skupinu výkonových meničov, vypracovaná špecifikácia prevádzkových parametrov a usporiadania testovacieho zariadenia - materiál, rozmery, uloženie elektród, koncentrácia elektrolytu, a parametre obalu elektrolyzéra.

Pre zabezpečenie kontinuity projektu je možné zjednodušiť a zjednotiť komplexnosť a funkcionality vyvinutého zariadenia v rámci pokračovania stáže. To by sa dalo dosiahnuť implementáciou metód virtuálnej inštrumentácie, automatizáciou meracích procesov a efektívnym spracovaním a vyhodnocovaním získaných meraní.



Obr. 1. Ukážka náhradnej schémy elektrolyzéra (hore) a praktické vyhotovenie meniča s odporovou záťažou (dole)

Ciele projektu:

Hlavný cieľ projektu:

Realizácia fyzikálneho modelu elektrolyzéra, určeného na meranie vplyvu impulzného napájania procesu elektrolýzy

Čiastkové ciele projektu:

- Špecifikácia prevádzkových parametrov zariadenia vzhľadom na zvolené prevádzkové podmienky
- Návrh pracoviska z hľadiska bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci s elektrolyzérom
- o review report No. 1

- Návrh priestorového usporiadania elektrolyzéra, použitých materiálov obalu a jeho elektród
- Implementácia napájacieho zdroja a meracieho systému do navrhnutého modelu
- o review report No. 2
- Overenie návrhu a vypracovanie hodnotiacej správy z riešenia projektu.
- o review report No. 3

Metodológia projektu:

- **Analýza súčasného stavu AWE**
 - o prevádzkové podmienky
 - o fyzické rozmery
 - o používané materiály
 - o fyzická realizácia
- **Návrh alkalického elektrolyzéra**
 - o zabezpečenie pracoviska
 - o návrh obalu elektrolyzéra
 - o fyzikálne parametre elektród
- **Implementácia meracích a napájacích systémov**

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosť problematiky alkalického elektrolyzéra – aplikovateľnosť impulzného napájania
- Znalosť problematiky náhradných obvodových systémov – alkalický elektrolyzér
- Znalosť softvérových programov
- Solid Edge/Fusion 360
- LTSpice/Matlab
- Skúsenosti s vývojom elektronických zariadení – simulačné modely, 3D modelovanie
- Skúsenosti s laboratórnou a meracou technikou

Financovanie:

Projekt APVV-24-0564 - Energetická optimalizácia procesu výroby vodíka elektrolyzou

Referencie:

- [1] Hu, Song & Guo, Bin & Ding, Shun-Liang & Yang, Fuyuan & Dang, Jian & Liu, Biao & Gu, Junjie & Ma, Jugang & Ouyang, Minggao. (2022). A comprehensive review of alkaline water electrolysis mathematical modeling. Applied Energy. 327. 120099. 10.1016/j.apenergy.2022.120099.
- [2] Hossain, Md Biplob & Islam, Md Rabiul & Muttaqi, Kashem & Sutanto, Danny & Agalgaonkar, Ashish. (2022). Dynamic Electrical Equivalent Model of Proton Exchange Membrane Electrolyzer. 826-831. 10.1109/ICCCA52192.2021.9666205.
- [3] Mazloomi, Kaveh & Sulaiman, Nasri & Moayedi, Hossein. (2012). An Investigation into the Electrical Impedance of Water Electrolysis Cells – With a View to Saving Energy. International journal of electrochemical science. 10.1016/S1452-3981(23)13969-1.

4 KATEDRA MULTIMÉDIÍ A INFORMAČNO-KOMUNIKAČNÝCH TECHNOLÓGIÍ

4.1 Detekcia interferencie GPS signálov

Výskumný tím: Laboratórium mobilných komunikácií

Oblasť výskumu: Informatika

Kontaktná osoba (školiť): prof. Ing. Peter Brída, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2066	peter.brida@uniza.sk	

Detekcia interferencie GPS signálov

Opis projektu:

Globálne navigačné satelitné systémy GNSS (Global Navigation Satellite System), najmä GPS (Global Positioning System), sa stali neoddeliteľnou súčasťou mnohých oblastí našich životov. Okrem navigácie sa GPS signály využívajú aj na časovú synchronizáciu v rôznych aplikáciách, ako sú bezdrôtové siete, pevné telekomunikačné siete, dopravné systémy a finančné transakcie.

V DVB-T SFN (Single Frequency Network) sieťach je precízna časová synchronizácia vysielačov nevyhnutná pre zabezpečenie kvalitného prenosu signálu. Ak by synchronizácia nebola dostatočne presná, mohlo by dochádzať k interferencii medzi vysielačmi, čo by viedlo k degradácii prijímaného signálu, čo by mohlo negatívne ovplyvniť funkčnosť tejto kritickej infraštruktúry [1].

V posledných rokoch sa však objavil vážny problém - rušenie a spoofing GPS signálov [2]. Rušenie môže spôsobiť zvyšovanie chybovosti prijímaných GPS signálov alebo ich kompletnú stratu, čo vedie k vážnym následkom pre systémy vyžadujúce presnú časovú synchronizáciu, ktorá je primárne realizovaná pomocou GPS signálov. Preto je dôležité hľadať riešenia, ktoré efektívne detegujú interferencie alebo ich dokonca dokážu potlačiť [3].

Cieľom tejto výskumnej stáže je analyzovať vplyv rušenia a spoofingu GPS signálov na časovú synchronizáciu vysielačov v DVB-T SFN sieťach a navrhnúť možné riešenia na zmiernenie týchto vplyvov. Myšlienkou je využiť SDR (Software Defined Radio) prijímač na detekciu interferenčných signálov [4]. Stáž poskytne študentovi možnosť zapojiť sa do aktuálneho výskumu v oblasti rádiových komunikačných systémov, softvérovo definovaných rádiových prijímačov, spracovania signálov a kybernetickej bezpečnosti. Študent získa praktické skúsenosti s SDR prijímačmi a spracovaním signálov.

Konkrétne úlohy, ktoré študent v rámci stáže bude riešiť:

- Štúdium aktuálnej literatúry a existujúcich riešení na detekciu rušenia a spoofingu GPS signálov.
- Analýza typov interferencií a ich vplyvu na časovú synchronizáciu.
- Testovanie vplyvu rušenia a spoofingu na systémy založené na GPS.
- Identifikácia metód na detekciu týchto interferencií.

Bezpečnosť a spoľahlivosť GPS signálov je kľúčová pre mnohé kriticke infraštruktúry, vrátane telekomunikačných sietí. Tento projekt prispeje k lepšiemu pochopeniu vplyvu rušenia na systémy časovej synchronizácie a pomôže navrhnúť riešenia na minimalizáciu týchto hrozieb. Výsledky tejto stáže môžu byť užitočné nielen pre akademickú sféru, ale aj pre prax, kde je spoľahlivá synchronizácia kľúčovou požiadavkou pre prevádzku informačných systémov. Táto stáž poskytne študentovi jedinečnú príležitosť rozvíjať svoje odborné znalosti a praktické schopnosti v oblasti GNSS a telekomunikácií.

Ciele projektu:

Cieľom tejto výskumnej stáže je podrobne analyzovať vplyv rušenia a spoofingu GPS signálov na presnosť časovej synchronizácie vysielačov. Študent sa zameria na identifikáciu rôznych foriem rušenia a ich dopad na synchronizačné mechanizmy. Na základe vykonaných simulácií a experimentov bude možné navrhnúť metódy na detekciu týchto interferencií. Výsledky výskumu môžu pomôcť zlepšiť spoľahlivosť časovej synchronizácie v kriticke infraštruktúrach využívajúcich GPS signál na synchronizáciu zariadení. Parciálne ciele projektu je možné definovať nasledovne:

- Prehľad o existujúcich detekčných a ochranných mechanizmoch proti rušeniu a spoofingu.
- Analýza možností simulácie a zberu dát potrebných pre detekciu interferencie systému GPS.

- Návrh a testovanie metód vhodných pre detekciu interferenčných signálov rušiacich systém GPS.

Dosiahnuté výsledky bude možné využiť v rámci riešenia projektu NATO SPS G6140, čím dôjde k synergii.

Metodológia projektu:

Výskumná stáž bude pozostávať z viacerých fáz, ktoré zahŕňajú teoretickú analýzu, experimentálne merania a návrh možných riešení na detekciu interferencie GPS signálov.

Štúdium a analýza literatúry

- Získanie prehľadu o existujúcich riešeniach na detekciu interferencií GPS signálov.
- Identifikácia kľúčových metód a algoritmov využívaných v oblasti spracovania signálov.

Analýza vplyvu rušenia

- Vytvorenie prostredia na testovanie rušenia a spoofingu GPS signálov.
- Testovanie rôznych typov interferencií.
- Návrh metód na detekciu interferencií na základe teoretických poznatkov.

Experimentálne merania a testovanie s využitím unikátnej technológie Spirent GSS7000

- Implementácia a testovanie vybraných metód na identifikáciu interferencií.
- Použitie softvérových definovaných rádiových prijímačov na analýzu reálnych GPS signálov.
- Zber a spracovanie dát na identifikáciu interferencií.
- Testovanie detekčných algoritmov na reálnych dátach.
- Vyhodnotenie efektivity metód detekcie interferencie.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Záujem o oblasť rádiovkej komunikácie.
- Základné znalosti v oblasti spracovania signálov a programovania (napr. MATLAB, Python).
- Základné znalosti práce so softvérovými definovanými rádiovými prijímačmi.
- Analytické myslenie a schopnosť pracovať s vedeckou literatúrou.
- Samostatnosť a schopnosť riešiť problémy.

Financovanie:

NATO SPS G6140: Advanced Technologies for Physical Resilience Of cRitical Infrastructures (APRIORI), 01/11/2023 - 31/10/2026

Referencie:

- [1] Machaj, J., Brida, P., Majer, N., & Sčehovič, R. (2021). Impact of GPS Interference on Time Synchronization of DVB-T Transmitters. *Mobile Information Systems*, 2021(1), 8812333.
- [2] Li, X., Chen, L., Lu, Z., Wang, F., Liu, W., Xiao, W., & Liu, P. (2023). Overview of jamming technology for satellite navigation. *Machines*, 11(7), 768.
- [3] Pirayesh, H., & Zeng, H. (2022). Jamming attacks and anti-jamming strategies in wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 24(2), 767-809.
- [4] van der Merwe, J. R., Franco, D. C., Jdidi, D., Feigl, T., Rügamer, A., & Felber, W. (2022, June). Low-cost COTS GNSS interference detection and classification platform: Initial results. In *2022 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)* (pp. 1-8). IEEE.

4.2 Výskum zmien hlasu vplyvom starnutia pre robustnú hlasovú biometriu

Výskumný tím: Laboratórium spracovania audio signálov (Audiolab),

Oblasť výskumu: Umelá inteligencia a strojové učenie

Kontaktná osoba (školiť): doc. Ing. Roman Jarina, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2213	roman.jarina@uniza.sk	https://kmikt.uniza.sk/

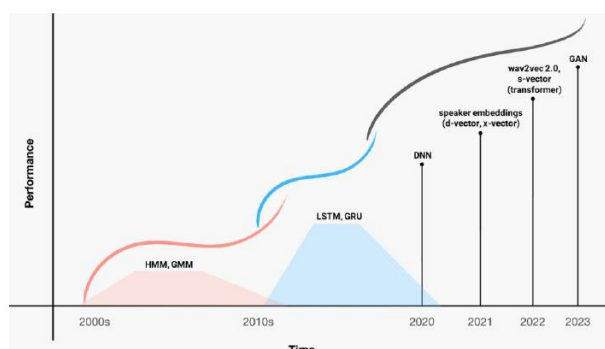
Výskum zmien hlasu vplyvom starnutia pre robustnú hlasovú biometriu

Opis projektu:

Projekt VOICE-AGE, na ktorom bude študent participovať, sa venuje výskumu vekových zmien ľudského hlasu a ich vplyvu na výkon systémov spracovania reči, najmä v oblasti hlasovej biometrie a verifikácie rečníka. Ľudský hlas je dynamický biometrický identifikátor, ktorého akustické a artikulačné vlastnosti sa v priebehu života menia v dôsledku fyziologických, neurologických, hormonálnych či anatomických faktorov [1-2]. Tieto zmeny môžu znížiť presnosť systémov automatického rozpoznávania reči a biometrickej identifikácie.

Cieľom projektu VOICE-AGE je navrhnúť robustné biometrické algoritmy, ktoré budú schopné spoľahlivo identifikovať rečníka bez ohľadu na vek. Medzi hlavné výzvy patrí komplexnosť vekovo podmienených zmien, ktoré sa prejavujú rozdielne u každého jednotlivca. Fyziologické zmeny ako atrofia hlasiviek, znížená elasticita alebo svalová ochabnutosť, spolu s neurologickými a hormonálnymi faktormi, prispievajú k degradácii kvality hlasu (tzv. presbyfónia). Dôsledkom je nižšia hlasitosť, menší frekvenčný rozsah a vyššia dýchavičnosť. Tieto zmeny výrazne ovplyvňujú výkon tradičných biometrických metód, ktoré používajú štandardné akustické príznaky (napr. MFCC používané v systémoch rozpoznávania reči), nedokážu však dostatočne zachytiť dynamiku starnutia.

Projekt sa preto sústreďuje na vyžitie metód hlbokého učenia na **extrakciu vekovo-invariantných hlasových príznakov**, ktoré budú stabilné aj napriek prirodzenému starnutiu hlasového aparátu. Problémom je však nedostatok kvalitných rečových databáz potrebných na vývoj a tréning systémov založených na hlbokom učení. Existujúce databázy, ako AgeVoxCeleb alebo MARP, majú obmedzené množstvo údajov od starších rečníkov a často nezachytávajú krátkodobé zmeny v hlase. Súčasťou projektu je preto tiež systematický **zber a anotácia rozsiahlej databázy hlasových záznamov** od detí až po seniorov, čím sa vytvorí jedinečný dataset pre analýzu vekových zmien.



Obr. 2. Vývoj modelov rozpoznávania rečníkov po súčasnosť.

Projekt bude konkrétne skúmať **pokročilé modely hlbokého učenia (DNN)** s implementáciou architektúr ako x-vector, r-vector a s-vector [3–6]. Tieto modely umožňujú extrakciu príznakov priamo z akustického signálu a zvyšujú odolnosť voči variabilite akustického prostredia. Implementované budú tiež GAN (Generative Adversarial Network) architektúry na augmentáciu dát, čím sa zvýši robustnosť výsledných modelov a ich praktické využitie v hlasovej biometrii.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom výskumnej stáže v rámci projektu VOICE-AGE je podpora vývoja robustných biometrických systémov schopných spoľahlivej identifikácie a verifikácie hovoriaceho bez ohľadu na vekové zmeny hlasového prejavu. Študent bude participovať na kľúčových fázach riešenia projektu, pričom dôraz sa kladie na praktické skúsenosti v oblasti spracovania rečových signálov a strojového učenia. Špecifické ciele stáže zahŕňajú:

1. **Zber a spracovanie hlasových dát** – študent sa aktívne zapojí do procesu získavania hlasových záznamov naprieč rôznymi vekovými skupinami. Bude participovať na predspracovaní dát vrátane segmentácie, normalizácie a odšumenia záznamov.
2. **Anotácia a spracovanie databázy** – súčasťou stáže bude vytváranie metadát, kategorizácia a anotácia nahrávok s ohľadom na vekové, pohlavné a ďalšie relevantné atribúty hovoriacich.
3. **Extrakcia a analýza hlasových príznakov** – študent bude implementovať a testovať metódy na extrakciu akustických príznakov s cieľom identifikovať vekovo invariantné vlastnosti hlasu.
4. **Vývoj a tréningovanie modelov hlbokého učenia (DNN)** – študent sa pod vedením tímu zapojí tiež do návrhu a tréningovania modelov optimalizovaných na robustnú hlasovú biometriu.

Metodológia projektu:

Študent bude pracovať vo výskumnom tíme Audiolabu, ktorý tvorí jeden docent, dvaja post-doc výskumníci a jeden doktorand. Metodológia projektu počas stáže je zameraná na získanie praktických zručností v oblasti spracovania rečových signálov a návrhu biometrických systémov metódami strojového učenia. Študent sa najskôr zapojí do zberu hlasových nahrávok rôznych vekových skupín a následného predspracovania dát. V ďalšom kroku bude participovať na anotácii záznamov a tvorbe metadát s dôrazom na presnú kategorizáciu podľa veku, pohlavia a ďalších charakteristík hovoriacich. Následne sa zameria na extrakciu akustických príznakov a ich analýzu. Popri týchto činnostiach sa tiež bude podieľať na tréningovaní a testovaní modelov hlbokého učenia optimalizovaných na hlasovú biometriu.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Základy digitálneho spracovania rečového signálu.
- Znalosť programovania v Pythone (skúsenosť s knižnicami TensorFlow a PyTorch výhodou).
- Záujem o strojové učenie, najmä o metódy hlbokého učenia.
- Základné znalosti o architektúrach DNN sú vítané.
- Samostatnosť, analytické myslenie a schopnosť pracovať v tíme.

Financovanie:

Názov: VOICE-AGE Číslo: VV-MVP-24-0389 **Trvanie projektu:** 1.2.2025-31.12.2028

Podporná schéma: APVV

Referencie:

- [1] Rojas, S., Kefalianos, E., and Vogel, A. (2020). How Does Our Voice Change as We Age? A Systematic Review and Meta-Analysis of Acoustic and Perceptual Voice Data from Healthy Adults Over 50 Years of Age. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 63(2), 533-551.
- [2] Goy, H., Fernandes, D. N., Pichora-Fuller, M. K., and Van Lieshout, P. (2013). Normative voice data for younger and older adults. *Journal of Voice*, 27(5), 545-555.
- [3] Snyder, D., Garcia-Romero, D., Sell, G., Povey, D., and Khudanpur, S. (2018). X-vectors: Robust DNN embeddings for speaker recognition. In 2018 IEEE Int Conf on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 5329-5333). IEEE.
- [4] Mary, N. J. M. S., Umesh, S., & Katta, S. V. (2022). S-vectors and TESA: Speaker embeddings and a speaker authenticator based on transformer encoder. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 30, 404-413.
- [5] Novoselov, S., Lavrentyeva, G., Avdeeva, A., Volokhov, V., & Gusev, A. (2022). Robust speaker recognition with transformers using wav2vec 2.0. arXiv preprint arXiv:2203.15095.
- [6] Jakubec, Maros, et al. Deep speaker embeddings for speaker verification: Review and experimental comparison. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2024, 127: 107232.

4.3 Fotonické integrované zariadenia na báze nitridu kremíka pre multi-pásmový polarizačný manažment na čipe

Výskumný tím: Laboratórium integrovanej fotoniky a optických komunikácií

Oblasť výskumu: Integrovaná fotonika

Kontaktná osoba (školiťel): Ing. Jan Litvik, PhD.

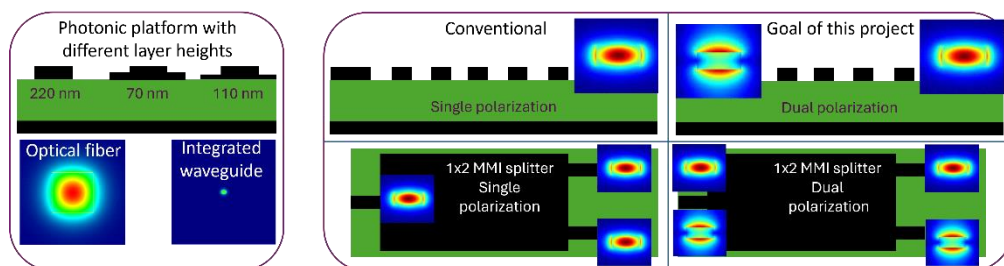
Kontaktné údaje: Telefón E-mail Web-stránka
+421 41 513 2227 jan.litvik@uniza.sk <https://optolab.feit.uniza.sk/>

Fotonické integrované zariadenia na báze nitridu kremíka pre multi-pásmový polarizačný manažment na čipe

Opis projektu:

Integrovaná fotonika je sľubnou technológiou pre budúcnosť polovodičových obvodov s aplikáciami v dátových centrách, vysoko-kapacitných telekomunikačných sieťach alebo výpočtových serveroch. V porovnaní s etablovanou technológiou optických vlákien, **integrovaná fotonika** využíva vlnovody s vyšším indexom lomu, čo **umožňuje vývoj kompaktných zariadení s vysokým stupňom integrácie komponentov**, ktoré sú vyrábiteľné procesmi využívanými mikroelektronickým priemyslom. Je však ekonomicky a rozvojovo dôležité zabezpečiť efektívne využívanie zdrojov na čipe, a to predovšetkým nad rámec konvenčnej jedno-účelovej prevádzky zariadení, vrátane fungovania v obmedzenom pásme vlnových dĺžok vlnovom režime alebo využitia iba jedného vybudeného stavu polarizačného stavu. Z perspektívy fotonického systému, **multi-funkčné zariadenia predstavujú budúcnosť komplexných riešení, adresujúc potreby nízkej spotreby energie alebo zvýšenou kapacitou prenosu dát.**

K dnešnému dňu existuje široké spektrum optických zariadení s jednoznačnou funkciou pre fungovanie [1,2]. To zahŕňa jednovidové vlnovody, rezonátory, rozdeľovače, alebo prepojovacie väzobné členy. **V integrovanej fotonike sú kľúčové zariadenia pre nízko-stratové optické prepojenia nie len na úrovni vlákno-čip, ale aj elementy pre vzájomné prepojenie rozličných zariadení priamo na integrovanom čipe** [3-6]. Do prvej skupiny patria vstupno/výstupné optické rozhrania založené na difrakčných mriežkach [3,4] a druhú skupinu predstavujú zariadenia ako rozdeľovače a zlučovače výkonu, ktoré sú fyzicky reprezentované multimódovými interferometrami, Y- alebo smerovými spojkami [5,6]. Bohužiaľ **väčšina energeticky efektívnych zariadení pre optické prepojenie je navrhnutá len pre fungovanie s jedným polarizačným stavom vybudeného elektromagnetického módu, a to v úzkom spektrálnom rozsahu transparentných vlnových dĺžok** [3-6]. Z tohto dôvodu je zásadným cieľom vyvinúť nové optické prepojenia na čipe s pokročilými funkciami, ktoré dokážu kombinovať diverzné funkcie pre fungovanie funkcie, akými sú nízke vložné straty, polarizačná diverzita alebo zlepšená tolerancia voči chybám výrobného procesu.



Obrázok 1. Fotonická integrovaná platforma a implementácia fotonických zariadení s pokročilou polarizačnou diverzitou.

Na druhej strane, deliče a zlučovacie svetla (a jeho fundamentálnych charakteristík) zohrávajú esenciálnu úlohu pri formovaní moderných koherentných komunikačných a snímacích systémov realizovaných na čipe. Takéto zariadenia boli doposiaľ limitované iba na delenie výkonu. Ich **využitie pre iné funkcie delenia svetla na fotonickom čipe však zostávajú výrazne obmedzené v dôsledku silnej chromatickej disperzie zariadení a tiež silnej polarizačnej závislosti**. Všetky tieto faktory zásadným spôsobom limitujú výkonnostné parametre deličov a zlučovačov, ktoré sú nevyhnutné pre pokročilé fotonické aplikácie v 21. storočí.

Ciele projektu:

Cieľom projektu je vývoj novej generácie fotonických zariadení pre účely multi-pásmového prepojenia s polarizačnou diverzitou pri fungovaní s nízkymi vložnými stratami. V predkladanom projekte bude dôraz kladený na vývoj optických prepojení na čipe a mimo čipu, a to prostredníctvom optických deličov/zlučovačov a mriežkových väzobných členov. Hlavnou myšlienkou projektu je využitie platformy nitridov kremíka v kombinácii s nerezonančnými subvlnovými metamateriálmi na realizáciu zariadení s malými rozmermi a ponukou multi-účelového fungovania na jednom čipe.

Projekt internej výskumnej stáže môže pokračovať ako rozšírená verzia diplomovej práce.

Metodológia projektu:

1) Štúdium literatúry: Naštudovanie si článkov týkajúcich sa tém integrovanej fotoniky na báze nitridu kremíka, mriežkových väzobných členov, a optických zlučovačov/deličov s diverzným fungovaním a parametrami

2) Modelovanie optických prepojení na čipe a mimo čipu: numerické simulácie v prostredí FDTD a verifikácia už existujúcich návrhov prepojovacích optických zariadení. Vytváranie zjednodušených 2D modelov a komplexných 3D simulácií pre rigoróznú evaluáciu navrhnutých riešení

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Zvedavosť pre nové výskumné skúsenosti a úlohy
- Kreativita a proaktivita pri hľadaní inovatívnych riešení
- Schopnosť komunikovať a zdieľať dosiahnuté výsledky v ústnej a písomnej forme

Financovanie:

Projekt výskumnej stáže je riešený v rámci komplexného projektu: Multiband photonic integrated library for quantum-optical systems (MIRAQLE), 09I03-03-V04-00410, 2024-2026

Referencie:

- [1] Li, Y.; Zhang, Y.; Zhang, L.; Poon, A.W. Silicon and Hybrid Silicon Photonic Devices for Intra-Datacenter Applications: State of the Art and Perspectives. *Photonics Res.* 2015, 3, B10–B27.
- [2] Xiang, C.; Jin, W.; Bowers, J.E. Silicon Nitride Passive and Active Photonic Integrated Circuits: Trends and Prospects. *Photonics Res.* 2022, 10, A82.
- [3] Vermeulen, D.; Poulton, C.V. Optical Interfaces for Silicon Photonic Circuits. *Proc. IEEE* 2018, 106, 2270–2280.
- [4] Nambiar, S.; Ranganath, P.; Kallega, R.; Selvaraja, S.K. High Efficiency DBR Assisted Grating Chirp Generators for Silicon Nitride Fiber-Chip Coupling. *Sci. Rep.* 2019, 9, 18821.
- [5] Vakarin, V.; Melati, D.; Dinh, T.T.D.; Le Roux, X.; Kan, W.K.K.; Dupré, C.; Szelag, B.; Monfray, S.; Boeuf, F.; Cheben, P.; et al. Metamaterial-Engineered Silicon Beam Splitter Fabricated with Deep UV Immersion Lithography. *Nanomaterials* 2021, 11, 2949.
- [6] Maese-Novo, A.; Halir, R.; Romero-García, S.; Pérez-Galacho, D.; Zavargo-Peche, L.; Ortega-Moñux, A.; Molina-Fernández, I.; Wangüemert-Pérez, J.G.; Cheben, P. Wavelength Independent Multimode Interference Coupler. *Opt. Express* 2013, 21, 7033.

4.4 Inverzný návrh mriežkových väzobných členov

Výskumný tím: Laboratórium integrovanej fotoniky a optických komunikácií

Oblasť výskumu: Integrovaná fotonika

Kontaktná osoba (školiteľ): Ing. Daniel Benedikovič, PhD.

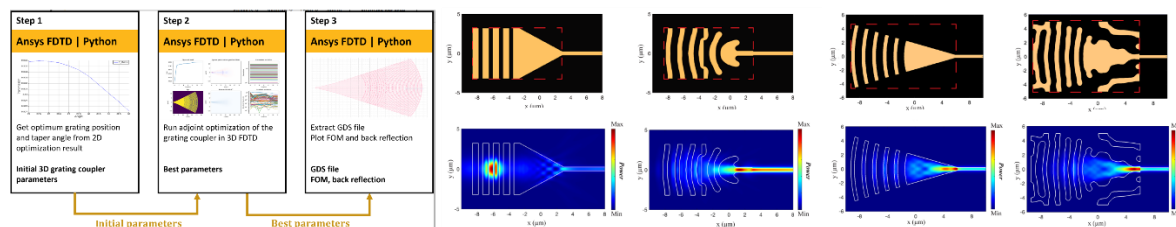
Kontaktné údaje: Telefón E-mail Web-stránka
+421 41 513 2227 daniel.benedikovic@uniza.sk <https://optolab.feit.uniza.sk/>

Inverzný návrh mriežkových väzobných členov

Opis projektu:

Impozantný vývoj v technológiách nanofotoniky otvára nové možnosti pre riadenie svetla prostredníctvom zariadení realizovaných priamo na polovodičovom čipe. **Integrovaná nanofotonika je široko považovaná za univerzálnu technologickú platformu pre realizáciu miniaturizovaných zariadení** v širokej škále aplikačných oblastí vrátane optických komunikácií, senzorov, alebo kvantových vied. Integrovaná fotonika je kompatibilná s výrobnými procesmi CMOS, čo umožňuje vývoj ultra-kompaktných zariadení, ktoré by je možné vyrábať vo veľkých objemoch a s nízkymi nákladmi [1]. Táto **technológia tiež ponúka jedinečný potenciál pre bezproblémovú integráciu rôznych materiálov a rozličných mikroelektronických funkcií do jedného spoločného čipu.**

Mriežkové väzobné členy sú základnými zariadeniami v nanofotonických integrovaných obvodoch. Tieto zariadenia umožňujú spojenie svetla medzi čipom a externým médiom, predovšetkým optickým vláknom. **Mriežkové väzobné členy sú tvorené difrakčnou mriežkou vytvorenou priamo v integrovanom vlnovode a slúžia na adaptáciu materiálových a módových vlastností medzi optickým vláknom a sub-mikrometrickým nanofotonickým vlnovodom.** Vysoká účinnosť spojenia vlákno-čip je vždy výhodná pre tieto zariadenia, avšak niektoré aplikácie sú na túto výkonnostnú metriku obzvlášť citlivé [2,3]. To je aj prípad kvantovo-optických technológií, ako je kvantové spracovanie informácií alebo jednofotónové LiDAR systémy, pri ktorých kvantové stavy svetla sú rýchlo degradované stratami na čipe. Za posledné roky však **obrovský pokrok pri vývoji mriežkových väzobných členov vyvolal tiež množstvo problémov, predovšetkým pri rozvoji vhodných metodológií ich návrhu.** Klasické postupy návrhu mriežkových väzobných členov sú často založené iba na analytickom modelovaní a/alebo komplexných časovo-náročných 2D-3D numerických simuláciách [4,5]. Tieto etablované postupy sa do značnej miery spoliehajú na skúsenosti dizajnéra zariadení a dostupné vzory návrhov. To však vo veľkej miere obmedzuje počet parametrov návrhu mriežkových väzobných členov, ktoré je možné efektívne spracovať z dôvodu obmedzení výpočtových zdrojov alebo časovej náročnosti. **Pre prepojovacie zariadenia vlákno-čip so zložitými geometriami, rôznymi materiálmi alebo náročnými požiadavkami na výkonnostné parametre (šírka pásma alebo polarizačná diverzita) sa konvenčné postupy návrhu stávajú neefektívnymi a ťažko použiteľnými pri inováciách.**



Obrázok 1. Simulačný proces inverzného návrhu. Ukážky geometrií zariadení a výkonové mapy šírenia svetla.

Tieto technické a vedecko-výskumné výzvy stimulujú veľké úsilie vo svete, a to hlavne v smere rozvoja techník strojového a hlbokého učenia a vývoja vhodných metodológií, ktoré sú založené na dátach, ktoré sa ukázali ako životaschopné pre riešenie a zvládanie vyššie spomenutých problémov. Moderné postupy strojového a hlbokého učenia majú k dispozícii stovky až tisícky premenných súčasne na optimalizáciu nanofotonických integrovaných zariadení. Algoritmy strojového a hlbokého učenia dokážu zostaviť komplexné fyzikálne modely priamo zo súboru dostupných a tréningových dát a existujúcich modelov, ktoré potom možno použiť na veľmi efektívny návrh nových nanofotonických štruktúr s požadovanými výkonnostnými metrikami, ktoré idú ďaleko nad rámec klasických analytických alebo numerických optimalizačných techník [4,5].

Ciele projektu:

Cieľom výskumnej stáže bude preskúmať možnosti využitia algoritmov strojového a hlbokého učenia pre inverzný návrh kompaktných mriežkových väzobných členov na zlepšenie účinnosti prepojenia vlákno-čip, širokopásmovému alebo multi-pásmovému fungovaniu, prípadne polarizačnej nezávislosti zariadení. Implementované modely a algoritmy inverzného návrhu budú kombinované s modernými simulačnými nástrojmi založenými na rigoróznej metóde FDTD pre zvýšenie efektivity návrhu a verifikácie dosiahnutých výsledkov.

Tento projekt internej výskumnej stáže môže pokračovať ako rozšírená verzia diplomovej práce v rámci prebiehajúcich vedecko-výskumných aktivít skupiny pri vývoji knižnice inovatívnych fotonických integrovaných zariadení pre zdieľané kvantovo-optické prepojenia.

Metodológia projektu:

1) Štúdium literatúry: Naštudovanie si zvolených článkov týkajúcich sa tém kremíkovej fotoniky, mriežkových väzobných členov, a algoritmov strojového učenia pre problematiku inverzného návrhu

2) Modelovanie mriežkových väzobných členov: numerické simulácie v prostredí FDTD a verifikácia už existujúcich návrhov mriežkových väzobných členov. Vytváranie zjednodušených modelov zariadení pre rýchlu analýzu a generovanie zmysluplných dát na tréning algoritmov a optimalizáciu

3) Implementácia vybraných druhov algoritmov pre inverzný návrh: Vývoj a tréning modelov pre inverzný návrh špecifických typov mriežkových väzobných členov s vylepšenými výkonnostnými parametrami za pomoci metód strojového a hlbokého učenia.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Zvedavosť pre nové výskumné skúsenosti a úlohy
- Kreativita a proaktivita pri hľadaní inovatívnych riešení
- Schopnosť komunikovať a zdieľať dosiahnuté výsledky v ústnej a písomnej forme

Financovanie:

Projekt výskumnej stáže je riešený v rámci komplexného projektu: Multiband photonic integrated library for quantum-optical systems (MIRAQLE), 09I03-03-V04-00410, 2024-2026

Referencie:

- [1] Li, Y.; Zhang, Y.; Zhang, L.; Poon, A.W. Silicon and Hybrid Silicon Photonic Devices for Intra-Datacenter Applications: State of the Art and Perspectives. *Photonics Res.* 2015, 3, B10–B27.
- [2] Vermeulen, D.; Poulton, C.V. Optical Interfaces for Silicon Photonic Circuits. *Proc. IEEE* 2018, 106, 2270–2280.
- [3] Daivid Fowler, Quentin Wilmart, Stéphanie Garcia, Ségolène Olivier, and Bertrand Szelag, "Fiber Grating Couplers for Optical Access via the Chip Backside," *Journal of Lightwave Technology* Vol. 39, Issue 2, pp. 557-561 (2021)
- [4] P. R. Wiecha et al., 'Deep learning in nano-photonics: inverse design and beyond', *Photon. Res., PRJ*, vol. 9, no. 5, pp. B182–B200, May 2021, doi: 10.1364/PRJ.415960.
- [5] W. Ma et al., 'Deep learning for the design of photonic structures', *Nature Photonics*, pp. 1–14, Oct. 2020, doi: 10.1038/s41566-020-0685-y.

4.5 Dáta a komunikácia pre podporu autonómnej mobility

Výskumný tím: Autonómna mobilita

Oblasť výskumu: Informatika

Kontaktná osoba (školiteľ): prof. Ing. Milan Dado, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2212	milan.dado@uniza.sk	kmikt.uniza.sk

Dáta a komunikácia pre podporu autonómnej mobility

Opis projektu:

Automobilový priemysel prechádza revolúciou smerujúcou k výrobe autonómnych vozidiel, pričom tento trend je podporený štandardizáciou úrovni automatizácie jazdy podľa výboru SAE (Society of Automotive Engineers), ktorý definuje šesť úrovní automatizácie od úplne manuálneho riadenia (úroveň 0) až po plne autonómne vozidlá (úroveň 5). Štandardy SAE a ETSI poskytujú podrobný opis pre tieto úrovne, pričom plná automatizácia si vyžaduje integráciu senzorických systémov (RADAR, LiDAR, kamery, senzory) a komunikácie medzi vozidlami (V2V) a vozidlami a infraštruktúrou (V2I). Cieľom tohto projektu je prispieť k rozvoju technológií pre kooperatívnu, prepojenú a automatizovanú mobilitu (CCAM) prostredníctvom výskumu v oblasti spracovania kamerových dát, merania kvality 5G sietí a návrhu využitia týchto dát v autonómnej mobilite. Projekt sa zameriava na integráciu dát z rôznych zdrojov (LiDAR, kamery) a ich spracovanie pomocou metód umelej inteligencie (AI) s cieľom urýchliť prenos dát minimalizáciou prenášaných dát, zvýšiť stabilitu komunikácie a bezpečnosť autonómnych vozidiel.

V rámci projektu je vykonávané meranie kvality 5G NSA sietí. NSA sieťové riešenie využíva existujúcu 4G LTE infraštruktúru pre riadenie a signalizáciu, zatiaľ čo prenos dát prebieha prostredníctvom 5G technológie. Tento prístup umožňuje rýchlejší prechod na 5G, ale zároveň prináša určité výzvy, najmä pokiaľ ide o latenciu a stabilitu siete. Merania sa zameriavajú na tri kľúčové parametre: rýchlosť sťahovania (downlink), rýchlosť nahrávania (uplink) a latenciu. Tieto parametre sú kritické pre autonómnu mobilitu, pretože autonómne vozidlá vyžadujú vysokú rýchlosť prenosu dát a extrémne nízku latenciu pre komunikáciu v reálnom čase. Merania prebiehajú a budú prebiehať na vybraných trasách v mestských aglomeráciách. Tieto dáta sú následne analyzované a porovnávané s odporúčaniami 3GPP a ETSI a 5GAA, čo umožňuje identifikovať slabé miesta a navrhovať opatrenia na zlepšenie siete. Pri meraní rýchlosti sťahovania a nahrávania bolo zistené že priemerná rýchlosť downlinku sa pohybuje okolo 90 Mbit/s, s poklesmi až na 52 Mbit/s, čo môže byť pre autonómne vozidlá problematické, najmä pri prenose veľkých objemov dát, ako sú 3D mapy alebo údaje z kamier a LiDAR-ov. Rýchlosť uplinku vykazuje vyššiu variabilitu, s priemernou hodnotou 49 Mbit/s, čo poukazuje na potenciálne obmedzenia pri prenose dát z vozidla do cloudu alebo iných vozidiel. Preto je potrebné hľadať možnosti a spôsoby, ako dáta spracovať na mieste a posielat len informácie, ktoré sú potrebné pre chod dopravy, čo v konečnom dôsledku zníži množstvo a frekvenciu posielaných údajov.

Výskum v oblasti CCAM sa zameriava na niekoľko kľúčových oblastí: senzorickú vrstvu (implementácia senzorov ako LiDAR, RADAR, kamery), detekčnú vrstvu (spracovanie dát z senzorov na detekciu prekážok) a komunikačnú vrstvu. Cieľom v budúcnosti bude zosúladenie všetkých systémov s cieľom čo najspoľahlivejšieho prístupu k podpore autonómnej mobility. Výstupy projektu zahŕňajú analýzu kvality infraštruktúry a algoritmy pre spracovanie dát. Projekt prinesie nový vedecký prínos v orchestrácii lokalizácie, komunikácie a spracovania dát, ako aj praktický prínos pre zlepšenie efektívnosti autonómnych vozidiel. Tento projekt predstavuje významný krok využitia metód umelej inteligencie a prispieva k rozvoju bezpečných a efektívnych systémov pre autonómne vozidlá, čo bude mať v konečnom dôsledku priamy dopad na prax alepší kvalitu cestnej premávky a bezpečnosti účastníkov premávky.



Ilustračný obrázok: Author: Jim Misener, Board Member at 5GAA, From Day 0 to forever: C-V2X evolves towards ubiquitous connectivity, 10 Október 2024

Ciele projektu:

- Spracovanie kamerových dát pre podporu autonómnej mobility s využitím neurónových sietí.
- Zmeranie kvality vybraných úsekov 5G NSA siete a štatistické zhodnotenie nameraných výsledkov.
- Návrh hierarchických postupov využitia získaných obrazových dát pre podporu autonómnej mobility s podporou sietí V2X v súlade s odporúčaniami ETSI a konzorcií 3GPP a 5GAA.

Metodológia projektu:

- Dokonale preštudovať možnosti nasadenia vhodných neurónových sietí pre podporu a analýzu pohybu dopravných prostriedkov na zaťaženej cestnej dopravnej infraštruktúre.
- Zmeranie kvality vybraných úsekov 5G NSA siete a štatistické zhodnotenie nameraných parametrov z hľadiska požiadaviek 3GPP ETSI a 5GAA.
- Uskutočniť odhad potrebného zaťaženia presnou dát na sieťach 5G NSA, prípadne 5G SA a návrh hierarchickej komunikačnej architektúry siete pre podporu autonómnej mobility s podporou sietí V2X v súlade s odporúčaniami ETSI a konzorcií 3GPP a 5GAA.-

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosti práce v zvolenom programovacom prostredí využitia neurónových sietí
 - Znalosti pre hodnotenie kvality prenosu v sieťach 5G
- Znalosti v metodike štatistického hodnotenia získaných dát

Financovanie:

Grantový systém Žilinskej univerzity pod názvom "Rozvoj robustných lokalizačno-navigačných systémov pre autonómnu mobilitu s podporou komunikácie v náročných prostrediach." (ID 20407)

Referencie:

- [1] Francesco Paolo Patti, The European Road to Autonomous Vehicles, 43 Fordham Int'l L.J. 125 (2019), <https://ir.lawnet.fordham.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2766&context=ilj>
- [2] Felix Andlauer & Adam Laurell, Analysis of the delayed roll-out of fully autonomous vehicles, 2024-05-13, <https://www.drivesweden.net/sites/default/files/2024-05/analysis-of-the-delayed-roll-out-of-fully-autonomous-vehicles.-ver.240513.pdf>
- [3] Ford, Ford Conducts Industry-First Snow Tests of Autonomous Vehicles -- Further Accelerating Development Program, <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2016/01/11/ford-conducts-industry-first-snow-tests-of-autonomous-vehicles.html>
- [4] Egil Juliussen, Autonomous Vehicles: How Is Europe Doing? 2022, <https://www.eetimes.eu/autonomous-vehicles-how-is-europe-doing/>
- [5] Centre of Excellence for Testing & Research of Autonomous Vehicles – NTU <https://www.ntu.edu.sg/erian/research-capabilities/centre-of-excellence-for-testing-research-of-autonomous-vehicles-ntu>
- [6] I. Kim, G. Lee, S. Lee and W. Choi, "Data Storage System Requirement for Autonomous Vehicle," 2022 22nd International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), Jeju, Korea, Republic of, 2022, pp. 45-49, doi: 10.23919/ICCAS55662.2022.10003785.
- [7] S. Liu, L. Liu, J. Tang, B. Yu, Y. Wang and W. Shi, "Edge Computing for Autonomous Driving: Opportunities and Challenges," in Proceedings of the IEEE, vol. 107, no. 8, pp. 1697-1716, Aug. 2019, doi: 10.1109/ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8744265
- [8] P. Schaffhalter, S. Kalra, L. Xu, J. E. Gonzalez and I. Stoica, "Leveraging Cloud Computing to Make Autonomous Vehicles Safer," 2023 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Detroit, MI, USA, 2023, pp. 5559-5566, doi: 10.1109/IROS55552.2023.10341821.
- [9] X. Li, T. Zhang, S. Wang, G. Zhu, R. Wang and T. -H. Chang, "Large-Scale Bandwidth and Power Optimization for Multi-Modal Edge Intelligence Autonomous Driving," in IEEE Wireless Communications Letters, vol. 12, no. 6, pp. 1096-1100, June 2023, doi: 10.1109/LWC.2023.3262573.

- [10] L. Zhaohua and G. Bochao, "Radar Sensors in Automatic Driving Cars," 2020 5th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT), Nanchang, China, 2020, pp. 239-242, doi: 10.1109/ICECTT50890.2020.00061.
- [11] Cucor, Boris & Petrov, Tibor & Kamencay, Patrik & Simeonov, Marcel & Dado, Milan. (2023). Digital Infrastructure Quality Assessment System Methodology

4.6 Vysvetliteľnosť modelov AI pre správanie sa človeka

Výskumný tím: LoHA (Laboratory of Health Applications)

Oblasť výskumu: Informatika

Kontaktná osoba (školiť): prof. Ing. Róbert Hudec, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2200	robert.hudec@uniza.sk	LoHA

Vysvetliteľnosť modelov AI pre správanie sa človeka

Opis projektu:

Bezpečnosť je často spomínanou a podstatnou časťou našich životov. Bezpečnostné kamery nás prevádzajú v každodennom živote. V rámci verejných priestranstiev sú bezpečnostné kamery na stĺpoch a výstupy z nich spravujú bezpečnostné služby, ktorých pracovný čas býva vo väčšine 24hodín. Z tohto dôvodu sa často vyskytuje ľudský faktor, ktorý ovplyvňuje prehliadnutie rôznych nebezpečných incidentov. Systém schopný zaznamenávať a vyhodnocovať bezpečnostné záznamy by výrazne mohol pomôcť pri znížení kriminality ale aj ochrane majetku a života. Preto v rámci nášho projektu chceme navrhnúť modely AI, ktoré by slúžili pre automatickú detekciu abnormálneho správania sa ľudí na verejných priestranstvách. Zároveň je v dnešnej dobe často spomínaná bezpečnosť spojená aj s AI. Práve preto by sme chceli implementovať vysvetliteľnosť týchto modelov, ktorá by nielen poukázala na čo sa modely sústredili počas tréningu ale aj na bezpečnosť využitia takého modelu v praxi.

Aktivity v rámci projektu budú pokračovaním dizertačnej práce a riešením úloh spojenými s vysvetliteľnosťou AI modelov v projekte TEF HEALTH WP6.



Obr.1 Ukážka klasifikácie abnormálneho správania sa na verejnosti [1]

Ciele projektu:

Hlavným cieľom projektu je výskum metód na detekciu a klasifikáciu abnormálneho/neštandardného ľudského správania a vysvetliteľnosť navrhnutých modelov AI. Súčasťou navrhovaného riešenia je výskum odborných cieľov, ktoré zahŕňajú nasledovné oblasti:

- Vplyv rôznych spôsobov získavania údajov
- Návrh modelov detekcie a klasifikácie videa
- Vysvetliteľnosť AI modelov

Riešenie projektu je rozdelené do štyroch hlavných cieľov:

Cieľ č. 1: Zber a analýza údajov

Táto fáza zahŕňa systematický zber a analýzu údajov potrebných pre vývoj modelov. Kľúčovým aspektom je príprava scenárov a definovanie typických incidentov abnormálneho správania. Údaje budú získavané z rôznych senzorových modalít, ako FLIR/NIR.

Cieľ č. 2: Návrh modelov hlbokého učenia

V tejto fáze sa budú navrhovať a implementovať architektúry neurónových sietí (NN) na detekciu a klasifikáciu abnormálneho správania. Proces zahŕňa import údajov, ich predspracovanie a tréning modelov, pričom dôraz sa kladie na presnosť a optimalizáciu výkonnosti.

Cieľ č. 3: Testovanie modelov v laboratóriu

Táto etapa je zameraná na experimentálne overenie modelov v kontrolovaných podmienkach. Navrhnuté modely sa budú testovať a optimalizovať s cieľom zabezpečiť ich spoľahlivosť pred nasadením v reálnych situáciách.

Cieľ č. 4: Vysvetliteľnosť modelov AI

Posledná fáza sa venuje transparentnosti modelov. Budú vyvinuté metódy na interpretáciu rozhodnutí AI, čím sa zvýši dôveryhodnosť a akceptovateľnosť riešenia v praxi.

Metodológia projektu:

Na dosiahnutie týchto cieľov bude projekt využívať kombináciu pokročilých techník spracovania obrazov, strojového učenia. Kľúčové oblasti zahŕňajú:

- 1) **Získavanie a zber údajov:** Získať údaje potrebné pre tréningovanie a následné testovanie modelov. Tento krok je kritický, pretože musí získať priame presné a vierohodné údaje, ktoré by správne opisovali daný incident.
- 2) **Algoritmy na detekciu abnormálneho správania:** Tvorba a testovanie AI algoritmov, ktoré by slúžili na detekciu abnormálneho správania sa. Následné testovanie vytvorených AI modelov a ich optimalizácia .
- 3) **Vysvetliteľnosť AI modelov:** Vysvetliteľnosť vytvorených AI modelov, je dôležitou súčasťou vo všetkých odvetviach v rámci bezpečnosti. Model ktorý dokážeme správne vysvetliť je aj dôveryhodnejší a bezpečnejší v praxi.

Výstupy a prínosy projektu:

- 1) **Zlepšenie presnosti diagnostiky:** Konečným cieľom tohto projektu je algoritmy AI modelov slúžiace na presnú detekciu abnormálneho správania sa s rôznych modalít ako NIR/FIR.
- 2) **Vysvetliteľnosť AI modelov:** Vytvoriť modely ktoré budú dôveryhodné a vysvetliteľné, čím bude použitie takýchto modelov bezpečnejšie v praxi,.

Požadované kvality/znalosti študenta:

Pre úspešnú účasť na projekte by mal študent disponovať nasledujúcimi znalosťami a zručnosťami:

- Skúsenosti s programovacími jazykmi Python (pre strojové učenie, analýzu dát).
- Základné až pokročilé znalosti v oblasti strojového učenia, neurónových sietí.
- Skúsenosti s knižnicami ako TensorFlow, PyTorch, Scikit-learn na tréningovanie a optimalizáciu modelov AI.
- Schopnosť samostatne riešiť problémy spojené s návrhom, tréningom a testovaním AI modelov.
- Schopnosť efektívne pracovať v multidisciplinárnom tíme a komunikovať výsledky práce.

Financovanie:

- TEF HEALTH - Testing and Experimentation Facility for Health,
- číslo projektu: 101100700,
- trvanie projektu od: 01.01.2023 do: 31.12.2027,
- podporná schéma: DIGITAL-2022-CLOUD-AI-02.

Referencie:

[1] Róberta Vrškova, Výskum metód klasifikácie behaviorálneho správania sa človeka, KMIKT, FEIT, UNIZA, 2022, 28260020223247

4.7 Rekonštrukcia mračna bodov z CT angiografie

Výskumný tím: LoHA (Laboratory of Health Applications)

Oblasť výskumu: informatika

Kontaktná osoba (školiťel): doc. Ing. Patrik Kamencay, PhD.

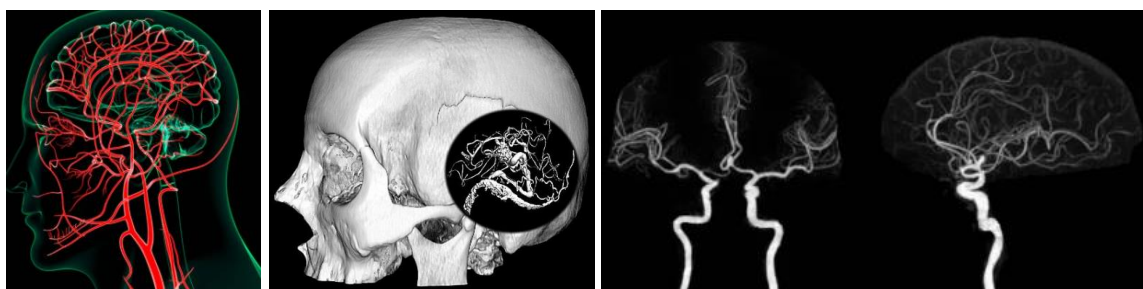
Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2225	patrik.kamencay@uniza.sk	LoHA

Rekonštrukcia mračna bodov z CT angiografie

Opis projektu:

Projekt sa zameriava na 3D rekonštrukciu mračna bodov z CT angiografie s cieľom zlepšiť diagnostické a chirurgické plánovanie v oblasti vaskulárnych ochorení. CT angiografia je neinvazívna zobrazovacia technika, ktorá sa používa na vizualizáciu cievneho systému v tele. Tento typ zobrazovania je veľmi dôležitý pri diagnostike a monitorovaní rôznych cievnych patológií, ako sú aneurizmy, stenózy, arteriovenózne malformácie a ďalšie vaskulárne ochorenia. Výstup z CT angiografie je obvykle vo forme sekvenčných 2D snímok alebo voxelových dát, ktoré je potrebné transformovať do 3D modelov na efektívne zobrazenie a analýzu [1], [2].

Pri práci s dátami získanými z CT angiografie, ako sú voxelové alebo 2D snímky, sa často vyskytujú problémy s presnosťou a kvalitou rekonštrukcie 3D modelov. Tieto dáta sú často "neúplné" alebo "šumové", čo môže negatívne ovplyvniť presnosť diagnostických výstupov. V prípade 3D rekonštrukcie mračna bodov zo sekvenčných 2D snímok je potrebné presne extrahovať relevantné informácie o tvaroch, hrúbkach a umiestnení ciev a ich vetiev v ľudskom tele, aby sa zabezpečila vysoká úroveň presnosti a spoľahlivosti rekonštrukcie.



Obr.1 Ukážka 3D rekonštrukcie CT angiografie [1], [2]

Ciele projektu:

Cieľom tohto projektu je vyvinúť metodiku a algoritmy pre efektívnu 3D rekonštrukciu mračna bodov z CT angiografie. Projekt sa bude zameriavať na nasledujúce hlavné aspekty:

- 1) **Zlepšenie kvality rekonštrukcie 3D modelu:** Optimalizácia existujúcich metód pre lepšiu presnosť rekonštrukcie cievneho systému z 2D CT snímok.
- 2) **Detekcia a eliminácia šumu:** Vývoj techník na minimalizáciu vplyvu šumu a artefaktov, ktoré môžu vzniknúť počas zberu dát.
- 3) **Automatická segmentácia cievnych štruktúr:** Implementácia algoritmov na automatickú detekciu a segmentáciu cievnych štruktúr v rámci získaných dát.

Vyhodnotenie a validácia rekonštrukcie: Vytvorenie metód pre validáciu presnosti rekonštrukcie pomocou porovnania so skutočnými klinickými dátami alebo inými zobrazovacími technikami.

Metodológia projektu:

Na dosiahnutie týchto cieľov bude projekt využívať kombináciu pokročilých techník spracovania obrazov, strojového učenia a výpočtovej geometrie. Kľúčové oblasti zahŕňajú:

- 1) **Rekonštrukcia z 2D snímok:** Získané CT snímky sa spracujú pomocou techník, ako je algoritmus rekonštrukcie zo série 2D snímok do 3D modelu. Tento krok je kritický, pretože musí zachovať detailnosť a presnosť vaskulárnych štruktúr.

2) **Point Cloud extrakcia a analýza:** Po rekonštrukcii 3D modelu sa získajú dáta (mračno bodov), ktoré obsahujú informácie o jednotlivých bodoch v 3D priestore. Tieto body reprezentujú cievne štruktúry a ich geometrické vlastnosti.

3) **Algoritmy na detekciu a odstránenie šumu:** Na zlepšenie kvality dát sa budú používať metódy na detekciu a odstránenie šumu, ako aj pokročilé metódy filtrovania, ktoré zaručia spoľahlivosť 3D rekonštrukcie.

4) **Segmentácia a analýza štruktúr:** Na automatickú segmentáciu cievnych štruktúr sa použijú algoritmy strojového učenia a rozpoznávania obrazov, ktoré umožnia presnú detekciu cievnych štruktúr v komplexných 3D dátach.

5) **Validácia modelov:** Vytvorené 3D modely sa overia pomocou rôznych metód, ako je porovnanie s inými zobrazovacími technikami (napríklad magnetickou rezonanciou) alebo s klinickými údajmi od reálnych pacientov.

Výstupy a prínosy projektu:

1) **Zlepšenie presnosti diagnostiky:** Konečným cieľom tohto projektu je vytvoriť presné 3D modely, ktoré umožnia lepšie pochopenie a analýzu cievnych ochorení. Tieto modely môžu byť následne využité na plánovanie chirurgických zákrokov.

2) **Efektívnejšie plánovanie liečby:** Detekcia a segmentácia cievnych štruktúr v 3D priestore umožní chirurgom lepšie naplánovať operácie, ako je implantácia stentov alebo chirurgické odstránenie aneuryziem.

3) **Zníženie potreby invazívnych zákrokov:** S lepšou presnosťou v diagnostike a plánovaní liečby môžu lekári znížiť potrebu invazívnych procedúr, čo prinesie pacientom menšie riziko a rýchlejší zotavovací proces.

4) **Automatizácia analýzy dát:** Automatické metódy analýzy a segmentácie výrazne uľahčia a zrýchlia spracovanie veľkého množstva dát získaných z CT angiografie, čím sa zníži záťaž na zdravotníckych pracovníkov alepší sa efektívnosť práce.

Požadované kvality/znalosti študenta:

Pre úspešnú účasť na projekte by mal študent disponovať nasledujúcimi znalosťami a zručnosťami:

- Skúsenosti s programovacími jazykmi Python (pre strojové učenie, analýzu dát).
- Základné až pokročilé znalosti v oblasti strojového učenia, neurónových sietí.
- Skúsenosti s knižnicami ako TensorFlow, PyTorch na tréning a optimalizáciu modelov AI. Schopnosť efektívne pracovať v multidisciplinárnom tíme a komunikovať výsledky práce.

Financovanie:

TEF HEALTH - Testing and Experimentation Facility for Health, číslo projektu: 101100700, 2023 - 2027, podporná schéma: DIGITAL-2022-CLOUD-AI-02.

Referencie:

[1] X. Yang, D. Xia, T. Kin, and T. Igarashi, "Intra: 3D Intracranial Aneurysm Dataset for Deep Learning," In IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Seattle, WA, USA: IEEE, June 2020, pp. 2653–2663.

[2] D. Shao, X. Lu, and X. Liu, "3D Intracranial Aneurysm Classification and Segmentation via Unsupervised Dual-Branch Learning," In IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, Vol. 27, No. 4, pp. 1770-1779, April 2023.

4.8 Výskum a vývoj v oblasti kybernetickej bezpečnosti informačných systémov

Výskumný tím: LoDVP

Oblasť výskumu: Kybernetická bezpečnosť

Kontaktná osoba (školiteľ): doc. Ing. Slavomír Matúška, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2215	slavomir.matuska@uniza.sk	LoDVP

Výskum a vývoj v oblasti kybernetickej bezpečnosti informačných systémov

Opis projektu:

Projekt sa zameriava na návrh a postupnú implementáciu komplexného systému riadenia kybernetickej bezpečnosti informačných systémov. Hlavným cieľom je vytvorenie efektívnych procesov na identifikáciu, hodnotenie a riadenie bezpečnostných rizík s dôrazom na ochranu informačných aktív a minimalizáciu potenciálnych kybernetických hrozieb.

V rámci projektu sa realizuje identifikácia primárnych a podporných aktív informačných systémov, ako sú procesy, údaje, softvérové a hardvérové komponenty, siete a infraštruktúra. Na základe analýzy týchto aktív sa určia možné zraniteľnosti a vypracujú stratégie na ich minimalizáciu. Súčasťou projektu je aj vývoj metodík na nepretržitý monitoring bezpečnostných incidentov a hodnotenie efektivity implementovaných bezpečnostných opatrení.

Dôležitým prvkom projektu je návrh bezpečnostných mechanizmov, ktoré zabezpečia ochranu údajov a systémov pred neoprávneným prístupom, malvérom a inými kybernetickými hrozbami. Implementácia zahŕňa automatizované nástroje na detekciu bezpečnostných udalostí, systém správy incidentov a riešenia na ochranu integrity a dostupnosti informačných systémov.

Okrem technologických riešení sa projekt venuje aj zvyšovaniu povedomia a odborných kompetencií v oblasti kybernetickej bezpečnosti. Študenti a odborníci sa zapájajú do výskumu aktuálnych hrozieb, testovania bezpečnostných opatrení a prípravy analytických správ o kybernetických rizikách. Praktická časť zahŕňa prácu s modernými bezpečnostnými nástrojmi, analýzu reálnych bezpečnostných incidentov a návrh odporúčaní na zvýšenie bezpečnosti informačných systémov.

Projekt tak umožňuje prepojenie teoretických znalostí s praktickými skúsenosťami a prispieva k rozvoju inovatívnych riešení v oblasti kybernetickej bezpečnosti. Výstupy projektu sa následne implementujú do existujúcich bezpečnostných stratégií a procesov riadenia rizík, čím sa zvyšuje odolnosť informačných systémov voči neustále sa vyvíjajúcim kybernetickým hrozbám.

Ciele projektu:

Projekt je zameraný na prehĺbenie poznatkov a praktických skúseností študentov v oblasti ochrany informačných systémov pred kybernetickými hrozbami. Cieľom stáže je oboznámiť účastníkov s aktuálnymi trendmi v kybernetickej bezpečnosti a poskytnúť im možnosť analyzovať riziká a zraniteľnosti v informačných systémoch. V rámci stáže budú študenti skúmať bezpečnostné aspekty rôznych informačných systémov, identifikovať potenciálne hrozby a navrhovať adekvátne opatrenia na minimalizáciu rizík. Súčasťou projektu je aj návrh a implementácia bezpečnostných riešení na ochranu dát a systémov pred neoprávneným prístupom, malvérom či útokmi zameranými na narušenie dostupnosti služieb. Praktická časť stáže zahŕňa prácu s modernými bezpečnostnými nástrojmi, simuláciu kybernetických útokov a testovanie efektivity navrhnutých riešení. Účastníci si tak osvoja metodiky hodnotenia bezpečnostných rizík, princípy etického hackingu a stratégie obrany proti kybernetickým hrozbám.

Metodológia projektu:

Štúdium aktuálnych trendov v kybernetickej bezpečnosti

- Analýza moderných hrozieb a útokov na informačné systémy
- Preskúmanie bezpečnostných štandardov a osvedčených postupov
- Oboznámenie sa s nástrojmi na testovanie bezpečnosti

Analýza rizík a identifikácia zraniteľností

- Zber a vyhodnotenie informácií o existujúcich bezpečnostných opatreniach

- Testovanie systémov s cieľom identifikovať potenciálne slabé miesta
- Vypracovanie hodnotenia rizík a návrh opatrení na ich minimalizáciu

Návrh a implementácia bezpečnostných opatrení

- Vývoj a testovanie ochranných mechanizmov na zabezpečenie dát a systémov
- Aplikácia metód autentifikácie, šifrovania a prístupových kontrol
- Implementácia detekčných a monitorovacích nástrojov na prevenciu kybernetických hrozieb

Overenie a optimalizácia navrhnutých riešení

- Testovanie efektivity bezpečnostných opatrení v simulovaných scenároch
- Hodnotenie dopadu implementovaných riešení na výkon a bezpečnosť systému
- Dokumentácia a odporúčania na ďalší vývoj bezpečnostnej stratégie

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Všeobecný prehľad fungovania informačných systémov
 - Znalosť anglického jazyka
 - Pokročilá znalosť programovacích jazykov
 - Znalosť základných princípov etického hackingu a penetračného testovania (výhodou)
 - Schopnosť pracovať s Linuxovým prostredím (práca s terminálom, správa systémov, konfigurácia zabezpečenia)
 - Analytické a kritické myslenie pri riešení bezpečnostných incidentov a návrhu ochranných opatrení
 - Samostatnosť a schopnosť pracovať v tíme pri riešení bezpečnostných výziev
- Schopnosť analyzovať bezpečnostné riziká a zraniteľnosti

Financovanie:

Riadenie kybernetickej a informačnej bezpečnosti v prostredí UNIZA, 401101FMY1, 10/2024 - 09/2026, Európsky fond regionálneho rozvoja [1]

Kybernetická bezpečnosť v oblasti informačných systémov, S-103-0005/24, T2 - výsk. nie z verejnej správy - výskumná podnikateľská činnosť.

Referencie:

[1] <https://portal.itms21.sk/vyhlasena-vyzva/?id=3231>

[2] P. Sharma and H. Gupta, "Emerging Cyber Security Threats and Security Applications in Digital Era," 2024 11th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO), Noida, India, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICRITO61523.2024.10522181.

4.9 ML agenti v doprave – Zilina livelabs

Výskumný tím: LoDVP

Oblasť výskumu: informatika

Kontaktná osoba (školiteľ): doc. Ing. Miroslav Benčo, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2262	miroslav.benco@uniza.sk	LoDPV

ML agenti v doprave – Zilina livelabs

Opis projektu:

Projekt sa zameriava na využitie pokročilých techník umelej inteligencie, predovšetkým strojového učenia a neurónových sietí, na optimalizáciu dopravných tokov v mestskom prostredí. Hlavným cieľom je efektívne riadenie dopravy prostredníctvom predikcie dopravných situácií a detekcie abnormálneho správania účastníkov cestnej premávky.

Táto aktivita bude implementovaná formou realizácie virtuálnej simulácie vybraného úseku mestského dopravného systému v meste Žilina, čo umožní testovanie a optimalizáciu rôznych dopravných scenárov. Simulačný model dopravných tokov bude využívať umelú inteligenciu na analýzu dopravných údajov a predikciu kritických situácií s cieľom minimalizovať dopravné zápchy a zlepšiť celkovú mobilitu.

Aktivita v rámci projektu budú pokračovaním výstupov bakalárskej práce [1] a riešením úloh projektu SVaV-FEIT a možnosti využitia ML-Agents budú využité v rámci aktivity WP5.5 Serious Game projektu TEF-HEALTH.



Obr.1 Ukážka výstupu práce [1] pre simuláciu dopravného toku vo virtuálnom prostredí

Ciele projektu:

Ciele sú zamerané na efektívne riadenie dopravných tokov v mestskom prostredí pomocou umelej inteligencie. Hlavným účelom je vytvoriť pokročilý simulačný model, ktorý umožní predikciu dopravných situácií, optimalizáciu dopravy a testovanie rôznych scenárov v prípade dopravných obmedzení. Boli zadané tri hlavné ciele:

1. Vývoj simulačného modelu dopravných tokov – vytvorenie pokročilého modelu, ktorý umožní realistickú simuláciu dopravných situácií v konkrétnej časti mesta s využitím umelej inteligencie.
2. Predikcia a optimalizácia dopravných tokov – využitie algoritmov strojového učenia na analýzu dopravných údajov, identifikáciu vzorcov a optimalizáciu dopravných opatrení s cieľom zvýšiť plynulosť dopravy.
3. Simulácia dopadov dopravných obmedzení – testovanie vplyvu rôznych dopravných situácií, ako sú uzávierky, nehody alebo zmeny v organizácii dopravy, s cieľom nájsť efektívne riešenia na minimalizáciu negatívnych dopadov.

Metodológia projektu:

Na dosiahnutie stanovených cieľov bude využitá kombinácia 3D modelovania, pokročilých metód umelej inteligencie, simulácií dopravných tokov a analýzy dát. Kľúčovými aspektmi metodológie sú:

1. Vytvorenie simulačného prostredia pre vybranú časť mesta Žilina – modelovanie reálneho mestského prostredia na základe dostupných dopravných dát, mapových podkladov a priestorových informácií s cieľom dosiahnuť hodnovernú reprezentáciu dopravnej infraštruktúry.
2. Využitie platformy Unity ML-Agents – vývoj a tréning agentov umelej inteligencie v prostredí Unity ML-Agents, ktoré umožní realistickú simuláciu dopravných situácií a optimalizáciu rozhodovacích procesov na základe posilňovaného učenia (Reinforcement Learning).
3. Tvorba simulačného modelu dopravy – implementácia dopravného prostredia v Unity, kde budú simulované dopravné toky, križovatky a reakcie účastníkov cestnej premávky na rôzne scenáre (napr. dopravné zápchy, nehody, obmedzenia).

Požadované kvality/znalosti študenta:

Pre úspešnú účasť na projekte by mal študent disponovať nasledujúcimi znalosťami a zručnosťami:

- Skúsenosti s programovacími jazykmi Python (pre strojové učenie, analýzu dát) a C# (pre vývoj v Unity).
- Znalosť práce s vývojovým prostredím Unity a skúsenosti s Unity ML-Agents na tréning agentov umelej inteligencie.
- Základné až pokročilé znalosti v oblasti strojového učenia, neurónových sietí a posilňovaného učenia (Reinforcement Learning).
- Skúsenosti s knižnicami ako TensorFlow, PyTorch, Scikit-learn na tréning a optimalizáciu modelov AI.
- Schopnosť vytvoriť a prispôbiť simulačné prostredie podľa reálnych dopravných údajov.
- Schopnosť samostatne riešiť problémy spojené s návrhom, tréningom a testovaním AI modelov. Schopnosť efektívne pracovať v multidisciplinárnom tíme a komunikovať výsledky práce.

Financovanie:

[P1] Podaný projekt SVaV-FEIT

[P2] DIGITAL-2022-CLOUD-AI-02-TEF-HEALTH - Testing and Experimentation, Facility for Health (2023-2027)

Referencie:

[1] Iríčková Lucia, Virtuálna simulácia dopravnej situácie pomocou strojového učenia, KMIKT FEIT UNIZA, 2024, EZP045323.

[2] Imhemed, M., & Uzun, C. (2024). Assessment of an Agent's Wayfinding of the Urban Environment Through Reinforcement Learning. *Journal of Computational Design*, 5(2), 259-278. <https://doi.org/10.53710/jcode.1512798>

[3] Malleson N, Birkin M, Birks D, et al. Agent-based modelling for Urban Analytics: State of the art and challenges. *AI Communications*. 2022;35(4):393-406. doi:10.3233/AIC-220114

[4] Unity Technologies. ML-Agents Toolkit. GitHub. [Online 11.3.2025] <https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents>

4.10 Predikcia QoS v 5G sieti pomocou strojového učenia

Výskumný tím: Laboratórium mobilných komunikácií

Oblasť výskumu: informatika

Kontaktná osoba (školiť): doc. Ing. Juraj Machaj, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2236	juraj.machaj@uniza.sk	

Predikcia QoS v 5G sieti pomocou strojového učenia

Opis projektu:

S rastúcimi nárokmi na kvalitu sietí a vznikom nových služieb nasadzovaných v sieťach piatej generácie (5G), ako sú rozšírená (AR) a virtuálna realita (VR), je nevyhnutné efektívne monitorovať a predikovať kvalitu služieb (QoS – Quality of Services) a kvalitu zážitku používateľa (QoE – Quality of Experience) [1].

Výskum predikcie QoS a QoE v 5G sieťach pomocou strojového učenia je v súčasnosti intenzívne rozvíjanou oblasťou [2]. S rastúcim dopytom po službách s vysokými nárokmi na latenciu a priepustnosť, ako sú rozšírená a virtuálna realita, sa tradičné metódy monitorovania QoS ukazujú ako nedostatočné. Navyše s vývojom 5G Advanced a 6G sietí sa uvažuje o využití modelov strojového učenia na optimalizáciu siete [3]. Moderné prístupy využívajú umelú inteligenciu na predikciu QoE na základe historických dát, čím umožňujú dynamické prispôsobenie sieťových zdrojov. Existuje viacero datasetov z reálnych a simulovaných 5G prostredí [4]. Aktuálne výskumy sa zameriavajú na vývoj presnejších a efektívnejších modelov strojového učenia na zlepšenie kvality používateľskej skúsenosti. Trendom je využitie konvolučných neurónových sietí s hlbokým učením [5].

Hlavným cieľom tejto študentskej stáže je analyzovať existujúce datasety a modely strojového učenia vhodné na predikciu QoE v 5G sieťach. Stáž poskytne študentovi možnosť oboznámiť sa s najnovšími prístupmi a metódami, ako aj využitie umelej inteligencie na predikciu QoE v mobilných sieťach.

Konkrétne úlohy ktoré bude študent v rámci projektu riešiť:

- Analýza dostupných datasetov a metód predikcie QoE v 5G sieťach – študent preskúma a porovná existujúce datasety obsahujúce parametre QoS a QoE, identifikuje kľúčové faktory ovplyvňujúce kvalitu služieb a pripraví dáta na ďalšie spracovanie.
- Implementácia a testovanie modelov strojového učenia – študent navrhne, natrénuje a vyhodnotí rôzne modely (napr. regresné modely, neurónové siete) na predikciu QoS, pričom porovná ich presnosť a efektivitu.
- Optimalizácia modelov a aplikácia v simulovaných scenároch – študent upraví modely na základe výsledkov testovania a aplikuje ich na konkrétne scenáre v 5G sieťach, napríklad pre mobilných používateľov alebo aplikácie s nízkou latenciou.

Tento projekt poskytne študentovi možnosť pracovať na aktuálnej výskumnej téme s vysokým praktickým využitím. Predikcia QoE v 5G sieťach pomocou strojového učenia je dôležitá pre optimalizáciu siete a zlepšenie užívateľského zážitku, čo môže byť užitočné pre poskytovateľov sietí, vývojárov aplikácií aj koncových užívateľov.

Ciele projektu:

Cieľom projektu je zorientovať sa v oblasti hodnotenia QoS a QoE s dôrazom na využitie strojového učenia, analyzovať možnosti predikcie QoE pomocou strojového učenia a dostupné datasety. Cieľom je tiež implementovať modely predikcie QoE v mobilných sieťach pomocou strojového učenia a vyhodnotiť presnosť modelov. Parciálne ciele projektu je možné zosumarizovať v nasledujúcich bodoch:

- Analýza dostupných datasetov, ktoré obsahujú informácie o QoS a QoE v 5G prostredí a porovnanie parametrov, ktoré sa používajú na hodnotenie kvality služieb a zážitku.
- Implementácia a testovanie modelov strojového učenia na predikciu QoE.
- Optimalizácia a testovanie modelov na dostupných datasetoch.
- Vyhodnotene a analýza dosiahnutých výsledkov.

Metodológia projektu:

Výskumná stáž bude pozostávať z viacerých fáz, ktoré zahŕňajú teoretickú analýzu, experimentálnu časť a vyhodnotenie dosiahnutých výsledkov.

Štúdium a analýza literatúry

- Analýza existujúcich riešení a datasetov pre predikciu QoE v 5G sieťach.
- Identifikácia kľúčových faktorov ovplyvňujúcich QoS a QoE v 5G sieťach.

Experimentálna časť

- Spracovanie dostupných datasetov (napr. čistenie a transformácia údajov).
- Implementácia a prípadná modifikácia modelov strojového učenia pre predikciu QoE
- Testovanie modelov na overenie ich efektivity a presnosti.

Vyhodnotenie a analýza dosiahnutých výsledkov

- Porovnanie výkonnosti rôznych modelov.
- Návrh možností modifikácie a optimalizácie modelov na zvýšenie presnosti a efektivity predikcie.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosti v oblasti bezdrôtových sietí 5G a sieťových technológií.
- Základné znalosti metód strojového učenia.
- Znalosť programovacieho jazyka Python a knižníc (napr. TensorFlow, scikit-learn, Pandas, NumPy a pod.).
Schopnosť analyzovať a interpretovať výstupy modelov.

Financovanie:

VEGA 1/0580/25 Výskum efektívnych lokalizačných a komunikačných riešení v prostredí heterogénnych bezdrôtových sietí, 2025-2028

Názov projektu: Metodológia návrhu a dimenzovania a nástroj na výpočet úrovne signálu pre siete 4G a 5G RAN. Siemens Mobility, Projektová dohoda č. 1/2025, doba riešenia 2025.

Referencie:

- [1] R. D. Mardian, M. Suryanegara and K. Ramli, "Measuring Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) on 5G Technology: A Review," 2019 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD), Jakarta, Indonesia, 2019, pp. 1-6
- [2] N. Banović-Čurguz and D. Ilišević, "Mapping of QoS/QoE in 5G Networks," 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, Croatia, 2019, pp. 404-408
- [3] Gkonis, P. K., Nomikos, N., Trakadas, P., Sarakis, L., Xylouris, G., Masip-Bruin, X., & Martrat, J. (2024). Leveraging network data analytics function and machine learning for data collection, resource optimization, security and privacy in 6G networks. IEEE access, 12, 21320-21336.
- [4] S. Schwarzmann, C. C. Marquezan, R. Trivisonno, S. Nakajima, V. Barriac and T. Zinner, "ML-Based QoE Estimation in 5G Networks Using Different Regression Techniques," in IEEE Transactions on Network and Service Management, vol. 19, no. 3, pp. 3516-3532, Sept. 2022
- [5] G. Kougioumtzidis, A. Vlahov, V. K. Poulkov, P. I. Lazaridis and Z. D. Zaharis, "QoE Prediction for Gaming Video Streaming in O-RAN Using Convolutional Neural Networks," in IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 5, pp. 1167-1181, 2024

5 KATEDRA RIADIACICH A INFORMAČNÝCH SYSTÉMOV

5.1 Dáta pre digitálne dvojča

Výskumný tím: Inteligentná doprava

Oblasť výskumu: Aplikácie umelej inteligencie v doprave

Kontaktná osoba (školiteľ): prof. Ing. Aleš Janota, PhD. Eulng

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 3300	ales.janota@uniza.sk	

Dáta pre digitálne dvojča

Opis projektu:

Projekt s cieľom vytvoriť metodiku zberu a implementácie envirodát do systému **Digitálneho dvojčata** mesta (DDM) je vždy ambicióznym zámerom, ktorý sa sústreďuje na simuláciu, analýzu a optimalizáciu fyzických objektov, produktov a procesov v reálnom svete. Tento systém, ktorý bude integrovať rôzne oblasti ako dopravu, smart city infraštruktúru a environmentálne monitorovanie, má za cieľ prispieť k zlepšeniu rozhodovacích procesov, zefektívniť správu a poskytovať nové nástroje na riešenie výziev, ktoré čelí súčasná spoločnosť.

Kľúčové oblasti projektu

1. **Digitálne dvojčatá ako subsystém lokálneho DD**
2. **Intersektorová infraštruktúra digitálnych dvojčiat**
3. **Podpora samospráv a vzdelávanie**

Kľúčové domény a aplikácie

1. **Smart City – Efektívna správa mestských infraštruktúr**

V oblasti Smart City budú digitálne dvojčatá použité na optimalizáciu správy mestských infraštruktúr. To zahŕňa monitorovanie cez IoT senzory environmentálneho prostredia, napríklad sledovanie kvality ovzdušia, hluku alebo teploty, čo pomôže zlepšiť kvalitu života obyvateľov a zabezpečiť zdravšie mestské prostredie.

2. **Environmentálne monitorovanie a udržateľnosť**

Digitálne dvojčatá budú vhodné aj v oblasti environmentálneho monitorovania. Monitorovanie kvality ovzdušia, vody a ďalších ekologických faktorov sa stane efektívnejším, čím sa poskytne lepší základ na rozhodovanie o ochrane prírody a udržateľnosti mestských a regionálnych rozvojových plánov. Prostredníctvom integrácie dát o prírodných zdrojoch a klimatických zmenách sa zlepší správa a ochrana prírodného prostredia.

Využitie umelej inteligencie a strojového učenia

Optimalizácia procesov

Strojové učenie bude využité na optimalizáciu rôznych procesov v rámci verejných priestranstiev. Napríklad, v oblasti dopravy bude AI pomáhať optimalizovať tok dopravy, riadiť parkovanie či m dôjde k redukcii emisií. Je možné zlepšovať spotrebu energie v mestských budovách a častiach na základe predikcie vývoja počasia. Tieto procesy sa budú neustále zlepšovať na základe analýzy dát v reálnom čase.

Ciele projektu:

V intenciách celkovej podpory si projekt kladie za cieľ vytvorenie parciálnych (nie vždy úplných) riešení v oblastiach:

1. **Optimalizácia správy mestských infraštruktúr v rámci Smart City:**

Využitie digitálnych dvojčiat na optimalizáciu správy mestských infraštruktúr, ako je energetická efektívnosť, riadenie dopravy, parkovania a monitorovanie environmentálnych faktorov, čo prispeje k zlepšeniu kvality života v mestách.

2. **Monitorovanie a optimalizácia environmentálnych faktorov:**

Využitie digitálnych dvojčiat na monitorovanie a analýzu environmentálnych parametrov, ako je kvalita ovzdušia, teplota, vlhkosť a ekologický stav, s cieľom zlepšiť rozhodovanie o ochrane prírody a udržateľnosti mestských a regionálnych rozvojových plánov.

3. **Koncept školení:**

Navrhnuť rámcový koncept podpory pre samosprávy. Súčasťou takéhoto konceptu by mohla byť metodika obsahujúca jednotlivé potrebné kroky k tomu, aby školený personál mesta vedel aktívne pracovať s daným nástrojom.

Čo môže projekt priniesť pre špecifické oblasti správy mesta a skupiny osôb?

Samosprávy a občania

Pre samosprávy prináša digitálne dvojčta efektívnejšie riadenie verejných zdrojov a lepšiu optimalizáciu mestských infraštruktúr. Tento systém umožní presnejšie plánovanie a flexibilnejšie rozhodovanie. Občania získajú prístup k otvoreným dátam a interaktívnym platformám, ktoré im umožnia lepšie rozhodovať o bývaní, mobilite a životnom prostredí.

Metodológia projektu:

Projekt si za úlohu kladie vytvorenie kostry systém, ktorý môže prispieť k zlepšeniu efektivity správy miestnych a regionálnych infraštruktúr. Na základe pokročilých technológií, ako sú digitálne dvojčatá, IoT, AI a analýza dát, sa podarí zlepšiť kvalitu života obyvateľov a prispieť k ochrane prírody.

Metodológia tohto projektu bude založená na integrácii pokročilých technológií, ako sú digitálne dvojčatá, IoT zariadenia, umelá inteligencia a strojové učenie, ktoré umožnia efektívne monitorovanie, analýzu a optimalizáciu infraštruktúr mesta na lokálnej úrovni. Prvým krokom bude vytvorenie virtuálnej siete IOT zariadení na cestnej infraštruktúra, okolí cestnej infraštruktúry a mestské oblasti na príklade mesta Žilina. Tieto sa prepoja so senzorickými dátami z reálnych zariadení IoT, ktoré sú schopné neustále monitorovať stavy a parametre infraštruktúr v reálnom čase. Následne sa tieto dáta spracujú a analyzujú pomocou algoritmov strojového učenia, aby sa identifikovali vzory, poruchy alebo prediktívne faktory, ktoré umožnia efektívne riadiť a znižovať spotrebu energií v oblasti.

Požadované kvality/znalosti študenta:

Riešiteľ/študent projektu vytvárania **lokálneho digitálneho dvojčata** (DT) by mal mať túto škálu technických, analytických a projektových znalostí. Medzi kľúčové oblasti, ktoré by mal ovládať, patria:

1. Znalosti z oblasti digitálnych dvojčiat (DT):

Koncepty digitálnych dvojčiat: Pochopenie toho, čo digitálne dvojčta je, ako funguje a aké má aplikácie v rôznych doménach. Tvorba a simulácia digitálnych dvojčiat: Schopnosť vytvoriť a implementovať modely digitálnych dvojčiat, ktoré reprezentujú reálne objekty alebo procesy. Integrácia fyzických a digitálnych systémov: Schopnosť prepojiť digitálne dvojčta s reálnymi senzorickými systémami a IoT zariadeniami na získanie dát v reálnom čase.

2. Znalosti z oblasti Internetu vecí (IoT):

IoT zariadenia a senzory: Schopnosť pracovať s rôznymi IoT zariadeniami, ako sú senzory na meranie kvality ovzdušia, teploty, vlhkosti, kvality vody, a ďalších environmentálnych faktorov. Zber a analýza dát zo senzorov: Znalosť, ako implementovať a spracovávať údaje zo senzorov v reálnom čase, ako aj zabezpečiť ich integráciu do systému digitálnych dvojčiat.

3. Umelá inteligencia (AI) a strojové učenie:

Aplikácie strojového učenia a umelej inteligencie: Schopnosť vyvinúť modely strojového učenia na rozpoznávanie vzorcov v dátach a predikciu problémov v reálnom čase. Prediktívne modely: Znalosť vytvárania modelov, ktoré umožnia predikovať vývoj porúch alebo problémov v infraštruktúre na základe historických a reálnych dát. Rozpoznávanie vzorcov: Zručnosti v technikách ako klasifikácia, regresia a ďalšie metódy, ktoré umožnia rozpoznať kritické situácie v mestských a regionálnych systémoch.

4. Znalosti v oblasti smart cities a udržateľného rozvoja:

Smart City koncepty: Pochopenie princípov smart cities a schopnosť implementovať riešenia, ktoré zlepšujú kvalitu života obyvateľov pomocou technológií ako IoT, AI a digitálnych dvojčiat. Udržateľnosť a environmentálne riešenia: Znalosť ekologických a udržateľných riešení v oblasti správy mestských infraštruktúr a environmentálneho monitorovania, vrátane využitia digitálnych dvojčiat na zlepšenie kvality ovzdušia, vody a znižovanie emisií.

Financovanie:

APVV-24-0372 Výskum nízkonákladovej detekcie vozidiel cestnej premávky s ich kategorizáciou pre potreby digitálneho dvojčata mesta (podané)

NFP401101C535 „Transportation Research, Analytics, Novel Sensors and Modeling. (podané)

Referencie:

[1] Tichý T., Brož J., Stefan J., Pírník R.: Failure analysis and data-driven maintenance of road tunnel equipment. Results in Engineering, 18, 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101034

- [2] Kafková J., Babušiak B., Pirník R., Kuchár P., Kekelák J., D'Ippolito F.: Seat to beat: Novel capacitive ECG integration for in-car cardiovascular measurement. *Measurement*, Vol. 240, 2025, 115528, ISSN 0263-2241, doi: 10.1016/j.measurement.2024.115528
- [3] Kuchár P., Pirník R., Kafková J., Tichý T., Ďurišová J., Skuba M.: SCAN: Surveillance camera array network for enhanced passenger detection. *IEEE Access*, Vol. 12, pp. 115237-115255, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3443638
- [4] Janota A., Kalus F., Pirník R., Kafková J., Kuchár P., Skuba M., Holečko P.: Reinforcement learning approach to adaptive traffic signal control using SUMO-RL. In: 2024 25th International Carpathian Control Conference Proceedings, 1. vyd., Danvers: Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 1-6., 2024, ISBN 979-8-3503-5070-8

5.2 Digitálne dvojča mesta

Výskumný tím: Inteligentná doprava

Oblasť výskumu: Aplikácie umelej inteligencie v doprave

Kontaktná osoba (školiteľ): doc. Ing. Rastislav Pirník, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 3351	rastislav.pirnik@uniza.sk	

Digitálne dvojča mesta

Opis projektu:

Projekt s cieľom vytvoriť **Digitálne dvojča mesta** (DD) je ambiciózny zámer, ktorý sa sústreďuje na simuláciu, analýzu a optimalizáciu fyzických objektov, produktov a procesov v reálnom svete. Tento systém, ktorý bude integrovať rôzne oblasti ako dopravu, smart city infraštruktúru a environmentálne monitorovanie, má za cieľ prispieť k zlepšeniu rozhodovacích procesov, zefektívniť správu a poskytovať nové nástroje na riešenie výziev, ktoré čelí súčasná spoločnosť.

Kľúčové oblasti projektu

1. Digitálne dvojčatá ako subsystém lokálneho DD

Hlavným cieľom projektu je vytvorenie prepojených digitálnych dvojčiat (prípadne navrhnuť vrstvom model DD) v rôznych sektoroch (ako doprava, zdravie, životné prostredie a infraštruktúra), ktoré budú spolu tvoriť komplexný lokálny systém. Tento systém umožní analyzovať a simulovať rôzne procesy, čo následne poskytne údaje potrebné na optimalizáciu správy infraštruktúr a verejných služieb. Prepojenie digitálnych dvojčiat na lokálnej úrovni bude predstavovať centralizovaný a holistický pohľad na celkový stav infraštruktúry a životného prostredia.

2. Intersektorová infraštruktúra digitálnych dvojčiat

Zabezpečenie interoperability medzi verejným a súkromným sektorom je kľúčové. Tým sa umožní zdieľanie dát medzi rôznymi oblasťami, čím sa zlepši efektivita rozhodovacích procesov v rôznych oblastiach. Vytvorenie spoločnej platformy, ktorá umožní integráciu a analýzu údajov naprieč rôznymi sektormi, bude základom pre optimálne využitie digitálnych dvojčiat.

3. Podpora samospráv a vzdelávanie

Pre úspešnú implementáciu digitálnych dvojčiat bude časom nevyhnutné poskytnúť odborné školenia miestnym samosprávam. Tieto školenia zlepšia schopnosť využívať digitálne dvojčatá na riadenie a optimalizáciu miestnych infraštruktúr a verejných služieb a podporí využívanie tohto nástroja na miestnej úrovni.

Kľúčové domény a aplikácie

1. Doprava a dopravná infraštruktúra

Digitálne dvojčatá budú kľúčovým nástrojom na monitorovanie a analýzu cestnej siete. Pomocou senzorov a inteligentných dopravných systémov (ITS) bude možné identifikovať kritické poruchy ako výtlky, poškodené vpusty, prekopávky ciest alebo nefunkčné dopravné značenie. Tento systém bude zároveň umožňovať optimalizáciu údržby a opráv. Na základe reálnych dát bude systém schopný automatizovane prioritizovať opravy a predikovať potenciálne poruchy infraštruktúry. Predikcie vývoja porúch a degradácie infraštruktúry umožnia efektívnejšie plánovanie opráv a investícií.

2. Environmentálne monitorovanie a udržateľnosť

Digitálne dvojčatá budú vhodné aj v oblasti environmentálneho monitorovania. Monitorovanie kvality ovzdušia, vody a ďalších ekologických faktorov sa stane efektívnejším, čím sa poskytne lepší základ na rozhodovanie o ochrane prírody a udržateľnosti mestských a regionálnych rozvojových plánov. Prostredníctvom integrácie dát o prírodných zdrojoch a klimatických zmenách sa zlepši správa a ochrana prírodného prostredia.

Využitie umelej inteligencie a strojového učenia

1. Rozpoznávanie porúch a predikcia problémov

Digitálne dvojčatá budú využívať umelú inteligenciu a strojové učenie na detekciu problémov a porúch v cestnej infraštruktúre. Tieto technológie sa budú používať na tréning modelov, ktoré dokážu predpovedať, kde a kedy dôjde k možným poruchám. Tento prístup umožní proaktívne rozhodovanie o potrebných opravách a optimalizácii infraštruktúry.

Ciele projektu:

V intenciách celkovej podpory si projekt kladie za cieľ vytvorenie parciálnych (nie vždy úplných) riešení v oblastiach:

1. Vytvorenie Lokálneho Digitálneho Dvojčata:

Vybudovanie lokálneho digitálneho dvojčata, ktoré bude fungovať ako pokročilý nástroj na simuláciu, analýzu a optimalizáciu fyzických objektov, produktov a procesov v reálnom svete, s aplikáciou v oblastiach ako doprava, energetika, zdravie, životné prostredie a infraštruktúra.

2. Prepojenie lokálnych digitálnych dvojčiat v rôznych vrstvách a sektoroch:

Budovanie prepojených digitálnych dvojčiat v rôznych doménach (doprava, energetika, zdravie, životné prostredie) na lokálnej úrovni ako súčasť väčšieho integrovaného systému.

3. Optimalizácia dopravnjej infraštruktúry:

Aplikácia digitálnych dvojčiat na monitorovanie stavu cestnej siete, detekciu porúch a optimalizáciu údržby a opráv dopravnej infraštruktúry. Predikcia vývoja porúch a degradácie infraštruktúry na základe analýzy trendov a reálnych dát.

4. Koncept školení:

Navrhnuť rámcový koncept podpory pre samosprávy. Súčasťou takéhoto konceptu by mohla byť metodika obsahujúca jednotlivé potrebné kroky k tomu, aby školený personál mesta vedel aktívne pracovať s daným nástrojom.

Čo môže projekt priniesť pre špecifické oblasti správy mesta a skupiny osôb?

Samosprávy a občania

Pre samosprávy prináša digitálne dvojča efektívnejšie riadenie verejných zdrojov a lepšiu optimalizáciu mestských infraštruktúr. Tento systém umožní presnejšie plánovanie a flexibilnejšie rozhodovanie. Občania získajú prístup k otvoreným dátam a interaktívnym platformám, ktoré im umožnia lepšie rozhodovať o bývaní, mobilite a životnom prostredí.

Metodológia projektu:

Projekt si za úlohu kladie vytvorenie kostry systému, ktorý môže prispieť k zlepšeniu efektivity správy miestnych a regionálnych infraštruktúr. Na základe pokročilých technológií, ako sú digitálne dvojčata, IoT, AI a analýza dát, sa podarí zlepšiť kvalitu života obyvateľov.

Metodológia tohto projektu bude založená na integrácii pokročilých technológií, ako sú digitálne dvojčata, IoT zariadenia, umelá inteligencia a strojové učenie, ktoré umožnia efektívne monitorovanie, analýzu a optimalizáciu infraštruktúr mesta na lokálnej úrovni. Prvým krokom bude vytvorenie základných digitálnych modelov, ktoré budú reprezentovať konkrétne fyzické objekty, ako sú cestná infraštruktúra a okolie cestnej infraštruktúry. Tieto modely budú integrované so senzorickými dátami zo zariadení IoT, ktoré sú schopné neustále monitorovať stavy a parametre infraštruktúr v reálnom čase. Následne sa tieto dáta spracujú a analyzujú pomocou algoritmov strojového učenia, aby sa identifikovali vzory, poruchy alebo prediktívne faktory, ktoré umožnia efektívne riadiť a optimalizovať cestnú infraštruktúru a dopravné procesy.

Požadované kvality/znalosti študenta:

Riešiteľ/študent projektu vytvárania **lokálneho digitálneho dvojčata** (DT) by mal mať túto škálu technických, analytických a projektových znalostí. Medzi kľúčové oblasti, ktoré by mal ovládať, patria:

1. Znalosti z oblasti digitálnych dvojčiat (DT):

Koncepty digitálnych dvojčiat: Pochopenie toho, čo digitálne dvojča je, ako funguje a aké má aplikácie v rôznych doménach. Tvorba a simulácia digitálnych dvojčiat: Schopnosť vytvoriť a implementovať modely digitálnych dvojčiat, ktoré reprezentujú reálne objekty alebo procesy. Integrácia fyzických a digitálnych systémov: Schopnosť prepojiť digitálne dvojča s reálnymi senzorickými systémami a IoT zariadeniami na získanie dát v reálnom čase.

2. Umelá inteligencia (AI) a strojové učenie:

Aplikácie strojového učenia a umelej inteligencie: Schopnosť vyvinúť modely strojového učenia na rozpoznávanie vzorcov v dátach a predikciu problémov v reálnom čase. Prediktívne modely: Znalosť vytvárania modelov, ktoré umožnia predikovať vývoj porúch alebo problémov v infraštruktúre na základe historických a reálnych dát. Rozpoznávanie vzorcov: Zručnosti v technikách ako klasifikácia, regresia a ďalšie metódy, ktoré umožnia rozpoznať kritické situácie v mestských a regionálnych systémoch.

Financovanie:

APVV-24-0372 Výskum nízkonákladovej detekcie vozidiel cestnej premávky s ich kategorizáciou pre potreby digitálneho dvojčata mesta (podané)
NFP401101C535 „Transportation Research, Analytics, Novel Sensors and Modeling. (podané)

Referencie:

- [1] Tichý T., Brož J., Stefan J., Pirník R.: Failure analysis and data-driven maintenance of road tunnel equipment. *Results in Engineering*, 18, 2023, doi: [10.1016/j.rineng.2023.101034](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101034)
- [2] Kafková J., Babušiak B., Pirník R., Kuchár P., Kekelák J., D'Ippolito F.: Seat to beat: Novel capacitive ECG integration for in-car cardiovascular measurement. *Measurement*, Vol. 240, 2025, 115528, ISSN 0263-2241, doi: [10.1016/j.measurement.2024.115528](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115528)
- [3] Kuchár P., Pirník R., Kafková J., Tichý T., Ďurišová J., Skuba M.: SCAN: Surveillance camera array network for enhanced passenger detection. *IEEE Access*, Vol. 12, pp. 115237-115255, 2024, doi: [10.1109/ACCESS.2024.3443638](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3443638)
- [4] Janoša A., Kalus F., Pirník R., Kafková J., Kuchár P., Skuba M., Holečko P.: Reinforcement learning approach to adaptive traffic signal control using SUMO-RL. In: *2024 25th International Carpathian Control Conference Proceedings*, 1. vyd., Danvers: Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 1-6., 2024, ISBN 979-8-3503-5070-8

5.3 Bezpečné spracovanie obrazu

Výskumný tím: Riadiace systémy a ich bezpečnosť

Oblasť výskumu: Bezpečnosť riadiacich systémov

Kontaktná osoba (školiteľ): doc. Ing. Juraj Ždánsky, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 3342	juraj.zdansky@uniza.sk	https://kris.uniza.sk

Bezpečné spracovanie obrazu

Opis projektu:

Spracovanie obrazu vrátane detekcie objektov v obraze je bežnou súčasťou komerčne dostupných systémov. Tieto systémy však nedosahujú niektorú z úrovní integrity bezpečnosti (SIL – Safety Integrity Level) definovanú v [1] a preto nemôžu byť použité v aplikáciách, kde potenciálne zlyhanie detekcie obrazu môže viesť k poškodeniu zdravia, ohrozeniu života alebo životného prostredia, prípadne k rozsiahlym materiálnym škodám. Použitie detekcie obrazu v uvedených aplikáciách si vyžaduje taký prístup k detekcii obrazu, ktorý zaisťuje spracovanie obrazu vzhľadom na definovanú funkciu s požadovanou SIL.

Súčasná situácia v oblasti využívania kamerových systémov v aplikáciách súvisiacich s bezpečnosťou je obmedzená, pričom hlavný dôraz sa kladie na detekciu objektov relevantných pre organizačnú bezpečnosť (napr. detekcia prílief a iných ochranných prvkov). Analýzu súčasného stavu vzhľadom na zámer internej výskumnej stáže možno zhrnúť do nasledujúcich bodov:

1. Hodnotenie objektovej detekcie

Článok [2] predstavuje metódu BFAN (Blur-Aware Feature Aggregation Network), ktorá zlepšuje detekciu objektov vo videu pri prítomnosti rozmazania, ako je pohybové rozmazanie a defokus. Táto metóda znižuje váhu rozmazaných snímok a uprednostňuje ostrejšie snímky, čím zvyšuje spoľahlivosť detekcie. Výhodou je vyššia priemerná presnosť detekcie (mAP 79,1 %), čo je o tri percentuálne body viac ako existujúce metódy. Hoci mierne zvyšuje výpočtovú náročnosť, zostáva dostatočne efektívna na spracovanie v reálnom čase.

Článok [3] sa zaoberá nedostatkami tradičných metrických detekcie objektov v autonómnom riadení, pričom štandardné metriky ako Average Precision (AP) neberú do úvahy kontext dôležitosti objektov. Navrhovaný model kritickosti objektov zahŕňa faktory ako vzdialenosť, trajektóriu a čas do kolízie (TTC), čím umožňuje presnejšie hodnotenie detekcie. Testovanie na nuScenes dataset ukázalo, že pri hodnotení pomocou APcrit sa výrazne menilo poradie najvýkonnejších detektorov v porovnaní s tradičnými metrikami.

2. Detekcia objektov v bezpečnostných aplikáciách

Článok [4] predstavuje inteligentný video-monitorovací systém využívajúci virtuálne ploty na detekciu neoprávneného vstupu. Pri horizontálnom prekročení hranice sa využíva časovo rozdielové spracovanie obrazu, zatiaľ čo pri vertikálnom prekročení (napr. preliezanie) sa používa spatio-temporálna analýza s optickým tokom. Systém funguje v reálnom čase a poskytuje interaktívnu väzbu na úpravu citlivosti detekcie.

Článok [5] sa venuje detekcii bezpečnostných prílief pomocou modelu FD-YOLOv5, ktorý kombinuje fuzzy logiku na odstránenie šumu z nekvalitných CCTV záznamov. Tento model dosiahol presnosť 93,8 % (mAP) a je optimalizovaný na spracovanie 76 snímok za sekundu, čo umožňuje nasadenie v priemyselných zónach a stavebných projektoch.

3. Detekcia popredia a pozadia

Jedným z hlavných problémov pri detekcii popredia je zmena osvetlenia. Článok [6] navrhuje robustný algoritmus založený na blokovom RPCA (Robust PCA), ktorý kombinuje rozdiel troch snímok s Kalmanovým filtrom na vyhladenie trajektórií objektov. Výsledky ukazujú, že táto metóda prekonáva tradičné detekčné algoritmy, najmä v dynamických scénach.

Článok [7] sa zaoberá detekciou obsadenosti sedadiel v automobiloch pomocou metód segmentácie popredia a pozadia. Porovnáva tri prístupy: Gaussian Mixture Models (GMM), Morphological Snakes a Mask R-CNN. Mask R-CNN dosiahol najlepšie výsledky, pričom využil transferové učenie a dataset COCO na zlepšenie výkonu. Výsledky ukazujú, že hlboké učenie je najspoľahlivejším riešením pre interiérové snímanie vo vozidlách.

Článok [8] porovnáva sedem existujúcich algoritmov detekcie popredia odolných voči zmenám osvetlenia a predstavuje nový prístup založený na výpočte entropie video scény. Ak sa zistí významná zmena osvetlenia, algoritmus obnoví pôvodný model pozadia, inak sa model postupne aktualizuje. Tento hybridný prístup prekonáva Gaussovské zmesové modely (GMM) v prípadoch náhlych zmien svetla, pričom si zachováva nízku výpočtovú náročnosť a je vhodný na použitie v reálnom čase.

Z uvedeného prehľadu súčasného stavu je zrejмый fakt, že na trhu nie sú komerčne dostupné zariadenia, resp. metódy, ktoré by vyhodnocovali obraz s definovanou úrovňou SIL (ďalej len bezpečné vyhodnocovanie obrazu).

Existencia takéhoto systému by však mohla mať široké uplatnenie predovšetkým v oblasti riadenia priemyselných a dopravných procesov.

V oblasti priemyselných procesov by sa dali konvenčné metódy snímania vniknutia človeka do nebezpečnej zóny (napr. optická závara, laserový skener a pod.) nahradiť bezpečnou detekciou človeka v definovanej oblasti prostredníctvom systému bezpečného spracovania obrazu (SBSO). To by výrazne uľahčilo konštrukciu celého priemyselného systému, pretože by mohlo dôjsť k eliminácii oplotenia a konštrukčných prvkov využívaných pri konvenčných metódach snímania.

V oblasti riadenia dopravných procesov by bezpečná detekcia obrazu mohla prispieť k zvýšeniu efektivity riadenia mestskej dopravy na križovatkách a prechodoch pre chodcov prostredníctvom bezpečnej detekcie voľnosti zdieľaných častí vozovky, ktorá umožní skrátiť prestoje vyplývajúce z pesimistických predpokladov o pohybe vozidiel a chodcov.

Cieľom študenta v rámci internej výskumnej stáže bude spolupracovať pri vývoji metód a hardvérového riešenia systému bezpečného spracovania obrazu.

Ciele projektu:

Cieľom projektu internej výskumnej stáže študenta je spolupráca na vývoji metód a hardvérového riešenia bezpečného spracovania obrazu. Tento hlavný cieľ bude pozostávať z čiastkových cieľov, medzi ktoré patrí predovšetkým:

- Vytvorenie pracoviska na získanie datasetu snímok vhodných na vývoj a testovanie algoritmov bezpečného snímania obrazu.
- Spracovanie datasetu vhodným algoritmom (algoritmami) detegujúcimi zmeny v obraze.
- Analýza chybovosti algoritmu (algoritmov).
- Spolupráca na vývoji hardvéru s viackanálovou architektúrou vhodnou na bezpečné vyhodnocovanie obrazu.

Metodológia projektu:

Problém bezpečného spracovania obrazu možno rozdeliť na dva úzko súvisiace problémy. Prvý problém spočíva vo voľbe hardvérovej architektúry, ktorá umožní dosiahnuť požadovanú úroveň integrity bezpečnosti (SIL). Druhý problém spočíva v návrhu algoritmu, ktorý s využitím zvolenej hardvérovej architektúry spracuje zosnímaný obraz s definovanou SIL. Vstupom systému bezpečného spracovania obrazu (SBSO) bude obraz z kamerového systému. Podľa zvolenej hardvérovej architektúry môže ísť o obraz z jednej kamery alebo z viacerých kamier snímajúcich rovnakú scénu. Výstup SBSO môže byť rôzny v závislosti od stanovených požiadaviek.

V jednoduchšom prípade môže byť výstupom SBSO bezpečná informácia o zmene v obraze v definovanej zóne. Zmena obrazu v definovanej zóne môže predstavovať napríklad priblíženie sa človeka k nebezpečnej zóne v priemyselnej aplikácii (čo následne musí viesť k eliminácii nebezpečenstva, napr. zastavením stroja).

V zložitejšom prípade môže byť výstupom SBSO informácia o presnej polohe sledovaného objektu v nebezpečnej zóne. V priemyselnej aplikácii to môže znamenať polohu človeka vzhľadom na nebezpečnú zónu (čo následne musí viesť k úmernému zníženiu nebezpečenstva, napr. spomalením stroja; spomalenie stroja je úmerné vzdialenosti človeka od stroja, nemusí však nevyhnutne viesť k úplnému zastaveniu stroja).

Vzhľadom na relatívne málo prebádanú oblasť bezpečného vyhodnocovania obrazu sa projekt zameriava na jednoduchšiu možnosť – bezpečnú detekciu zmeny obrazu v definovanej zóne. To znamená, že výstupom SBSO je bezpečná binárna informácia o zmene obrazu v definovanej zóne.

Študent internej výskumnej stáže bude zapojený do výskumného tímu venujúceho sa návrhu SBSO. V rámci riešenia uvedeného problému bude riešiť čiastkové úlohy zapadajúce do konceptu riešenia uvedeného projektu. Interná výskumná stáž je rozčlenená na tri fázy, ktoré korelujú s tromi semestrami počas ktorých má byť študent na stáži.

V prvej fáze sa študent oboznámi so súčasným stavom riešenia a možnými postupmi pri riešení daného problému. Následne bude poverený návrhom a realizáciou pracoviska na získanie datasetu snímok vhodných na vývoj a testovanie bezpečného snímania obrazu. Návrh bude pozostávať z výberu vhodnej kamery a súvisiaceho hardvéru a softvéru na zaznamenanie datasetu. Realizácia pracoviska sa predpokladá vo viacerých variantoch, ktoré umožnia získanie datasetu v rôznych podmienkach, čím sa eliminujú rôzne chyby spracovania obrazu.

V druhej fáze bude študent spolupracovať na vývoji metódy bezpečného spracovania obrazu. Prínos študenta sa predpokladá predovšetkým v testovaní chybovosti rôznych algoritmov spracovania obrazu. Testy sa vykonajú na datasete získanom v prvej fáze.

V tretej fáze bude študent spolupracovať na vývoji hardvéru s viackanálovou architektúrou vhodnou na bezpečné vyhodnocovanie obrazu. Úlohou študenta bude otestovať metódy synchronizácie jednotlivých kanálov s vyhodnotením časových nárokov na spracovanie obrazu.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Skúsenosti s programovaním (PLC, C++, ...).
- Znalosť základných princípov viackanálových architektúr riadiacich systémov.
- Základné znalosti z oblasti spracovania obrazu.
- Znalosť anglického jazyka – nevyhnutnosť štúdia literatúry v angličtine.

Ochota učiť sa a skúšať nové veci.

Financovanie:

Servisná robotika Slovensko, ITMS21 29012025, 2026-2029

Špeciálne funkcie v priemyselných aplikáciách, KEGA č. 030ŽU-4/2025, 2025-2027

Systémy inteligentných dopravných prostriedkov, projekt v rámci plánu obnovy, UNIZA-FEIT

Referencie:

- [1] EN 61508, "Functional safety of electrical/ electronic/programmable electronic safety-related systems," 2010.
- [2] WU, Yujie, et al. Video object detection guided by object blur evaluation. IEEE Access, 2020, 8: 208554-208565. Online: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9262895>
- [3] CECCARELLI, Andrea; MONTECCHI, Leonardo. Evaluating object (mis) detection from a safety and reliability perspective: discussion and measures. IEEE Access, 2023, 11: 44952-44963. Online: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10115418>
- [4] SIVAGURUNATHAN, Sathishkumar, et al. Automatic detection of entry into a restricted area. In: Fifth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT). IEEE, 2014. p. 1-5. Online: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6963126>
- [5] SADIQ, Mohd; MASOOD, Sarfaraz; PAL, Om. FD-YOLOv5: a fuzzy image enhancement based robust object detection model for safety helmet detection. International Journal of Fuzzy Systems, 2022, 24.5: 2600-2616. Online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40815-022-01267-2>
- [6] YANG, Biao; ZOU, Ling. Robust foreground detection using block-based RPCA. Optik, 2015, 126.23: 4586-4590. Online : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030402615008256>
- [7] DRYGALA, Claudia, et al. Background-foreground segmentation for interior sensing in automotive industry. Journal of Mathematics in Industry, 2022, 12.1: 13. Online : <https://link.springer.com/article/10.1186/s13362-022-00128-9>
- [8] KARTHIKEYAN, P. R.; SAKTHIVEL, P.; KARTHIK, T. S. Comparative study of illumination-invariant foreground detection. the Journal of Supercomputing, 2020, 76.4: 2289-2301. Online : <https://link.springer.com/article/10.1007/s11227-018-2488-1>

**6 KATEDRA TEORETICKEJ ELEKTROTECHNIKY
A BIOMEDICÍNSKEHO INŽIERSTVA**

6.1 Návrh a realizácia experimentálnych meraní simulujúcich jazdu v automobile za účelom analýzy únavy vodiča

Výskumný tím: Inteligentné senzorické systémy v biomedicíne

Oblasť výskumu: Vývoj senzorických systémov pre snímanie signálov pre oblasť medicínskej diagnostiky

Kontaktná osoba (školiteľ): doc. Ing. Branko Babušiak, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2147	branko.babusiak@uniza.sk	

Návrh a realizácia experimentálnych meraní simulujúcich jazdu v automobile za účelom analýzy únavy vodiča

Opis projektu:

Interná výskumná stáž sa bude zaoberať jedným z cieľov aktuálne riešeného projektu na Katedre teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžinierstva, ktorý je finančne podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja pod číslom APVV-22-0423. Názov projektu je „Vývoj modulárneho systému automobilu pre monitorovanie zdravotného stavu a únavy vodiča“ a hlavným cieľom projektového zámeru je aplikovaný výskum v oblasti vývoja modulárneho monitorovacieho systému v podobe asistenčného systému vozidla pre detekciu únavy a zdravotného stavu vodiča. Riešený projekt má prispieť k rozšíreniu základných poznatkov v oblasti neinvazívnych snímacích systémov a progresívnych materiálov na báze inteligentných elektrovodivých textílií, špeciálnych textilných materiálov, kompozitných materiálov a biomedicínskych senzorov schopných snímať základné vitálne funkcie vodiča s cieľom zvýšenia bezpečnosti cestnej premávky. Výsledkom riešenia projektu bude funkčný prototyp modulárneho monitorovacieho systému zabudovaného do funkčných častí interiéru vozidla, ktorý bude otestovaný vykonaním laboratórnych a cestných skúšok na elektromobile EDISON. Predkladaný projekt je reakciou na rastúce štatistiky nehodovosti v SR a Európe z dôvodu únavy vodiča a následnej straty pozornosti resp. mikrospánku.

Strata pozornosti a mikrospánok sa prejavujú najviac pri dlhých monotónnych jazdách a vo svete spôsobujú viac ako 30 % dopravných nehôd. Medzinárodný výskum v oblasti systémov sledovania resp. monitorovania stavu vodiča sa zatiaľ opiera o veľmi nedostatočné znalosti biologických prejavov únavy živého organizmu. Zatiaľ najúspešnejšie systémy vychádzajú zo skutočnosti, že **vplyvom únavy sa spomaľuje činnosť centrálnych nervových štruktúr. Spomalenie kognitívnych činností je sprevádzané spomalením svalovej motoriky na okohybných svaloch a svaloch ruky. Súčasne prebieha vývoj v oblasti systémov založených na meraní fyziologických veličín spojených s činnosťou srdca, mozgu a svalov.**

Aktuálnosť cieľov dokazujú odborné články z posledných rokov, ktoré sa venujú problematike detekcie únavy vodiča v automobile. Mnohé odborné práce sa zaoberajú detekciou únavy sledovaním očí pomocou kamery a vyhodnocujú únavu na základe frekvencie žmurkania [1]. Najspoľahlivejším, ale na druhej strane komplikovanejším spôsobom detekcie únavy je sledovanie mozgovej aktivity vodiča [2]. Elektrická aktivita mozgu (EEG) sa sníma pomocou elektród umiestnených na povrchu hlavy. Potreba umiestnenia elektród na hlavu je najväčšou slabinou metódy z praktického hľadiska. Aj keď je možné elektródy integrovať do čiapky, prilby, čelenky alebo rámu okuliarov, nasadenie týchto súčastí môže byť pre vodiča po dlhšom čase značne nepohodlné a vodič musí pamätať na nasadenie prvkov pred jazdou, čo môže v dnešnej uponáhľanej dobe spôsobovať komplikácie. **Ideálnym riešením by bol zabudovaný systém monitorovania stavu vodiča bez potreby umiestňovať na vodiča ďalšie monitorovacie prvky. Jedným z hlavných cieľov projektu je návrh a realizácia prototypu takéhoto systému. Na detekciu únavy budú použité metódy pre diagnostiku kardiovaskulárneho systému – elektrokardiografia, fotopletyzmografia a oximetria.**

Jedným z fyziologických signálov, ktoré môžu byť komplementárnym ukazovateľom únavy vodiča je pulzová vlna. Pulzová vlna vzniká rozťahnutím steny aorty pri systole. Šírenie pulzovej vlny nezávisí od rýchlosti pohybu krvi, ale je závislá od elasticity artérií, ich polomeru a hrúbky a tlaku krvi. Z tohto hľadiska je možné použiť **snímanie priebehu pulzovej vlny vodiča na sledovanie jeho zdravotného stavu, ktorý môže byť korelovaný s mierou únavy.** Jedným z technickým prostriedkov pre meranie priebehu pulzovej vlny je metóda nazývaná fotopletyzmografia (PPG), ktorej princíp spočíva v aplikácii elektromagnetického žiarenia v optickej oblasti vlnových dĺžok do

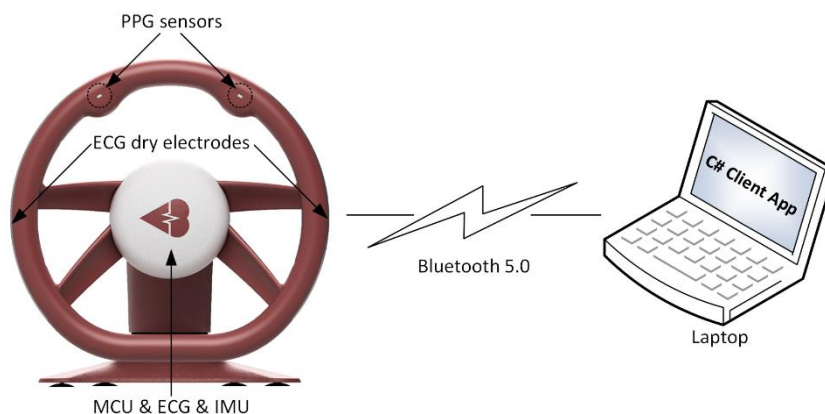
podkožnej oblasti. Aktuálnosť cieľov projektu s ohľadom na využitie PPG pre monitorovanie únavy vodiča je podložená vedeckými prácami, ktoré sa venujú danej problematike. Autori v [3] opisujú systém sledovania stresu vodiča, ktorý je založený na použití rukavice s integrovanými senzormi na snímanie fyziologických funkcií. Jedným z použitých senzorov je i senzor PPG. Článok [4] pojednáva o fúzii webovej kamery a PPG merania za účelom stanoviť mieru únavy vodiča. Priebeh PPG signálu je analyzovaný a sú z neho extrahované špecifické znaky, ktoré môžu korešpondovať s únavou sledovaného subjektu. V článku [5] sa takisto venujú sledovaniu ospalosti vodiča. Opisujú kombináciu viacerých meracích systémov, akými sú EKG a PPG, ktorých úlohou je stanoviť srdcovú frekvenciu meraného subjektu, mieru periférnych zmien prietoku krvi. Výstupom systému je miera ospalosti vodiča. Pulzná oximetria je diagnostická modalita, ktorá umožňuje zistiť mieru saturácie krvi kyslíkom. Pri nižšej saturácii kyslíkom počas jazdy dochádza k pociťovaniu únavy vodičom. Naopak, pri vyššej koncentrácii dochádza k poklesu pocitu únavy. Preto pulzná oximetria predstavuje ďalší z ukazovateľov únavy vodiča. **Senzory pre snímanie pulzovej vlny a saturácie krvi kyslíkom môžu byť integrované do volantu automobilu.**

Okrem medicínskych diagnostických metód je možné na detekciu únavy vodiča použiť údaje o zmene natočenia volantu počas jazdy. Detekcia únavy resp. ospalosti vodiča prostredníctvom monitorovania pohybov volantu bola cieľom niekoľkých štúdií. Štúdie ukazujú, že ospalý vodič vykazuje abnormálne charakteristiky pri ovládaní volantu. S narastajúcou únavou klesá miera ovládania a počet interakcií s volantom [6]. Li [7] analyzoval uhol volantu (SWA) a uhly vybočenia (YA) pri rôznych stupňoch únavy. Pri detekcii únavy bola použitá približná entropia (ApEn) spolu s klasifikátorom založenom na neurónovej sieti typu backpropagation. Experiment trval 15 hodín v reálnej premávke a na získaných údajoch bol detegovaný určitý stupeň únavy vodiča. Tento výskum dosiahol presnosť detekcie 87,21 %. Mortazavi [8] skúmal niekoľko rôznych premenných riadenia vozidla vodičom, ako je SWA, udržiavanie v jazdnom pruhu atď., ktoré korelovali s úrovňami ospalosti. Štúdia ukázala, že ospalosť má významný vplyv na udržiavanie sa v jazdnom pruhu a ovládanie riadenia vozidla. Význam a účinnosť detekcie ospalosti na základe parametrov, ako je bočná odchýlka od stredovej čiary vozovky, priečne zrýchlenie, uhlová rýchlosť, YA a rýchlosť otáčania volantu, je zdôraznená nedávnym výskumom [9]. Vstupné údaje boli spracované pomocou metód umelej inteligencie a presnosť detekcie dosahovala 69 %.

Na základe uvedených informácií získaných z prieskumu aktuálneho stavu v predmetnej aplikačnej oblasti je nosným cieľom projektu vyvinúť modulárny monitorovací systém pre sledovanie zdravotného stavu vodiča založenom na meraní fyziologických veličín. Pridanou hodnotou monitorovacieho systému, okrem detekcie únavy resp. ospalosti vodiča, bude včasná diagnostika kardiovaskulárnych ochorení, pretože systém bude vybavený senzormi potrebnými k tomuto účelu.

Tematika riešeného projektu plne korešponduje s tromi tematickými okruhmi resp. doménami vedeckého výskumu v oblasti priorit výskumu a vývoja definovanými v strategickom dokumente SK RIS3 2021+ „Stratégia výskumu a inovácií pre inteligentnú špecializáciu Slovenskej republiky 2021-2027“.

V rámci internej výskumnej stáže bude riešený jeden z hlavných cieľov projektu a to konkrétne **vykonanie experimentálnych meraní v oblasti skúmania biologických prejavov únavy organizmu vodiča a vyhodnotenie senzitivity vybraných metód v detekcii únavy.**



Obr. 1. Prototyp laboratórneho volantu, ktorý bude použitý na experimentálne merania.

Ciele projektu:

Cieľom projektu je návrh a následná realizácia experimentálnych meraní, ktoré budú simulovať jazdu v automobile za účelom navodenia a analýzy únavy. Pre tento účel musí byť vybraná vhodná PC hra, ktorá po určitom čase navodí únavu vodiča merateľnú nižšie uvedenými metódami. Počas jazdy sa

bude snímať a zaznamenávať niekoľko biosignálov, ktoré slúžia na monitorovanie celkového zdravotného stavu a únavy vodiča. Jedno z meracích zariadení bude prototyp inteligentného volantu, ktorý bol zhotovený v rámci aktuálne prebiehajúceho projektu APVV-22-0423 s akronymom DriverSense. Prototyp volantu sníma a zaznamenáva fyziologické signály EKG a PPG a natočenie volantu zo zabudovaného gyroskopu. Okrem prototypu volantu bude použitý profesionálny multikanálový biososilňovač g.USBamp od firmy g.tec. Biososilňovač bude merať a zaznamenávať multikanálový EEG signál, ktorý je vo viacerých vedeckých publikáciách považovaný za najvhodnejší spôsob pre stanovenie únavy. Ďalej bude biososilňovač snímať EKG signál, ktorý bude slúžiť ako zlatý štandard pre porovnanie s EKG signálom nasnímaným z volantu. Pri návrhu experimentu je potrebné zvážiť meranie EOG signálu, ktorý poskytuje dôležitú informáciu o frekvencii žmurkania, ktorá súvisí s únavou. Otázna je použiteľnosť takéhoto merania, pretože môže dochádzať k rušivým vplyvom v dôsledku nepohodlia subjektu pri umiestnení elektród do okolia očí. Celý priebeh merania bude zachytený na videozáznam, aby bolo možné neskôr identifikovať prípadné pohybové artefakty, alebo detegovať žmurkanie z videozáznamu. Vzhľadom na vyššie uvedené metódy merania je významným cieľom synchronizácia meraní získaných z prototypu volantu, biososilňovača a videokamery.

Metodológia projektu:

Metodológia projektu môže byť zhrnutá do piatich bodov:

1. Príprava experimentu

- o Výber vhodnej PC hry simulujúcej jazdu v automobile s potenciálom navodenia únavy.
- o Nastavenie experimentálnej miestnosti, zabezpečenie tichého prostredia a ergonomického usporiadania pracoviska.
- o Kalibrácia a kontrola meracích zariadení vrátane prototypu volantu a multikanálového biososilňovača g.USBamp.
- o Príprava softvéru a hardvéru na synchronizáciu meraní z viacerých zdrojov (volant, biososilňovač, videokamera).
- o Nábor a informovanie účastníkov experimentu, príprava a podpísanie informovaného súhlasu.
- o Subjektívne hodnotenie únavy účastníkom prostredníctvom dotazníka pred začiatkom experimentu.

2. Realizácia experimentu

- o Umiestnenie a správne upevnenie elektród pre EEG, EKG a prípadné EOG meranie.
- o Nastavenie prototypu volantu pre záznam EKG, PPG a natočenia volantu.
- o Nastavenie multikanálového biososilňovača g.USBamp.
- o Spustenie PC hry a začiatok záznamu biosignálov a videozáznamu.
- o Monitorovanie účastníka počas jazdy a zaznamenávanie prípadných subjektívnych prejavov únavy.
- o Zaznamenanie prípadných artefaktov a externých rušivých vplyvov do experimentálneho protokolu.

3. Ukončenie experimentu

- o Subjektívne hodnotenie únavy účastníkom prostredníctvom dotazníka po ukončení experimentu.
- o Predbežná kontrola kvality zaznamenaných údajov.
- o Zálohovanie všetkých meraní a videodokumentácie.

4. Analýza údajov

- o Synchronizácia dát zo všetkých zdrojov (volant, biososilňovač, videokamera).
- o Predspracovanie EEG, EKG a PPG signálov (filtrovanie, odstránenie artefaktov).
- o Porovnanie EKG signálov z volantu a zlatého štandardu.
- o Vyhodnotenie súvislosti frekvencie žmurkania s únavou.

5. Vypracovanie výstupov

- o Príprava databázy pre uloženie predspracovaných záznamov.
- o Návrhy na možné vylepšenia experimentálnej metodiky pre budúce výskumy.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosti zo spracovania signálov v lekárstve
- Znalosti z lekárskej fyziológie človeka
- Analytické myslenie

Financovanie:

Neuvedené

Referencie:

- [1] Chang, Yu-Lung, Yen-Cheng Feng, and Oscar T-C. Chen. "Real-time physiological and facial monitoring for safe driving." 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE, 2016.
- [2] Borghini, Gianluca, et al. "Assessment of mental fatigue during car driving by using high resolution EEG activity and neurophysiologic indices." 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 2012.
- [3] Lee, Dae Seok, Teak Wei Chong, and Boon Giin Lee. "Stress events detection of driver by wearable glove system." IEEE Sensors Journal 17.1 (2016): 194-204.
- [4] Nivetha, A., et al. "Monitoring the Fatigue Conditions and Controlling the Speed of the Vehicle." International Journal of Communication Engineering and Technology. ISSN: 2277-3150.
- [5] Reyes-Muñoz, Angelica, et al. "Integration of body sensor networks and vehicular ad-hoc networks for traffic safety." Sensors 16.1 (2016): 107.
- [6] Lawoyin, Samuel, Ding-Yu Fei, and Ou Bai. "Accelerometer-based steering-wheel movement monitoring for drowsy-driving detection." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of automobile engineering 229.2 (2015): 163-173.
- [7] Li, Zuojin, et al. "Automatic detection of driver fatigue using driving operation information for transportation safety." Sensors 17.6 (2017): 1212.
- [8] Mortazavi, Ali, Azim Eskandarian, and R. A. Sayed. "Effect of drowsiness on driving performance variables of commercial vehicle drivers." International Journal of Automotive Technology 10.3 (2009): 391-404.
- [9] Arefnezhad, Sadegh, et al. "Driver drowsiness detection based on steering wheel data applying adaptive neuro-fuzzy feature selection." Sensors 19.4 (2019): 943.

6.2 Klasifikácia alergických odpovedí na základe perfúzných parametrov

Výskumný tím: HemodynamiX Lab

Oblasť výskumu: biomedicínske inžinierstvo

Kontaktná osoba (školiť): doc. Ing. Štefan Borik, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2149	stefan.borik@uniza.sk	ktebi.uniza.sk

Klasifikácia alergických odpovedí na základe perfúzných parametrov

Opis projektu:

Alergické kožné testy (Skin Prick Test, SPT) predstavujú štandardnú metódu diagnostiky alergií, pri ktorej sa alergén aplikuje na kožu a pozoruje sa reakcia organizmu. Táto metóda je široko používaná v klinickej praxi, pretože poskytuje rýchle a relatívne spoľahlivé výsledky. Pri správnom vykonaní a interpretácii testu môže SPT pomôcť alergiológovi presne určiť, na ktoré látky je pacient alergický.

Test sa vykonáva aplikáciou kvapky alergénu na povrch kože, najčastejšie na predlaktie alebo hornú časť chrbta, a následným jemným narušením kožnej bariéry lancetou. Ak je pacient na daný alergén citlivý, v priebehu niekoľkých minút sa v mieste vpichu objaví reakcia v podobe začervenania a opuchu (tzv. wheal), pričom veľkosť a intenzita tejto reakcie slúžia ako indikátor stupňa alergie. SPT sa považuje za bezpečný diagnostický nástroj, keďže systémová alergická reakcia je zriedkavá, no pri vysoko senzibilizovaných pacientoch je potrebná zvýšená opatrnosť.

Napriek svojej rozšírenosti má táto metóda určité obmedzenia, ktoré môžu ovplyvniť presnosť diagnostiky. Jedným z hlavných problémov je jej subjektívna interpretácia, ktorá závisí od vizuálneho hodnotenia dermatológa alebo alergiológa. Tento subjektívny faktor môže viesť k rôznym interpretáciám rovnakého testu medzi rôznymi odborníkmi, čo môže ovplyvniť spoľahlivosť diagnózy. Okrem toho vizuálne hodnotenie môže byť ovplyvnené rôznymi faktormi, ako sú individuálne rozdiely v type pokožky pacienta (napríklad svetlá alebo tmavšia pleť môže reagovať odlišne), osvetlenie v miestnosti, skúsenosti hodnotiteľa či technické aspekty vykonania testu.

Ďalším obmedzením SPT je jeho senzitivita a špecificita. Hoci je test vysoko citlivý, falošne pozitívne alebo falošne negatívne výsledky nie sú zriedkavé. Falošne pozitívne reakcie môžu nastať v dôsledku podráždenia kože samotným mechanickým zásahom alebo prítomnosti nesúvisiacich faktorov, ako sú dermatografizmus či užívanie určitých liekov (napr. antihistaminík, kortikosteroidov). Naopak, falošne negatívne výsledky môžu byť spôsobené nízkou reaktivitou kože pacienta alebo nesprávnou koncentráciou alergénového extraktu. Preto sa SPT často dopĺňa ďalšími diagnostickými metódami, ako sú špecifické IgE testy alebo provokačné testy, aby sa zvýšila diagnostická presnosť.

Vzhľadom na uvedené obmedzenia sa v posledných rokoch skúmajú nové prístupy, ktoré by mohli zvýšiť objektivitu a spoľahlivosť hodnotenia alergických kožných testov. Jednou z možností je využitie pokročilých zobrazovacích techník, ako je fotopletyzmografické zobrazovanie (PPGI), ktoré dokáže kvantifikovať zmeny v kožnej perfúzii po aplikácii alergénu. Takéto metódy by mohli minimalizovať subjektívny vplyv hodnotiteľa a poskytnúť presnejšie a reprodukovateľnejšie výsledky.

Celkovo SPT zostáva dôležitým nástrojom v alergológii, avšak jeho správna interpretácia a doplnenie o objektívne metódy môžu významne prispieť k zlepšeniu diagnostiky alergií a optimalizácii liečby pacientov.

Táto štúdia sa preto zameriava na objektivizáciu tejto diagnostickej metódy pomocou PPGI. PPGI je neinvazívna technológia, ktorá umožňuje monitorovať zmeny v perfúzii krvného riečiska v oblasti vpichu alergénu. Táto metóda je založená na optickej analýze krvného toku v povrchových vrstvách kože a dokáže poskytnúť kvantitatívne údaje o intenzite alergickej reakcie. Vďaka tomu môže byť diagnostika alergií presnejšia a menej závislá od subjektívneho hodnotenia lekára.

Fotopletyzmografia (PPG) je technológia, ktorá sa bežne používa na meranie zmien objemu krvi v periférnych tkanivách pomocou svetelných senzorov. Pri zobrazovacej forme tejto metódy, PPGI, sa využíva kamera so špeciálnymi filtermi a osvetlením na sledovanie perfúzných zmien na koži. Využitie rôznych vlnových dĺžok svetla umožňuje analyzovať rôzne hĺbky prekrvenia a určiť, ako alergická reakcia ovplyvňuje prietok krvi v postihnutej oblasti.

Štúdia bude vychádzať z meraní, počas ktorých boli zaznamenávané perfúzne zmeny na predlakti pacienta v reálnom čase. Merania sa uskutočnili v dermatologickej ambulancii, kde sa na predlaktie pacienta aplikovali alergény spolu s kontrolnými vzorkami. Štandardne sa pri SPT používa negatívna

kontrola (fyzikálny roztok) a pozitívna kontrola (histamín), ktoré umožňujú lepšie posúdenie reakcie na testované alergény. PPGI umožnilo kvantifikovať lokálne hemodynamické zmeny spôsobené alergickou reakciou alebo jej absenciou. Signály zachytené PPGI následne prešli detailnou analýzou, ktorá zahŕňala extrakciu perfúzných parametrov, ako je intenzita prekrvenia, variabilita signálu a frekvenčné charakteristiky.

Na získanie kvalitných údajov sme pri snímaní použili špeciálnu kameru s vysokou citlivosťou na svetlo a optimalizovaným osvetlením, aby sa eliminovali vplyvy okolitých svetelných podmienok. Kamera zaznamenávala perfúzne zmeny v oblasti vlnových dĺžok zeleného svetla, ktoré sú najvhodnejšie na analýzu krvného toku. Využitie spojitého snímania nám umožnilo sledovať aj dynamické zmeny v mikrocirkulácii s vysokým časovým rozlíšením.

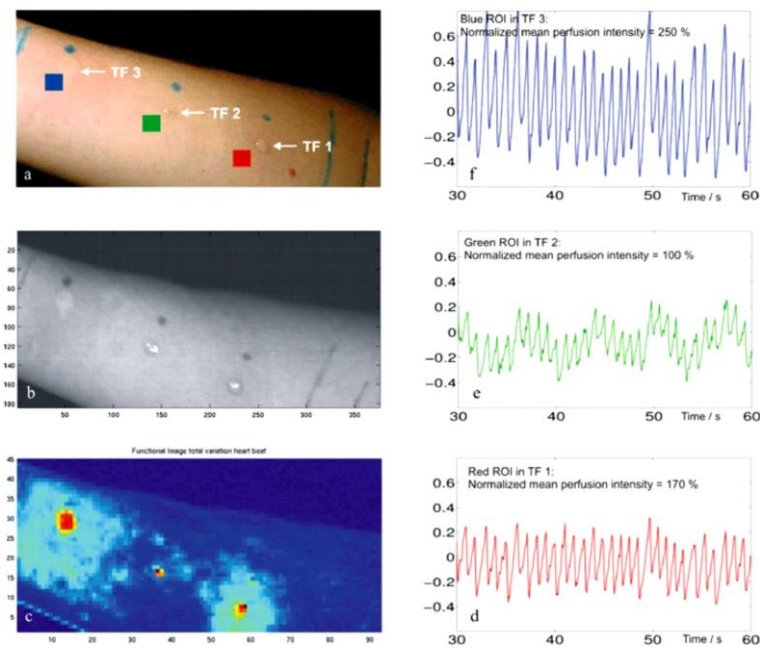
Jednou z výhod PPGI oproti tradičným metódam je jej schopnosť zachytiť veľmi jemné zmeny v prietoku krvi, ktoré nemusia byť viditeľné voľným okom. Tento aspekt je mimoriadne dôležitý, pretože umožňuje včasnú detekciu alergických reakcií ešte predtým, než sa prejavia vizuálne. Okrem toho môže PPGI pomôcť rozlíšiť medzi rôznymi typmi reakcií, napríklad medzi miernou podráždenosťou kože a skutočnou alergickou odpoveďou sprostredkovanou imunitným systémom.

Na účely klasifikácie alergickej odpovede využijeme metódy strojového učenia. Predpokladáme, že použitie hlbokých neurónových sietí umožní identifikovať charakteristické vzory v extrahovaných signáloch a presne rozlíšiť alergickú odpoveď od nealergickej. Konkrétne plánujeme implementovať konvolučnú neurónovú sieť (CNN), ktorá je špeciálne navrhnutá na rozpoznávanie vzorov v dátach a môže efektívne pracovať s obrazovými a časovými údajmi. CNN umožní automaticky extrahovať relevantné črty zo signálov a klasifikovať ich s vysokou presnosťou. Pri vývoji modelu budeme používať označené dáta, pričom ako referenčný "ground truth" slúži klinické hodnotenie alergiológa.

Pred samotným tréňovaním modelu bude nevyhnutné vykonať dôkladné predspracovanie dát. Tento krok zahŕňa filtráciu signálu na odstránenie šumu, normalizáciu intenzity signálu a segmentáciu dôležitých oblastí perfúzie. Odstránenie artefaktov a zlepšenie kvality vstupných údajov sú kľúčové pre dosiahnutie spoľahlivých výsledkov pri tréňovaní modelu. Počas procesu extrakcie znakov budeme analyzovať rôzne časovo-frekvenčné vlastnosti signálu, ako napríklad rozloženie energie v rámci vlnkových transformácií, amplitúdové variácie a časové oneskorenia medzi rôznymi zložkami signálu.

Okrem klasickej diagnostiky alergií by mohla táto metóda nájsť uplatnenie aj v iných oblastiach medicíny. PPGI sa už dnes skúma ako potenciálny nástroj na monitorovanie mikrocirkulácie pri rôznych ochoreniach, ako sú diabetická neuropatia alebo autoimunitné poruchy. Presná kvantifikácia zmien v prekrvení kože by mohla pomôcť lekárom lepšie sledovať progresiu týchto ochorení a efektívnosť liečby. Tento výskum tak môže otvoriť dvere novým diagnostickým metódam, ktoré by mohli byť využívané v rôznych medicínskych oblastiach.

Výsledky tejto štúdie môžu významne prispieť k presnejšej diagnostike alergií a umožniť automatizované hodnotenie SPT testov, čím sa zvýši ich spoľahlivosť a objektivita. Ak sa preukáže, že náš model dosahuje vysokú presnosť, mohol by byť integrovaný do klinických diagnostických nástrojov, čím by sa zjednodušilo rozhodovanie v alergológii a dermatológii. Automatizované hodnotenie alergických testov by mohlo priniesť výhody nielen lekárom, ale aj pacientom, keďže by umožnilo rýchlejšie a presnejšie výsledky s menšou chybovosťou.



Obr. 1: Ukážka výsledkov funkčného SPT. Vľavo: digitálna fotografia, jeden čiernobiely obraz PPG snímka a konečná PPGI mapa perfúzie tej istej meracej plochy predlaktia zdravou kontrolou subjektu. Vpravo: vypočítané časové rady perfúzie vo vybraných troch testovacích poliach 1-3, všetky tri ROI s rovnakou veľkosťou ($6 \times 6 \text{ mm}^2$), upravené podľa [1]

Ciele projektu:

Cieľom projektu je analyzovať dostupné záznamy PPGI zachytávajúce alergické reakcie s cieľom identifikovať charakteristické vzory kožnej perfúzie. Na základe extrahovaných signálov budú spracované kľúčové perfúzne parametre, ktoré môžu odrážať fyziologické prejavy alergickej odpovede.

Pre zlepšenie diagnostiky bude projekt využívať metódy hlbokého učenia na klasifikáciu alergických reakcií, pričom sa implementujú konvolučné neurónové siete (CNN) na automatizovanú analýzu signálov. Vyvinuté modely budú validované porovnaním s referenčnými klinickými hodnoteniami, čo umožní objektívne posúdiť ich presnosť a spoľahlivosť.

Výsledky získané pomocou hlbokého učenia budú konfrontované s tradičnými metódami diagnostiky alergií, aby sa určilo, či PPGI môže priniesť pridanú hodnotu v klinickej praxi. Záverečnou fázou projektu bude posúdenie možnosti integrácie PPGI do rutinných diagnostických postupov v alergológii. Ak sa preukáže, že táto metóda zvyšuje objektivitu a presnosť diagnostiky, môže sa stať cenným doplnkom štandardných kožných testov, čím by sa zlepšila personalizácia liečby pacientov s alergickými ochoreniami.

Metodológia projektu:

- Predspracovanie a filtrovanie PPGI záznamov.
- Extrakcia kvantitatívnych ukazovateľov (napr. intenzita perfúzie, variabilita signálu, časové a frekvenčné charakteristiky).
- Použitie algoritmov hlbokého učenia, najmä konvolučných neurónových sietí.
- Validácia a testovanie modelu na nezávislej vzorke.
- Porovnanie výsledkov s klasickou vizuálnou metódou hodnotenia SPT.
- Optimalizácia modelu pre klinické nasadenie.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosti fyziológie
- Skúsenosti s analýzou biomedicínskych signálov alebo obrazov.
- Základy strojového učenia a programovania (preferovaný MATLAB alebo Python).
- Znalosť štatistickej analýzy a vyhodnocovania experimentálnych údajov.
- Schopnosť samostatnej práce a analytického myslenia.

Financovanie:

Neuvedené

Referencie:

- [1] Blazek, V., Dahlmanns, S., Pereira, C. B., Yu, X., Blanik, N., Leonhardt, S., & Blazek, C. R. (2018). Photoplethysmography Imaging and Common Optical Hybrid Imaging Modalities. In *Multi-Modality Imaging* (pp. 31-66). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98974-7_2
- [2] Van Neste D. Skin response to histamine dry skin prick test: Influence of duration of the skin prick on clinical parameters and on skin blood flow monitoring. *J Dermatol Sci* 1990;1. [https://doi.org/10.1016/0923-1811\(90\)90013-4](https://doi.org/10.1016/0923-1811(90)90013-4).
- [3] Svelto C, Matteucci M, Pniou A, Pedotti L. Skin prick test digital imaging system with manual, semiautomatic, and automatic wheal edge detection and area measurement. *Multimed Tools Appl* 2018;77. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-5823-x>.
- [4] Goktas P, Can Bostan O, Gulseren D, Cakmak ME, Kaya SB, Damadoglu E, et al. Thermo-SPT: A new skin prick test evaluation framework based on low-cost, portable smartphone thermography. *Clinical and Experimental Allergy* 2023;53. <https://doi.org/10.1111/cea.14310>.
- [5] Tversky, J., & MacGlashan, D. (2020). Short-wave infrared camera as a novel solution to allergy skin testing. *Allergy*, 75(4). <https://doi.org/10.1111/all.14089>.
- [6] Blanik N, Blazek C, Pereira C, Blazek V, Leonhardt S. Frequency-selective quantification of skin perfusion behavior during allergic testing using photoplethysmography imaging. *Medical Imaging 2014: Image Processing*, vol. 9034, 2014. <https://doi.org/10.1117/12.2043567>.
- [7] Blazek C, Blazek V. Selected Clinical Applications of Functional PPGI Perfusion Mapping in Dermatology, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5449-0_12.
- [8] Antunes J, Borrego L, Romeira A, Pinto P. Skin prick tests and allergy diagnosis. *Allergol Immunopathol (Madr)* 2009;37. [https://doi.org/10.1016/S0301-0546\(09\)71728-8](https://doi.org/10.1016/S0301-0546(09)71728-8).
- [9] Bernstein IL, Li JT, Bernstein DI, Hamilton R, Spector SL, Tan R, et al. Allergy diagnostic testing: An updated practice parameter. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology* 2008;100. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)60305-5](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)60305-5).
- [10] Procka, P., & Borik, S. (2022). System for contactless monitoring of tissue perfusion. 2022 ELEKTRO (ELEKTRO), 1–5. <https://doi.org/10.1109/ELEKTRO53996.2022.9803323>.

6.3 Klasifikácia zdravých a diabetes mellitus chodidiel na základe perfúzných vzorov z fotopletyzmozografického zobrazovania

Výskumný tím: HemodynamiX Lab

Oblasť výskumu: biomedicínske inžinierstvo

Kontaktná osoba (školiteľ): prof. Ing. Ladislav Janoušek, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2100	ladislav.janousek@uniza.sk	ktebi.uniza.sk

Klasifikácia zdravých a diabetes mellitus chodidiel na základe perfúzných vzorov z fotopletyzmozografického zobrazovania

Opis projektu:

Syndróm diabetického chodidla predstavuje jednu z najzávažnejších komplikácií diabetes mellitus, ktorá je spojená so zhoršenou perfúziou dolnej končatiny a zvýšenou predispozíciou na vznik ulcerácií a infekcií. Táto multifaktoriálna patológia je výsledkom kombinácie neuropatie, ischémie a mechanického stresu, pričom progresia ochorenia môže viesť k nekróze tkaniva a v najťažších prípadoch až k amputácii. Skorá diagnostika týchto zmien je kľúčová pre prevenciu komplikácií a zlepšenie kvality života pacientov, pretože včasné terapeutické zásahy môžu výrazne znížiť riziko infekcií a potrebu invazívnych zákrokov.

Súčasný diagnostické metódy zahŕňajúce dopplerovskú ultrasonografiu alebo meranie transkutánneho kyslíka sú síce účinné, ale ich použitie je časovo náročné a vyžaduje špecializované vybavenie, čo môže obmedziť ich dostupnosť v bežnej klinickej praxi. Okrem toho, tieto metódy často neposkytujú komplexný pohľad na mikrovaskulárne zmeny, ktoré zohrávajú dôležitú úlohu v patofyziológii diabetického chodidla. Preto sa v posledných rokoch čoraz viac diskutuje o využití inovatívnych neinvazívnych technológií, ako je fotopletyzmozografia, laserová dopplerovská flowmetria alebo zobrazovacie metódy založené na infračervenej spektroskopii, ktoré by mohli priniesť rýchlejšiu a presnejšiu detekciu patologických zmien a prispieť k efektívnejšiemu manažmentu pacientov s diabetickou neuropatiou a periférnym arteriálnym ochorením.

Cieľom tohto projektu je vyvinúť neinvazívnu a efektívnu metódu diferenciácie zdravých a diabetických chodidiel na základe perfúzných vzorov zachytených pomocou fotopletyzmozografického zobrazovania (PPGI). Táto technológia umožňuje vizualizáciu dynamiky mikrocirkulácie v reálnom čase, čím poskytuje cenné informácie o stave vaskulárneho systému v oblasti dolných končatín.

V rámci projektu sa zameriame na optimalizáciu zobrazovacieho procesu, spracovanie získaných signálov a identifikáciu kľúčových parametrov charakterizujúcich rozdiely medzi zdravými a diabetickými chodidlami. Na tento účel bude využitá kombinácia pokročilých analytických metód, vrátane vlnkovej transformácie na extrakciu frekvenčných komponentov signálu a strojového učenia na klasifikáciu získaných dát.

Osobitná pozornosť bude venovaná hodnoteniu perfúzných oscilácií v jednotlivých frekvenčných pásmach, keďže mikrovaskulárne dysfunkcie u pacientov s diabetickou neuropatiou sa prejavujú zmenami v regulácii vazomotoriky. Navyše, porovnaním perfúzných vzorov medzi jednotlivými štádiami diabetického chodidla bude možné vytvoriť robustný diagnostický model, ktorý by mohol v budúcnosti prispieť k skorej detekcii patologických zmien a personalizovanej liečbe pacientov s diabetes mellitus.

Očakávame, že implementácia PPGI v klinickej praxi by mohla zefektívniť skríning a monitorovanie pacientov s vysokým rizikom vzniku diabetického chodidla, čím by sa znížila potreba invazívnych zákrokov a zlepšila prognóza postihnutých jedincov.

Projekt bude nadväzovať na merania, ktoré prebiehali za štandardizovaných podmienok, pričom ako podnet pre rozlíšenie zdravých a diabetických subjektov bol využitý test hlbokého dýchania (DBT). Tento test pozostával z troch fáz: 5-minútovej úvodnej baseline fázy, po ktorej nasledovalo hlboké dýchanie v režime 4 sekundy nádych – 4 sekundy výdych pri maximálnej kapacite, a nakoniec ďalšej 5-minútovej baseline fázy na zotavenie. Cieľom tejto metodiky bolo vyvolať zmeny v autonómnej regulácii cievného tonusu, keďže u pacientov s diabetom dochádza k alterácii autonómnych reflexov, čo môže ovplyvniť dynamiku mikrocirkulácie.

Paralelne s PPGI boli zaznamenávané aj kontaktné PPG, signály respirácie pomocou hrudného pásu a EKG, aby sme mohli lepšie analyzovať autonómne odpovede a synchronizáciu medzi jednotlivými

fyziologickými procesmi. Registrácia EKG umožňovala vyhodnotenie variability srdcovej frekvencie (HRV), ktorá je dôležitým ukazovateľom funkcie autonómneho nervového systému a jeho regulácie vaskulárnej odpovede. Respiračný signál získaný pomocou hrudného pásu slúžil na presné časovanie dychových cyklov a umožnil koreláciu medzi respiračnými a perfúznymi vzormi.

Dôležitou súčasťou analýzy bude aj hodnotenie zmien v jednotlivých frekvenčných pásmach PPG signálu, ktoré súvisia s rôznymi mechanizmami regulácie krvného prietoku. Osobitná pozornosť bude venovaná pomeru nízko-frekvenčných (sympatikovo riadených) a vysoko-frekvenčných (parasympatikovo modulovaných) komponentov, čo môže poskytnúť cenné informácie o dysfunkcii autonómnej regulácie u diabetických pacientov. Okrem toho budeme analyzovať časovú a priestorovú distribúciu perfúzných vzorov na základe PPGI, čo môže pomôcť identifikovať regionálne rozdiely v mikrocirkulácii a lepšie porozumieť mechanizmom vedúcim k vzniku diabetického chodidla. Hlavným cieľom projektu je využiť hlboké neurónové siete, konkrétne konvolučné neurónové siete (CNN), na spoľahlivú klasifikáciu perfúzných zmien medzi zdravými a diabetickými chodidlami. CNN sú vhodné na analýzu PPGI dát, pretože dokážu efektívne extrahovať priestorové aj časové vzory v perfúzných mapách, čím môžu odhaliť jemné rozdiely v mikrocirkulácii, ktoré nie sú vždy zjavné pri tradičných analytických metódach. Zameriame sa na identifikáciu vzorov v perfúzii, ktoré odrážajú autonómne vaskulárne odpovede na hlboké dýchanie. Očakávame, že diabetické chodidlá vykazujú oslabenú perfúziu odpoveď v dôsledku autonómnej neuropatie, čo môže byť významným biomarkerom pri včasnej diagnostike.

Dáta budú prechádzať pokročilým predspracovaním, ktoré zahŕňa filtráciu signálu na odstránenie šumu, normalizáciu intenzity a segmentáciu relevantných oblastí. Špeciálna pozornosť bude venovaná eliminácii artefaktov spôsobených pohybom a variabilitou osvetlenia, keďže tieto faktory môžu negatívne ovplyvniť kvalitu získaných údajov. Okrem toho budeme analyzovať časovo-frekvenčné vlastnosti signálov pomocou vlnkovej transformácie a spektrálnych metód, čím získame podrobnejšie informácie o dynamike perfúzných zmien počas jednotlivých fáz experimentu.

Výsledky z PPGI budú porovnávané s paralelnými biosignálmi (PPG, EKG, respirácia) s cieľom určiť optimálne parametre pre diferenciáciu zdravých a diabetických chodidiel. Analýza variability srdcovej frekvencie (HRV) v kombinácii s perfúznymi osciláciami umožní lepšie pochopenie prepojenia medzi autonómnu reguláciou a periférnou cirkuláciou. Tieto multimodálne údaje budú integrované do modelu na zvýšenie jeho robustnosti a schopnosti presne rozlišovať medzi zdravými a patologickými vzormi.

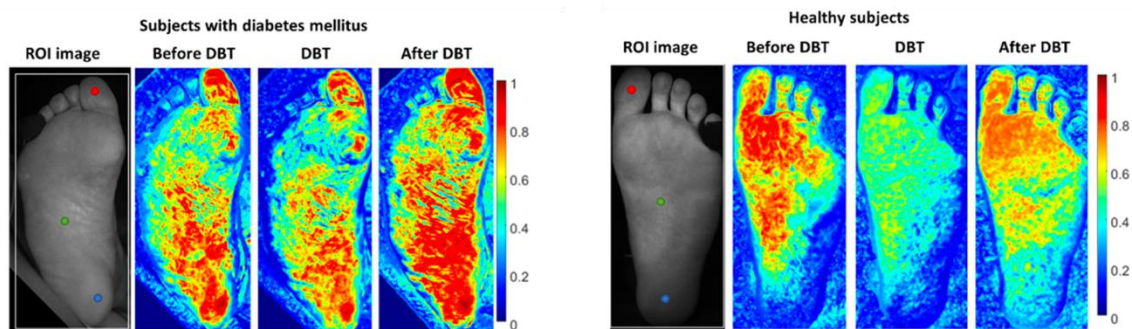
Tréning neurónových sietí bude prebiehať na označených dátach, pričom ako „ground truth“ posluží klinické hodnotenie pacienta a výsledky referenčných diagnostických metód. Model bude optimalizovaný pomocou stratégií, ako je napr. augmentácia dát. Model bude validovaný na nezávislej testovacej vzorke a hodnotený pomocou metód ako presnosť (accuracy), citlivosť (sensitivity), špecifita (specificity) a AUC-ROC.

Tento projekt môže výrazne prispieť k vývoju nových metód včasnej diagnostiky diabetickej neuropatie a perfúzných porúch dolných končatín, pričom by umožnil klinickým pracovníkom rýchlejšiu a objektívnejšiu diagnostiku s využitím PPGI a umelej inteligencie. Zavedenie takejto neinvazívnej metódy by mohlo znížiť závislosť od tradičných diagnostických postupov, ktoré sú často časovo náročné, vyžadujú špecializované vybavenie a môžu byť pre pacienta nepríjemné.

Vďaka kombinácii fotopletyzografického zobrazovania a pokročilých algoritmov hlbokého učenia by bolo možné identifikovať jemné zmeny v mikrocirkulácii, ktoré môžu signalizovať počiatočné štádiá diabetických komplikácií ešte pred ich klinickým prejavom. Tento prístup by mohol nielen zlepšiť presnosť diagnostiky, ale aj umožniť kontinuálne monitorovanie pacientov, čím by sa zvýšila šanca na skorú intervenciu a personalizované terapeutické stratégie.

Ďalším významným prínosom projektu je jeho potenciál na integráciu do bežnej klinickej praxe prostredníctvom vývoja prenosného a cenovo dostupného zariadenia, ktoré by mohlo byť využívané v ambulanciách diabetológov, podiatrických centrách alebo aj na telemedicínske monitorovanie pacientov na diaľku. Automatizovaná analýza PPGI dát by navyše mohla znížiť subjektivitu v hodnotení perfúzných porúch a umožniť štandardizované diagnostické kritériá, čo by prispelo k zlepšeniu kvality zdravotnej starostlivosti.

V širšom kontexte môže tento projekt otvoriť cestu pre ďalšie výskumné iniciatívy v oblasti neinvazívnej diagnostiky vaskulárnych a neurologických ochorení, pričom podobné technológie by mohli byť aplikované aj na hodnotenie iných patologických stavov spojených s autonómnu dysfunkciou alebo poruchami mikrocirkulácie. Celkovo očakávame, že výstupy tejto štúdie poskytnú dôležité vedecké poznatky a položia základy pre budúci klinický vývoj neinvazívnych metód na diagnostiku a monitorovanie diabetických pacientov.



Obr. 1: Korelačné mapy subjektov s DM (vľavo) a zdravých subjektov (vpravo). Prvý je zobrazený snímok zo záznamu s ohraničenou oblasťou záujmu (biely obdĺžnik). Farebné mapy predstavujú výstup (mieru prekrvenia kože) zo skriptu korelačného mapovania pred, počas a po teste hlbokého dýchania, upravené podľa

Ciele projektu:

Cieľom projektu je analyzovať PPGI záznamov z plantárnej časti dolnej končatiny, pričom následne extrahujeme a spracujeme relevantné perfúzne parametre zo získaných signálov. Na diferenciálnu diagnostiku budú aplikované metódy hlbokého učenia, pričom kľúčovým prvkom bude implementácia konvolučných neurónových sietí na klasifikáciu zdravých a diabetických chodidiel. Validácia vyvinutého modelu bude prebiehať pomocou referenčných klinických hodnotení s cieľom zabezpečiť jeho spoľahlivosť a presnosť. Okrem toho budeme porovnávať výsledky PPGI s paralelnými biosignálmi, ako sú kontaktné PPG, respiračný signál a EKG, aby sme identifikovali optimálne parametre pre diferenciáciu. Model bude testovaný na klasifikáciu autonómnej vaskulárnej odpovede na test hlbokého dýchania, čo umožní lepšie pochopenie vzťahu medzi autonómnou reguláciou a mikrocirkuláciou dolných končatín. Napokon sa zhodnotí potenciál využitia PPGI v prediktívnej medicíne, čím by mohol tento prístup prispieť k skorej diagnostike a personalizovanej starostlivosti o pacientov s diabetom.

Metodológia projektu:

- Predspracovanie a filtrovanie PPGI záznamov.
- Extrakcia kvantitatívnych ukazovateľov (amplitúda signálu, variabilita, časové a frekvenčné charakteristiky).
- Synchronizácia PPGI s paralelnými signálmi (kontaktné PPG, respirácia, EKG).
- Použitie algoritmov hlbokého učenia, najmä konvolučných neurónových sietí.
- Validácia a testovanie modelu na nezávislej vzorke.
- Porovnanie výsledkov s klasickými metódami hodnotenia.
- Optimalizácia modelu pre klinické nasadenie.
- Potenciálna potreba augmentácie dát – v prípade nedostatočnej veľkosti datasetu budú aplikované metódy syntetického rozšírenia datasetu, napr. generovanie variácií PPGI signálov pomocou časovo-frekvenčných transformácií, simulácia artefaktov či aplikácia GAN (Generative Adversarial Networks) na rozšírenie spektra možných vstupných vzorov.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosti fyziológie
 - Skúsenosti s analýzou biomedicínskych signálov alebo obrazov.
 - Základy strojového učenia a programovania (preferovaný MATLAB alebo Python).
 - Znalosť štatistickej analýzy a vyhodnocovania experimentálnych údajov.
- Schopnosť samostatnej práce a analytického myslenia.

Financovanie:

Neuvedené

Referencie:

- [1] Procka, P., Celovska, D., Smondrk, M., & Borik, S. (2022). Correlation Mapping of Perfusion Patterns in Cutaneous Tissue. *Applied Sciences*, 12(15), 7658.
- [2] Seleng, J., Celovska, D., Procka, P., Labuda, M., & Borik, S. (2025). Camera-based evaluation of deep breathing effects on plantar foot microcirculation – A pilot study on young healthy. *Computers in Biology and Medicine*, 189, 109996. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2025.109996>

- [3] Borik, S., Procka, P., Kubicek, J., & Antink, C. H. (2022). Skin tissue perfusion mapping triggered by an audio-(de) modulated reference signal. *Biomedical Optics Express*, 13(7), 4058-4070.
- [4] Borik, S., Wu, H. T., Shelley, K. H., & Alian, A. A. (2024). Graph connection Laplacian allows for enhanced outcomes of consumer camera based photoplethysmography imaging. *Biomedical Signal Processing and Control*, 96, 106574.
- [5] Borik, S., Lyra, S., Perlitz, V., Keller, M., Leonhardt, S., & Blazek, V. (2022). On the spatial phase distribution of cutaneous low-frequency perfusion oscillations. *Scientific Reports*, 12(1), 5997.

