

**ODBORNÁ ZPRÁVA**  
**O POSTUPU PRACÍ A DOSAŽENÝCH VÝSLEDKÍCH**  
**ZA ROK 2019**

Příloha k závěrečné zprávě

Číslo projektu: TE01020197

Název projektu: Centrum aplikované kybernetiky 3

Předkládá:

Název organizace: ČVUT v Praze

Jméno řešitele: prof. Ing. Vladimír Kučera, DrSc., dr. h. c.

## WP12 – MODELOVÁNÍ CELOEVROPSKÉHO TRHU S ELEKTŘINOU ZAHRNUJÍCÍ FYZIKÁLNÍ MODEL PŘENOSOVÉ SÍTĚ

### Činnosti

Implementace SW balíku zahrnujícího plně parametrizovaný model celoevropského trhu s elektřinou  
09/2018 08/2019

Předmětem pracovního balíčku je vývoj celoevropského modelu trhu s elektrickou energií. Model je definován jako optimalizace minimalizující náklady na výrobu elektrické energie při dodržení omezujících podmínek, které modelují fyzikální a ekonomické (nákladové) charakteristiky výrobního portfolia, požadavek na dodávku elektrické energie a nastavení obchodního prostředí. Součástí modelu jsou i omezení dané fyzikálními vlastnostmi přenosové soustavy.

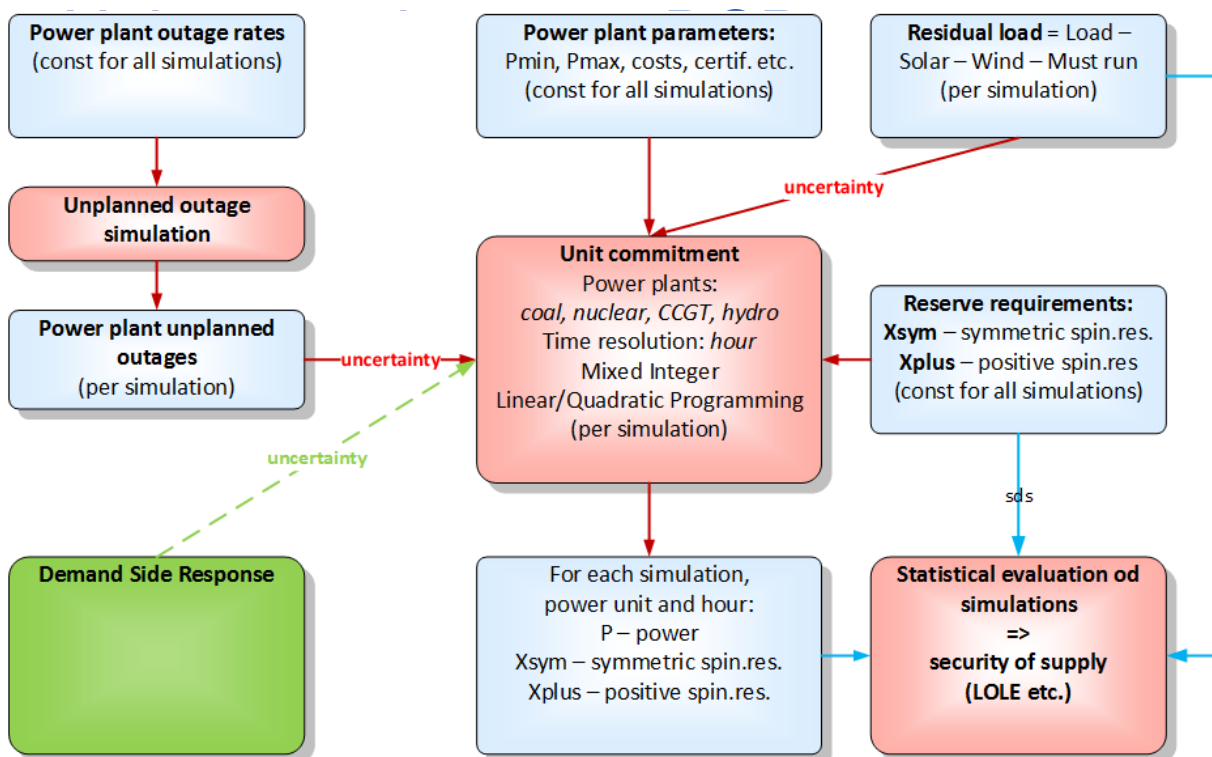
Implementace byla úspěšně dokončena. Za jeden z hlavních přínosů považujeme implementaci jádra výpočtů v jazyce Julia s využitím modelovací a optimalizační nadstavby JuMP. Potvrdily se očekávané výhody tohoto řešení:

- Uživatelská přívětivost
  - Syntaxe, která se podobá matematickým výrazům.
  - Kompletní dokumentace.
- Rychlost
  - Benchmarking ukázal, že JuMP umí vytvářet problémy při podobných rychlostech jako speciální modelovací jazyky, např. AMPL.
  - JuMP komunikuje s většinou solverů v paměti, čímž odpadá nutnost zapisovat zprostředkovatelské soubory.
- Nezávislost solveru
  - JuMP používá generické, na solveru nezávislé rozhraní, jež je poskytováno balíčkem MathOptInterface, což usnadňuje přechod mezi řadou open-source i komerčních optimalizačních softwarových balíčků („solverů“).
  - Aktuálně podporované solvery jsou: Artelys, Knitro, Bonmin, Cbc, Clp, Couenne, CPLEX, ECOS, FICO Xpress, GLPK, Gurobi, Ipopt, MOSEK, NLOpt a SCS.
- Přístup k pokročilým algoritmickým technikám
  - Včetně výkonných opakovaných spouštění LP úloh, které dříve vyžadovaly užití specifických nebo specializovaných C++ knihoven.
- Snadná integrace
  - JuMP sám o sobě je napsán pouze v jazyce Julia. Solvery jsou jedinými binárními závislostmi.
  - To, že je zabudován do všeobecného programovacího jazyka, usnadňuje řešení problémů optimalizace jako součást rozsáhlejšího workflow (např. v rámci simulace, za webovým serverem, nebo jako subproblému v dekompozičním algoritmu).
    - Nevýhodou z toho vyplývající je, že syntaxe JuMP je omezena syntaxí jazyka Julia.

- JuMP má licenci MPL, což znamená, že může být vestavěn do komerčního softwaru, který splňuje podmínky licence.

Testování SW balíku  
04/2019 12/ 019

Testování softwarového balíku probíhalo na datech z úloh analýzy výkonové přiměřenosti (Generation Adequacy) pro národní, regionální a celoevropskou elektroenergetickou soustavu. Schéma modelování úloh Generation Adequacy je naznačeno na obrázku 1.

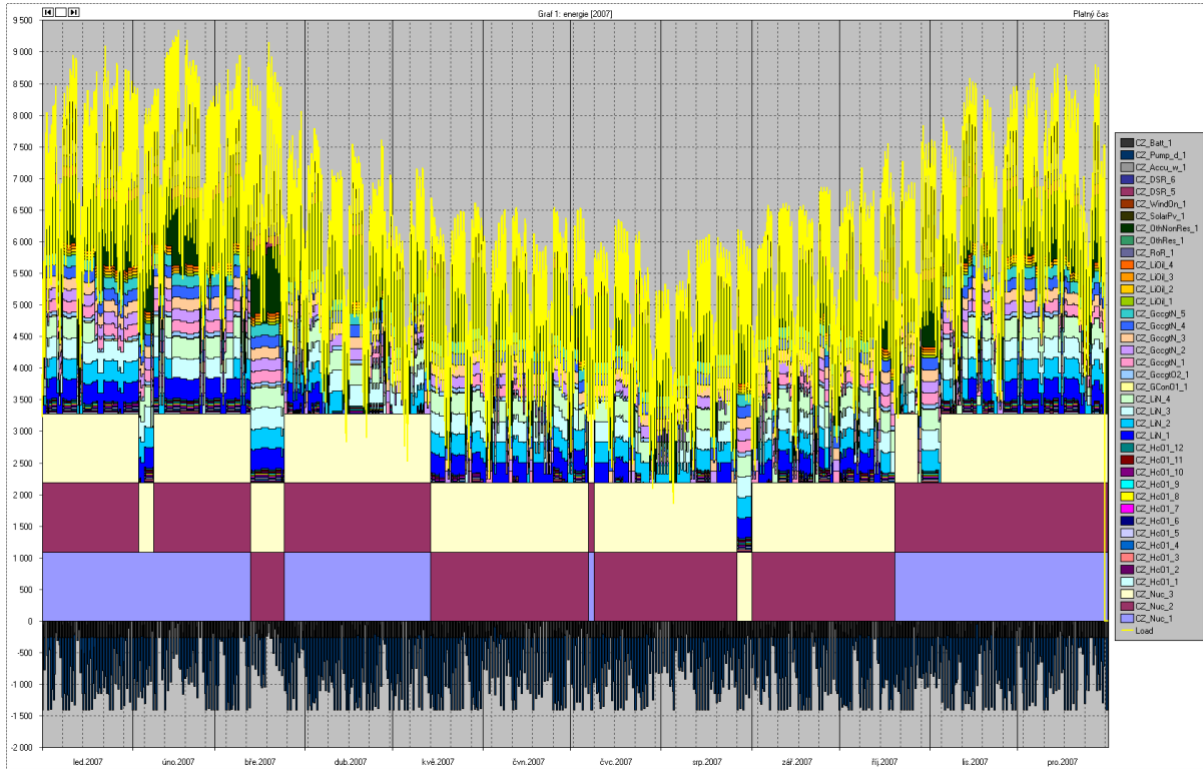


OBR. 1: SCHÉMA VÝPOČTU ÚLOHY GENERATION ADEQUACY

V průběhu testování jsme řešili poměrně hodně problémů souvisejících zejména s následujícími oblastmi:

- infeasibility způsobené chybným nastavením okrajových podmínek při dělení období výpočtu na jednotlivé týdny
- dílčí numerické nestability
- chyby software v interpretaci některých vstupních parametrů u zdrojů typu PVE a RES

Příklad výsledku ročního výpočtu je na obrázku 2.



OBR. 2: UKÁZKA VÝSTUPU MODELU

## Výsledky

TE01020197-V165 SW nástroj pro modelování celoevropského trhu s elektřinou s detailním modelem přenosové soustavy (12)

R – Software 12/2019 Dosažen

## WP13 – WAMS RÁDCE OPERÁTORA ELEKTRICKÉ PŘENOSOVÉ A DISTRIBUČNÍ SÍTĚ PRO ÚČELY ZVÝŠENÍ STABILITY A SPOLEHLIVOSTI

### Činnosti

Návrh a ověření metody bezpečného rozhraní mezi přenosovou a distribuční sítí, případně mezi ENTSO-E a TSO sítí či distribuční a lokální sítí - nelineární model s průběžně aktualizovanými parametry sítě  
01/2018 12/2019

V rámci aktivity byla rozvíjena metoda výpočtu bezpečného rozhraní, kde byly zkoumány možnosti uvolnění stávajících omezení, která ovlivňují konzervativnost výsledného řešení. Jednalo se zejména o výzkum zaměřený na návrh vhodnější aproximace operační oblasti sítě a napěťových omezení v síti. V rámci aktivity byl vytvořen SW modul v jazyku Python implementující metodu výpočtu bezpečného rozhraní pracující s

modelem reprezentovaným kvadratickou účelovou funkcí, linearizovaným modelem sítě a bezpečnostními omezeními.

#### [Online testování decentralizovaného monitorovacího systému pro podporu rozhodování](#) 02/2018 12/2019

Během řešení projektu proběhlo několik jednání s pracovníky distribučních společností (ČEZ, E.ON, PRE) a také provozovatelů simulátorů distribuční sítě (Elvac, Žilinská univerzita v Žiline). Dodnes se nepodařilo najít vhodnou lokalitu pro online testování decentralizovaného monitorovacího systému pro podporu rozhodování dispečera. Problém je zejména nedostatek prostoru v distribučních stanicích a malá vybavenost trafostanic měřicími transformátory. Tam, kde jsou stanice lépe vybaveny, je zatížení transformátorů malé a problémy se stabilitou a bezpečností rozhraní nenastávají.

U provozovatelů simulátorů nebyly na jejich simulátorech nalezeny vlastnosti, které by poskytly větší přínos než simulátor v laboratoři ZČU. V roce 2019 byl tedy monitorovací systém testován technikami HIL a SIL. Ověření chování systému technikou HIL a SIL poskytuje plnou kontrolu nad příchozími vstupními signály a tím i nad správností poskytovaných výstupů systému v režimu poloprovozu.

Technikou HIL byly ověřeny následující funkcionality měřicího řetězce, tedy centrály WAMS, měřicího zařízení PMU a vzájemné komunikace:

Měření synchronních fázorů napětí a proudů pomocí základních jednotek PMU a rozšiřujících modulů při online přenášení dat do měřicí centrály – PDC;

Měření synchronních fázorů napětí a proudů v offline režimu a následné zpracování v PDC;

Detekce událostí v elektrické síti;

Vysokofrekvenční měření napětí a proudu při zaznamenání událostí.

S využitím historických dat získaných měřeními jednotkami PMU METEL v distribuční síti byla technikou SIL ověřena funkčnost SW modulu Bezpečného rozhraní.

### Výsledky

[TE01020197-V167 Decentralizovaný monitorovací systém pro elektrické přenosové a sítě pro podporu rozhodování \(13\)](#)

Z – Poloprovoz 07/2019 Dosažen

## WP14 – POKROČILÉ METODY ŘÍZENÍ MECHATRONICKÝCH SYSTÉMŮ

### Činnosti

[Inovace servozesilovače s ohledem na použití pro řízení trakčních a lineárních motorů](#)

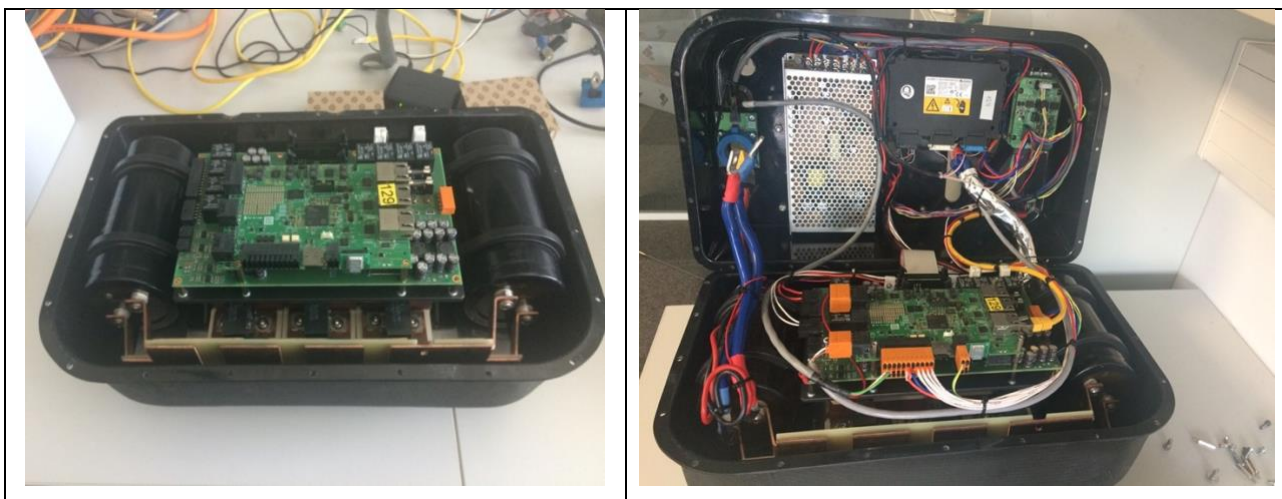
01/2016 12/2019

Inovace servozesilovače pro trakční pohony realizovaná v roce 2019 firmou TG Drives spočívá v implementaci nového výkonového modulu – napětí až 900 VDC a proud až 500 A, nové zdrojové desky, do které se integrovalo rozhraní pro uzpůsobení signálů mezi výkonovým modulem a řídicí deskou, přidalo se I/O rozhraní pro připojení binárních vstupů, binárních výstupů, teplotních čidel a analogových signálů,

# T A Č R

potřebných pro monitorování a řízení vozidla. Zdrojová deska a řídicí deska jsou navrženy pro připojení dvou výkonových modulů. Řešení je připravené pro řízení dvou náprav nebo dvou kol. Dané řešení optimalizuje řízení trakce mezi nápravami či koly vozidla. Komunikace s nadřazenou řídicí jednotkou je možná přes Ethernet nebo CAN BUS. Výkonový IGBT modul má integrovaný chladič s přípravou pro vodní chlazení. Dané provedení poskytuje kompaktní řešení s velkou úsporou prostoru. Testovaný modul o rozměrech 433x280x260 mm může pohánět motory s maximálním výkonem až 400 kW (podle napětí na baterii).

Předpokládané nasazení servozsilovače v trakčních aplikacích (komunální vozidla, sportovní vozidla či motorky, mobilní roboty či manipulátory) vyžaduje velkou odolnost elektroniky vůči otřesům. Z tohoto důvodu byla provedena také hardwarová inovace řídicí desky. Konektory vhodné do průmyslové automatizace jsou nahrazeny konektory s aretací a lisovanými spoji (Obr. 3).



**OBR. 3: INOVANÝ SERVOZEILOVAČ PRO ŘÍZENÍ TRAKČNÍCH MOTORŮ (TG DRIVES)**

PEDICO Machinery pracovala v roce 2019 na nadřazeném řízení pro diesel elektrickou třínápravovou lokomotivu. Provedla návrh a realizaci nadřazeného (Obr. 4) a návrh silové části elektro výzbroje (Obr. 5 a Obr. 6).



**OBR. 4: NADŘAZENÉ ŘÍZENÍ**



**OBR. 5: TRAKČNÍ MĚNIČE**



**OBR. 6: ŘÍDÍCÍ MODULY PRO POMOČNÉ POHONY A EDBR KONTOLÉR**

Pro řízení lineárních motorů se v servozsilovači inovovaly jak hardwarové, tak i softwarové funkce. Byla provedena hardwarová modifikace digitálních vstupů-byly připojeny na FPGA rozhraní procesoru. Tím se dosáhla velmi rychlá časová odezva digitálních vstupů, což umožňuje připojení halových sond pro správnou komutaci lineárního motoru. Současně s tím byl implementován algoritmus umožňující provoz s halovými čidly a externím inkrementálním snímačem polohy. Pro případ, že není možno integrovat halové sondy do lineárního motoru, byl také implementován algoritmus pro nalezení optimálního komutačního úhlu lineárních motorů bez halových sond s inkrementálním snímačem polohy. Testy algoritmů byly provedené na reálném lineárním motoru, viz obrázek 7. Jsou již také připravené algoritmy pro řízení lineárních motorů s absolutními snímači s rozhraním EnDat 2.2, BISS-C. Ty zatím nebyly otestované, snímače se zatím v praxi moc nepoužívají.



**OBR. 7: LINEÁRNÍ POHON ŘÍZENÝ SERVOZESILOVAČEM**

Vývoj algoritmů pro samo se nastavující regulátory servozsilovače  
 01 / 2016 12 / 2019

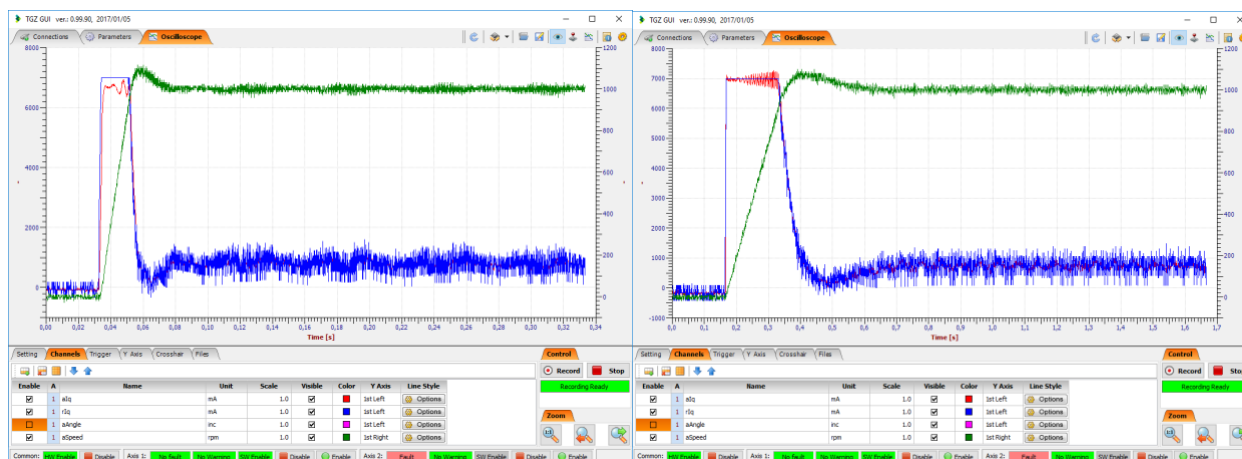
*Pokročilé metody návrhu regulátoru proudu servomotoru – dvoukroková metoda optimalizace regulátoru proudu PMSM*

Oproti běžně používaným metodám návrhu regulátoru byla v rámci řešení projektu věnována pozornost i metodám zohledňujícím více vstupový/výstupový charakter regulované soustavy, kterou v tomto případě tvoří d-q model proudové části synchronního motoru. Zde představená metoda optimalizuje proporcionální a integrační zesílení dvojice d-q regulátorů proudu pomocí lineárních maticových nerovností (LMI). Výhodou tohoto přístupu je možnost definice několika kriteriálních funkcí, podle kterých probíhá optimalizace neznámých koeficientů. Oproti přímé optimalizaci strukturovaného regulátoru (stavový popis PI regulátoru má pevně danou strukturu) je návrh pomocí stavové zpětné vazby konvexním optimalizačním problémem s jediným dosažitelným globálním minimem a je tak nezávislý na zvolených počátečních podmínkách.

*Metody samočinného nastavení otáčkového a polohového regulátoru motoru*

Tato návrhová metoda vznikla jako reakce na požadavek výpočetně velmi nenáročné metody získání koeficientů otáčkového a polohového regulátoru, kterou by bylo možné implementovat přímo ve firmwaru měniče motoru. Přímý vývoj metody ve firmwaru měniče se ukázal jako nepraktický a testování tedy probíhalo s mezivýpočtem v jednoduchém konzolovém programu na počítači. Konzolový program byl napsán v jazyce C a klíčové části výpočtu jsou tak jednoduše přenositelné buď přímo do firmwaru, nebo do

obslužného softwaru měniče. Pro účely testování byl společností TG Drives zapůjčen měnič TGZ-D-48-13/26 s modifikovaným firmwarem který oproti standartnímu firmwaru. Navíc umožňoval generování harmonické požadované veličiny o definované frekvenci a amplitudě. Testování probíhalo na synchronním servomotoru TGN2-0054-30-36/T314-S01. Metoda není závislá na hodnotě pevně připojené setrvačnosti, ta bod  $\omega_{1,2}$  nijak neovlivní. Změna setrvačnosti způsobí pouze odlišnou hodnotu vypočteného proporcionálního zesílení. Pro výpočet zesílení na třech klíčových frekvencích se využívá korelační metody. Viz obrázek 8.



**OBR. 8: VÝSLEDNÝ PRŮBĚH SAMONASTAVUJÍCÍHO SE REGULÁTORU OTÁČEK NA MOTORU TGN2-0054-30-36 PRO RŮZNÉ HODNOTY SETRVAČNOSTI**

### Identifikace parametrů motoru metodou nejmenších čtverců

Pro výpočet koeficientů regulátorů samonastavitelné regulace pohonů je u většiny metod nutné znát buď přímo parametry motoru, nebo alespoň koeficienty přenosu regulované soustavy. Pro ne-adaptivní metody je výhodnější použití jednorázových metod identifikace, které jsou oproti průběžným metodám stabilnější. Odhad parametrů systémů zapojených ve zpětné vazbě je možné provádět dvěma způsoby, přímou a nepřímou metodou identifikace.

Pro obě tyto metody identifikace platí, že pro jednoznačné určení neznámých parametrů je nutné znát alespoň řád regulované soustavy. Kromě znalosti řádu soustavy je taky nutné zajistit, aby byl regulátor dostatečně vysokého řádu pro daný počet neznámých koeficientů a daný počet kroků dopravního zpoždění. Problém korelovanosti dat je částečně vyřešen rozšířenými metodami nejmenších čtverců – metody pomocných proměnných (se zpožděnými pozorováními, s dodatečným modelem). Obě metody byly otestovány a bylo u nich patrné zlepšení odhadu oproti klasické metody nejmenších čtverců.

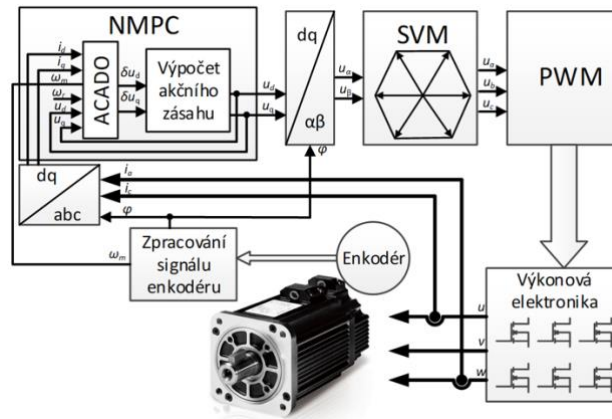
### Aplikace algoritmů prediktivního řízení v servozesilovači

01 / 2016 12 / 2019

Optimalizovaný algoritmus nelineárního MPC byl implementován na platformě CompactRIO 9082. Optimální trajektorie řízení je definována pomocí kvadratické formy. Protože je uvažováno použití nelineárního matematického modelu PMS motoru či kruhových omezení statorových proudů i napětí je optimalizační úloha definována jako nelineární problém. Pro nalezení optimálního řešení je využíván optimalizační nástroj ACADO. Pro zajištění konvergence je používán přírůstkový tvar MPC regulátoru, přičemž se nepracuje s celkovou hodnotou akčního zásahu, ale pouze s jeho přírůstkem. Optimalizační nástroj ACADO vyžaduje pro generování kódu spojité model, ve kterém se diskrétní přírůstky vyjadřují velmi obtížně. Byl tedy navržen



přístup, ve kterém byla minimalizována derivace akčního zásahu. Princip implementovaného algoritmu nelineárního MPC je zobrazen na následujícím obrázku 9.



**OBR. 9: PRINCIP ALGORITMU NELINEÁRNÍHO MPC**

Doba výpočtu se pohybuje kolem 120  $\mu$ s samotného nelineárního MPC. Realizované řízení bylo vykonáváno s periodou vzorkování 300  $\mu$ s. Běžně používaná perioda vzorkování při řízení střídavých elektrických pohonů se pohybuje mezi 50 – 100  $\mu$ s.

### Výsledky

TE01020197-V152 Prototyp servomotoru řízeného algoritmy prediktivního řízení (14)  
G - Technicky realizované výsledky (prototyp, funkční vzorek) 12/2019 Dosažen

TE01020197-V153 Simulačně a experimentálně ověřená knihovna funkcí pro identifikaci a výpočet parametrů regulátorů použitelná v nadřazeném řídicím systému (14)  
R – Software 12/2019 Dosažen

TE01020197-V154 Funkční vzorek inovovaného servozesilovače pro lineární pohony s rychlým komunikačním rozhraním (14)  
G - Technicky realizované výsledky (prototyp, funkční vzorek) 12/2019 Dosažen

## WP15 – HETEROGENNÍ MOBILNÍ ROBOTICKÁ SKUPINA PRO SPECIÁLNÍ POUŽITÍ

### Činnosti

Návrh a výroba operátorské stanice  
01/2018 01/2019

Stanice byla dokončena po hardwarové stránce, během roku 2019 pak bylo postupně vylepšováno její programové vybavení tak, aby bylo možné ji využít pro širší spektrum robotů a aby bylo možné využití s brýlemi virtuální reality (viz obrázek 10).



**OBR. 10: PŘENOSNÁ OPERÁTORSKÁ STANICE S BRÝLEMI VIRTUÁLNÍ REALITY A SNÍMAČEM POHYBŮ HLAVY**

Stanice je velmi malá a dobře přenosná, je schopna pracovat minimálně 45 minut na baterie, při její konstrukci byl kladen důraz na ergonomii a snadnost ovládání robotů. Stanice obsahuje základní komunikační modul, může však být doplněna i o další komunikační jednotky. V souladu s původními plány jde o operátorskou jednotku, jejíž části mohou být snadno integrovány do oděvu operátora, což může být velkou výhodou při praktickém využití, například u hasičů, záchranářů, apod. Jednotka umožňuje ovládání několika typů robotů a byla kromě několika experimentů použita i například v rámci výstav.

#### [Integrace multirotorového letového prostředku](#) 07/2018 03/2019

Cílem bylo plně integrovat dron Uranus-X3 (popsaný ve zprávě za rok 2018) do robotického systému ATEROS (Autonomně-teleprezenční robotický systém). To se sice technicky podařilo, není však možné tento prostředek používat ve vnějším prostředí s běžným letovým provozem, a to z důvodu legislativních omezení platných v současnosti v ČR. Otestování letového prostředku v systému ATEROS bylo tedy provedeno pouze ve velmi omezené míře ve vnitřním prostředí budov VUT, kde není nutné se řídit předpisy Úřadu pro civilní letectví. Muselo však být provedeno na odlišném dronu s podstatně menšími rozměry. V současnosti probíhají jednání o možnosti otestovat provoz letového prostředku v některém z vojenských prostor. Dále jsou dokončovány legislativní kroky za účelem získání licence pro tzv. letecké práce pro VUT v Brně – to samo o sobě však neumožní plné otestování všech schopností systému ATEROS. Je možné konstatovat, že technicky je tedy systém ATEROS připraven pro letové robotické systémy, není však možné jej v ČR v současnosti legálně provozovat v běžném vnějším prostředí.

#### [Optimalizace parametrů regulátoru servozesilovače řízení přímého motoru](#) 01/2018 12/2019

Za aktivitu zodpovídala firma TGDrives s.r.o. Servozesilovač byl optimalizován pro kvalitní dynamické a přitom bezpečné řízení motorů na robotu Morpheus. To bylo otestováno sérií testů jak ve vnitřním tak ve vnějším (lehký terén) prostředí v konsorciu participantů Vysoké učení technické v Brně, LTR s.r.o. a TGDrives s.r.o. Je možné konstatovat, že řízení a ovládání robotu jak v autonomním, tak v teleprezenčním režimu je velmi přesné při zachování možnosti dosahovat na mobilní robotické aplikace vysokých rychlostí při stále vynikající ovladatelnosti. Velký důraz je kladen také na bezpečnost.

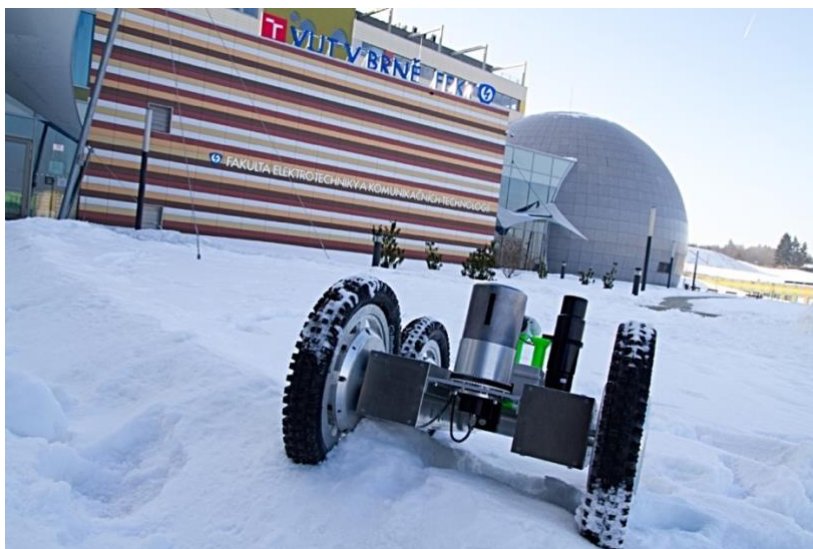
### Vývoj sebelokalizačních algoritmů pro vnitřní prostředí 01/2016 12/2019

Algoritmy pro tzv. optický SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) za pomoci tzv. RGBD (barevné + dálkoměrné) kamer byly dále vylepšeny, systém byl dále doplněn přesnějším doplňkovým měřením pomocí odometrie a inerciálního snímání. Z prostředků VUT v Brně byl zakoupen externí lokalizační optický systém OptiTrack a v průběhu roku 2020 bude zakoupena velmi přesná totální geodetická stanice s možností tzv. trackování, tj. sledování odrazného hranolu, v tomto případě umístěného na robot. Díky tomuto vybavení bude možné mnohem přesněji určovat polohu robotu v čase a tudíž i dobře vyhodnotit přesnost jednotlivých metod sebelokalizace. Předpokládá se další pokračování výzkumu v rámci navazujících projektů i doktorských prací na VUT v Brně.

### Zkoušky robotického systému 08/2019 12/2019

Oproti původnímu plánu započít s těmito zkouškami v srpnu 2019, byla tato aktivita zahájena více než o rok dříve s tím, že již v srpnu roku 2018 proběhl důležitý experiment ověřující řadu vlastností systému ATEROS, zejména pak jeho autonomních funkcí. Tento experiment byl poměrně podrobně popsán v loňské průběžné zprávě. Výsledky tohoto experimentu byly zpracovávány a analyzovány ještě podstatnou část roku 2019. V současné době je dokončován článek o tomto experimentu do prestižního časopisu Journal of Field Robotics. Dále v roce 2019 probíhala řada experimentů s jednotlivými roboty, zejména ve vztahu k operátorské stanici.

Ve spolupráci s firmou Nuvia a.s. například proběhl experiment s měřením gama záření pomocí různých detektorů – viz obrázek 11.



**OBR. 11: ROBOT MORPHEUS S RADIČNÍM DETEKTOREM**

### Výsledky

Celkově je možné konstatovat, že všechny vytyčené cíle pracovního balíčku WP 15 byly splněny, výzkum a vývoj však bude dále pokračovat v rámci navazujících projektů.

## WP16 – HLASOVÉ SYSTÉMY PRO INTERAKCI ČLOVĚKA SE STROJI

### Činnosti

Výzkum metod porozumění s ověřením na vybrané doméně mluvené češtiny  
01/2016 09/2019

V průběhu roku 2019 pokračovaly práce směřující ke zvýšení přirozenosti dialogu a práce potřebné k zahrnutí informací nejen ze stávajících záznamů, ale i z externích zdrojů.

V roce 2019 byly finalizovány gramatiky pro detekci sémantických entit pro zpracování archivu výpovědí svědků holokaustu MALACH. V souvislosti s pracemi na anglické a slovenské verzi archivu byly gramatiky detekující města, koncentrační tábory, osoby, data, vzdělání, zranění, smrt, kulturní a společenské entity, vzájemně doplňovány. Bezkontextové gramatiky sémantických entit poté byly využity pro adaptaci jazykového modelu pro systém rozpoznávání řeči. Byly vytvořeny nástroje a skripty pro automatickou adaptaci, která se spouštěla vždy po změně dílčích částí/zdrojů potřebných pro sestavení jazykového modelu.

V rámci této aktivity dále probíhaly práce na zpracování a porozumění obsahu výpovědí svědků. Software v podobě programové knihovny, datových souborů a konfiguračního souboru provádí zpracování výpovědí ve formě mřížky rozpoznáných hypotéz slov/fónů a jeho výstupem je množina sémantických konceptů odpovídajících vstupní promluvě. Zpracováním rozpoznáných záznamů a detekovaných sémantických entit generuje index pro následné rychlé vyhledání dotazu uživatele v kombinaci se zadanými klíčovými slovy. Kromě rozpoznáných záznamů je schopen zpracovat a indexovat metainformace svědků holokaustu a souvisejících transportů z externího zdroje. Knihovna byla integrována se softwarovými moduly automatického rozpoznávání, syntézy mluvené řeči a modulem dialogového manažera do výsledného dialogu s multimodálním archivem.

Grafická modalita dialogového systému byla upravena tak, aby uživatelům usnadnila práci s audiovizuálními zdroji. Řečová modalita byla rozšířena tak, aby bylo možné vyhledávat, prezentovat a objevovat informace doplněné o data z externích zdrojů. Výsledný multimodální dialogový systém využívá kombinaci moderních technologií HTML5, TypeScript, WebSockets, objektové a grafové databáze tak, aby byla usnadněna možnost správy a dalšího vývoje výsledného systému.

Kompletace a ověření funkcionality prototypu hlasového interaktivního systému vybrané domény mluveného slovanského jazyka  
10/2018 12/2019

Pro tuto aktivitu byly použity dílčí modely získané řešením aktivity 3 (Tvorba akustického a jazykového modelu; příprava modulu syntézy řeči a modulu porozumění pro vybranou doménu mluveného slovanského jazyka; pozn.: ukončení této aktivity 9/2018). Jejich zapojením do interaktivní řečové platformy SpeechCloud bylo umožněno realizovat hlasový dialog nad nahrávkami audiovizuálního archivu MALACH. Uvedme, že za tuto další jazykovou doménu bylo vybráno „prostředí“ slovenského jazyka. Hlasový dialog je zde navržen jako multimodální systém podporující interaktivní práci uživatele s archivem. Hlasový dialog se opírá o znalostní bázi, která byla vygenerována podobnými metodami, jež byly zkoumány v rámci aktivity 2 (Výzkum metod porozumění s ověřením na vybrané doméně mluvené češtiny). Výsledkem aktivity je Prototyp hlasového interaktivního systému pro vybranou doménu mluveného slovanského jazyka (TE01020197V141).

## Výsledky

TE01020197-V141 Prototyp hlasového interaktivního systému pro vybranou doménu mluveného slovanského jazyka (16)

G - Technicky realizované výsledky (prototyp, funkční vzorek) 12/2019 Dosažen

TE01020197-V171 Konferenční publikace (16)

O - Ostatní výsledky 06/2019 Dosažen

TE01020197-V176 Nový interaktivní systém pro vybranou doménu mluveného českého jazyka – SW (16)

R – Software 12/2019 Dosažen

## WP17 – NÁSTROJE INTERAKCE ČLOVĚK-ROBOT

### Činnosti

Vývoj metod pro odstraňování chyb v robotických systémech

09/2017 06/2019

Komplexní inteligentní robotický systém

01/2018 12/2019

V rámci řešení projektu pokračovaly práce na realizaci dvou aplikací, ve kterých jsou metody detekce a odstranění chyb použity:

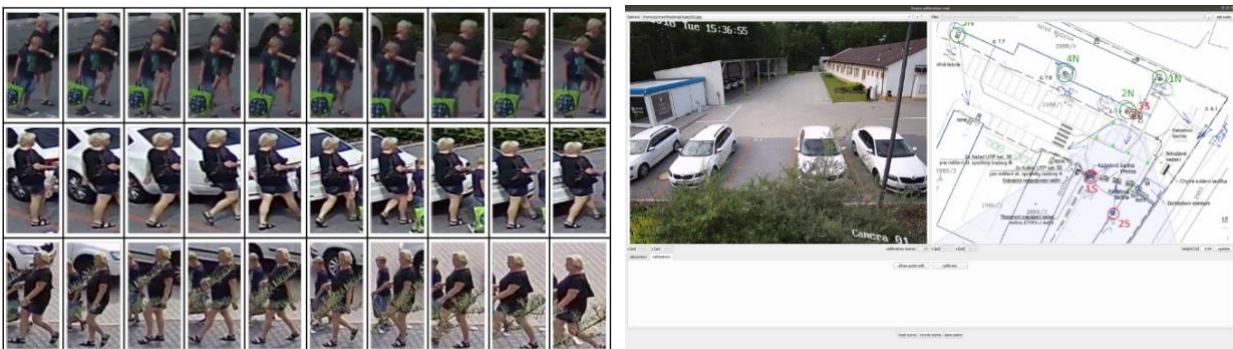
- Automatický vícekamerový dohledový systém pro detekci a sledování význačných událostí ve městě
- Automatické uchopování montážních dílů kolaborativním robotem

#### *Certicon - Automatický vícekamerový dohledový systém*

Firma CertiCon, a.s. v rámci projektu navázala na dosavadní výsledky z roku 2018 a pokračovala ve vývoji automatického vícekamerového dohledového systému (Obr. 12). Systém je určen pro detekci zločinného chování v městském prostředí, zejména s ohledem na detekci osob s charakteristickými znaky a jejich následné sledování více kamerami. Systém byl vyvíjen pro nasazení na stávající technologii veřejných dohledových systémů. A to zejména po HW stránce, tedy bez nutnosti nasazovat dedikované HW komponenty, která by byla pro typické uživatele funkcionalitou blokujícím a demotivujícím jevem. Proti původním verzím systému se větší důraz kladl na použití PTZ (pan–tilt–zoom) kamer rozmístěných v městské zástavbě, jak ve venkovním (outdoor), tak i vnitřním (indoor) prostředí. Z praktických důvodů se funkčnost řešení na PTZ kamerách omezila na diskrétní polohy kamer, kterých může být na jedné kameře velké množství. Kamery pokrývající jednotlivé části sledovaného prostoru lze i nadále polohovat zcela spojitě, ale funkční analýza je provozována pouze při zastavení kamery v předem definovaných diskrétních krocích. Provedení analýzy za spojitého pohybu kamery nebylo po provedení testů dále rozvíjeno, protože by vedlo jednak k neúměrným výkonnostním požadavkům na výpočetní HW, jednak by vyžadovalo řadu netriviálních kalibračních postupů. Jejich provedení je z praktických důvodů na stávající infrastrukturu a instalacích vyloučeno. Zvolený přístup se statickými polohami žádný kalibrační postup nevyžaduje, což může výrazně zvýšit atraktivitu systému pro případné uživatele (typicky provozovatelé městského kamerového systému nebo společnosti zajišťující facility management). Pro zvládnutí komunikace s PTZ kamerami různých výrobců byla provedena implementace založená na standardu ONVIF Profile S. Systém je založen na maximalizaci

pravděpodobnosti neztracení zachyceného objektu během sledování. Na základě analýzy v reálném čase rozhoduje o optimálním využití sítě pohyblivých kamer a jejich zorných polí pro udržení sledování dané osoby (tzv. agenta) po co nejdelší dobu. Při vývoji se použila část funkcionalit z řešení simulačního SW z předchozího řešení projektu. Program po úpravách využívá novou optimalizaci masivní paralelizace výpočtu (Constraint satisfaction optimization problem). Pro vývoj detekčních algoritmů byla pořízena databáze videozáznamů z více kamer sledujících stejnou scénu. Pro tento účel byl postaven jednoduchý mobilní systém umožňující snadno kombinovat kamery různých typů s dalšími moduly pro záznam, resp. přenos dat.

Výhledově se vzniklým programovým vybavením počítá jako s případným rozšiřujícím SW modulem inteligentního kamerového modulu CertiConViz (CCV), který CertiCon v současné době komerčně vyvíjí. Zahrnutí technologií vyvinutých v rámci etapy do firemního produktu CCV je plánováno. Implementace by probíhala ve formě volitelné součásti SW balíku v případě, že zákazník bude vyžadovat zajištění funkce automatického sledování agentů (ať už osob nebo vozidel) mezi více kamerami a hostitelský video systém bude podporovat ovládání jednotlivých kamer z externí aplikace. Současně bude SW užíván přímo řešitelem pro jeho interní potřeby při dalším vývoji a testování inteligentních kamerových systémů.



**OBR. 12. UKÁZKA TESTOVÁNÍ VÍCEKAMEROVÉHO SYSTÉMU**

#### *Automatické uchopování montážních dílů kolaborativním robotem*

Druhou aplikační oblastí je robotické pracoviště řešící úlohu automatického uchopování montážních dílů robotickým manipulátorem z přepravního obalu a jejich přenášení a ukládání do zásobníku montážní robotické buňky. V minulých letech řešení projektu vznikl systém používající kolaborativní robot UR-10 a vlastní prototyp chapadla se šesti vakuovými přísavkami Festo s pružným uchycením. Hlavní řídicí proces je vytvořen za pomoci stavového automatu, jehož vnitřní logika řídí posloupnost akcí systému v závislosti na jeho stavu a na informacích přijímaných ze senzorů. Plánování pohybu robotu je zajištěno SW balík MoveIt! integrovaným v systému ROS (Robot Operating System). Pro detekci dílů z obrazu 2D kamery umístěné v chapadle robota je použita kombinace (a) metody histogram orientovaných gradientů, kterou jsou detekovány části obrazu obsahující jednotlivé díly a (b) hlubokého učení (konvoluční neuronové sítě) pro určení pozice a natočení dílu. Pro robotické pracoviště bylo vytvořeno grafické uživatelské rozhraní, byl přidán světelný maják k signalizaci provozních stavů a byly přidány bezpečnostní prvky. Uživatelské rozhraní umožňuje ovládání robotické buňky a jsou na něm zobrazovány informace o stavu procesu.

V posledním roce řešení byl systém dále modifikován za účelem jeho zrobustnění a zrychlení a přizpůsobení provozu v reálném prostředí. Vzduchové ejektory ovládající sání přísavek nově umožňují detekci přísátí k dílu, byla přidána izolace kamery za vyměnitelným filtrem zabraňujícím nežádoucí manipulaci, poškození a znečištění kamery a byl změněn tvar chapadla pro zvětšení manipulačního prostoru uvnitř přepravního obalu.

Rovněž byl přidán ventilační prvek zajišťující nižší teplotu a plynulý provoz kamery. Dále byly vylepšovány metody hlubokého učení, vytvořeno několik sad dat pro učení neuronových sítí a celý systém byl následně testován.

Při optimalizaci a testování systému bylo sebráno více jak 20 000 dílů. Po prvotních optimalizacích byla dále uložena data zobrazující průběh procesu pro více jak 7000 dílů. Při testování konečné verze prototypu byla uložena data s průběhy pro 3469 dílů. Finální testování probíhalo po dobu jednoho týdne v běžném provozu, reálný čas strávený sbíráním dílů je však kratší, neboť od něj musíme odečíst časy kdy byla aplikace pozastavena operátorem, robot čekal na uvolnění zásobníku, či byla aplikace z jiných důvodů odstavena. Data z průběhu experimentů jsou zobrazena v Tabulce **Error! Reference source not found.**

<b>Celkový čas běhu aplikace</b>	629096 [s] (~175 h)
<b>Čas strávený čekáním v počáteční pozici</b>	404969 [s] (~112 h)
<b>Čas strávený čekáním na uvolnění zásobníku</b>	51707 [s] (~14 h)
<b>Čas strávený procesem bin-pickingu</b> (Celkový čas - čas čekání - čas čekání na zásobník)	172419 [s] (~48 h)
<b>Počet vybraných dílů</b>	3469
<b>Počet neúspěšných pokusů o výběr součástky</b> (Zapříčiněných plánováním)	1359
<b>Počet neúspěšných pokusů o uchopení součástky</b> (Zapříčiněných nepřesnou detekcí pozice dílu)	1837
<b>Počet e-stop zabrzdění</b>	51

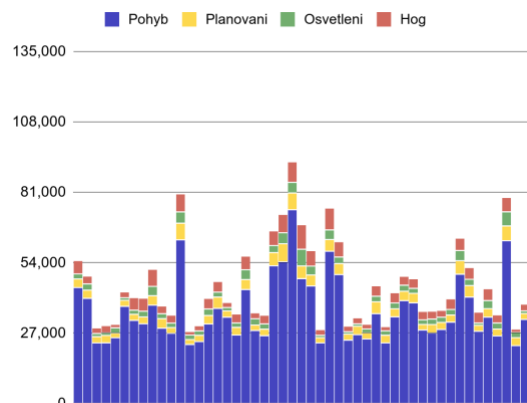
**TAB. 1. VÝSLEDNÁ DATA Z PRŮBĚHU EXPERIMENTŮ**

Závěrečné testování prototypu potvrdilo, že robot je schopen pracovat s průměrným taktem 63 sekund, kde se do doby založení jednoho montážního dílu započítávají i pokusy při kterých robot neuchopí součástku napoprvé. Prototyp pracoval s úspěšností 98.5 %, ve zbylých 1.5% případech došlo k elektronickému zastavení, které vyžadovalo zásah operátora.

Více jak 70% času z celého procesu připadlo na pohyb manipulátoru. V rámci optimalizace procesu bylo využito simulační prostředí systému ROS k ladění plánovacích algoritmů pro použitý manipulátor. Ačkoliv bylo na modifikovaných verzích plánovacích algoritmů možné pozorovat zlepšení v době potřebné pro plánování, modifikované plánovače se prokázaly jako nestabilní, a proto nebyly ve výsledném prototypu použity. Viz obrázek 13 a obrázek 14.



**OBR. 13. TESTOVÁNÍ SYSTÉMU BIN-PICKING VE ŠKODA AUTO**



**OBR. 14. PROJEKCE ČASOVĚ NEJNÁROČNĚJŠÍCH ČÁSTÍ PROCESU BIN-PICKING [MS]**

## Výsledky

TE01020197-V144 Systém řešení krizových situací v autonomních robotických systémech (17)  
R – Software 12/2019 Dosažen

## WP18 – METODY STROJOVÉHO VNÍMÁNÍ PRO PRŮMYSLOVÉ A JINÉ APLIKACE

### Činnosti

Vývoj systému SLAM s využitím rozpoznávání objektů  
01/2018 12/2019

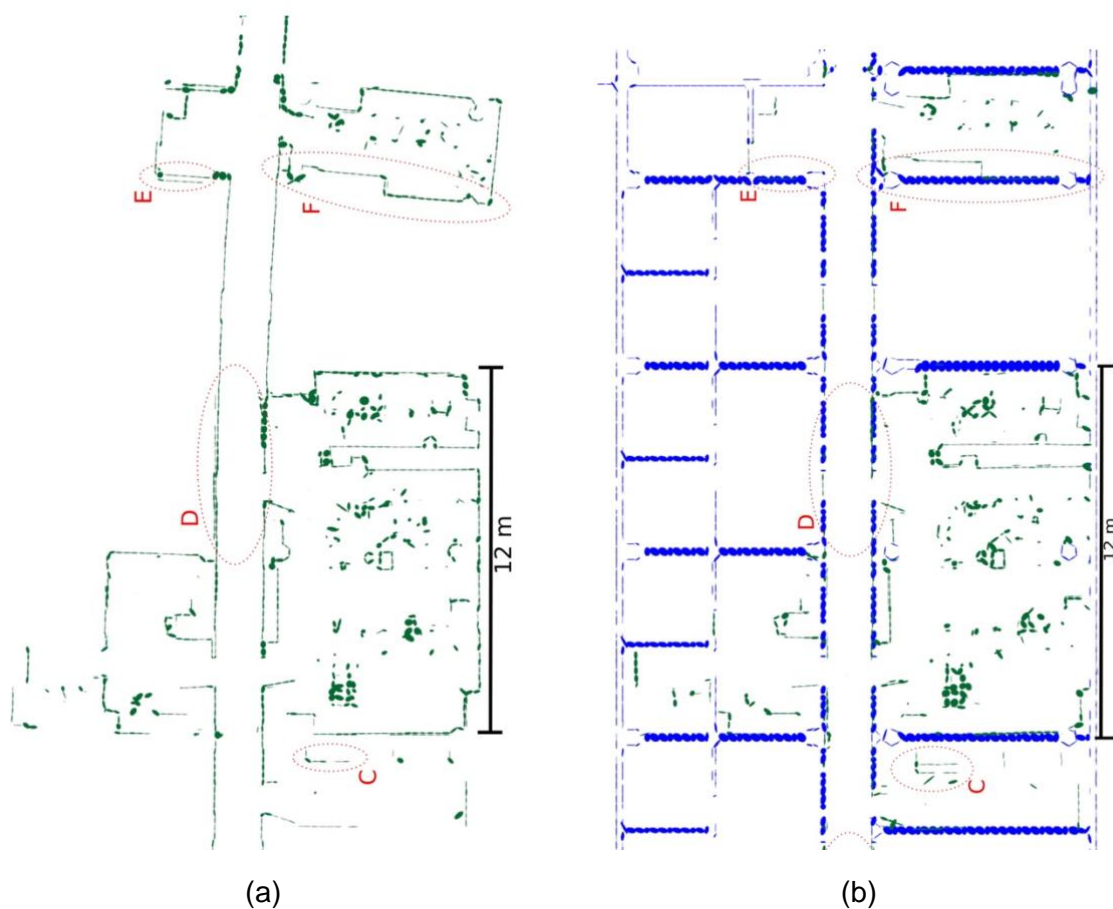
Naším cílem je vyvinout algoritmus SLAM pro autonomní robot, který zajišťuje flexibilní vnitropodnikovou dopravu. Proto jsme se při vývoji soustředili na mapování a lokalizaci v průmyslovém prostředí výrobní haly nebo administrativní budovy. Malá variabilita a opakující se struktury sťažují lokalizaci i mapování. Pro testování algoritmů využíváme mobilní kolový robot Jackal. Robot je vybaven laserovým rotačním dálkoměrem (LiDAR) a kamerou se širokým zorným polem, která směřuje vzhůru. Využití omezeného množství senzorů je motivováno snahou o nízkou cenu sériového zařízení.

Vyvinuli a implementovali jsme algoritmus SLAM založený na transformaci normálního rozdělení – NDT (normal distribution transform). Mapa prostředí je tvořena mřížkou, ale na rozdíl od klasické mapy obsazenosti je každá buňka v mřížce popsána 2D normálním rozdělením. Toto řešení nám umožňuje přesněji popsat situaci v daném bodě (např. směr stěny, velikost objektu). Díky tomu můžeme bez ztráty přesnosti snížit hustoty buněk a tím i paměťovou náročnost. Výhodou naší varianty algoritmu je možnost vložit do mřížky známé informace o prostředí (např. půdorys stěn z výkresu) a využít je. Na Obr. 15b jsou modře



označena data z výkresu a zeleně data naměřená robotem. Je vidět, že v případě použití známých dat nedochází k deformaci mapy jako na Obr. 15a. Součástí implementace byl také vývoj modulu pro konverzi dat z výkresu.

Pro jednoznačnou lokalizaci robotu používáme rozpoznání korespondujících bodů pozorovaných kamerou. Metoda je založena na detekci a popisu významných bodů ve scéně algoritmem SIFT. Následně jsou identifikovány body, které robot pozoruje při pohybu co nejdéle, a přitom jsou dobře odlišitelné od ostatních. Polohu takových bodů si robot zapamatujeme a na základě jejich opětovného pozorování se může jednoznačně lokalizovat.



**OBR. 15: MAPA PROSTŘEDÍ VYTVOŘENÁ ROBOTEM**

**A) VÝSLEDEK MAPOVÁNÍ ALGORITMEM NDT**

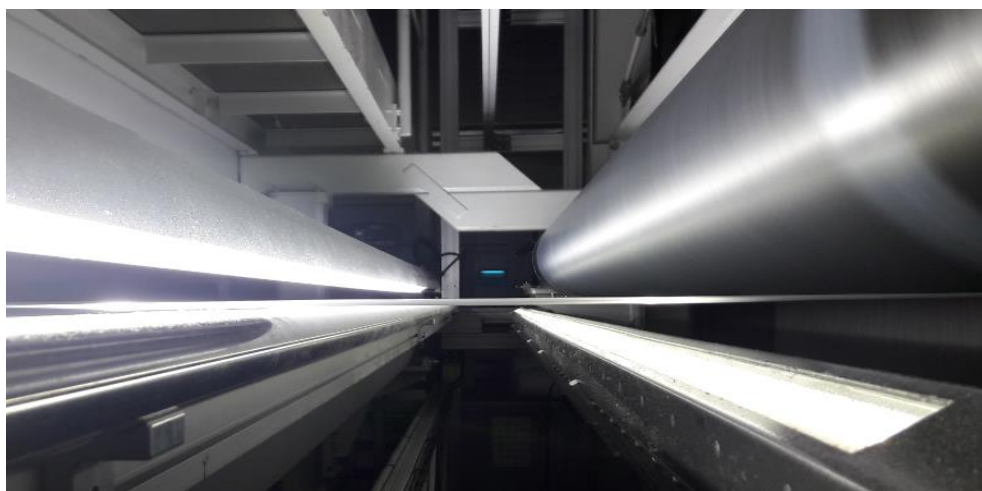
**B) VÝSLEDEK MAPOVÁNÍ STEJNÉ OBLASTI S POUŽITÍM INFORMACÍ Z VÝKRESU BUDOVY.**

**MODRÉ BODY REPREZENTUJÍ DATA Z VÝKRESU A ZELENÉ BODY DATA NAMĚŘENÁ ROBOTEM**

Vývoj a realizace funkčního vzorku systému pro kontrolu kontinuální výroby hutních materiálů na principu reflektometrie s využitím řádkové kamery  
07/2018 12/2019

V uplynulém období jsme navázali na vývoj algoritmů pro detekci vad při použití reflektometrie. V roce 2018 byla zahájena příprava systému pro detekci kvality povrchu při kontinuální výrobě na reflexním povrchu.

Vývojový tým společnosti CAMEA spolupracoval s partnerem při přípravě první implementaci systému pro detekci vad na reflexním válci. Testování v reálném provozu bylo úspěšně ukončeno v roce 2019. V rámci testů byla použita barevná kamera True RGB ELiIXA se snímkovací frekvencí 100 kHz a datovým tokem 2400 MB/s pro detekci vad na reflexním válci při obvodové rychlosti 1200 m/min. Použito bylo lineární reflexní osvětlení se shaderem v MD směru. Reflexní válec s osvětlením je vidět na Obr. 16. V průběhu testů byly optimalizovány detekční algoritmy pro provoz v reálném čase.



**OBR. 16: LINEÁRNÍ OSVĚTLENÍ A REFLEXNÍ VÁLEC NA TESTOVANÉM FUNKČNÍM VZORKU**

Vzdálenost shaderu 250mm od válce umožní měřit sklon 3D povrchu reflexního materiálu v MD směru v desítkách úhlových minut. Pořízené snímky kontrolovaného povrchu jsou na Obr. 17. Navržený a otestovaný princip reflektometrie byl integrován do systému UniscanDETECTOR jako další dodatečný modul doplňující současné možnosti pro reflexi, transmissi, světlé a temné pole.

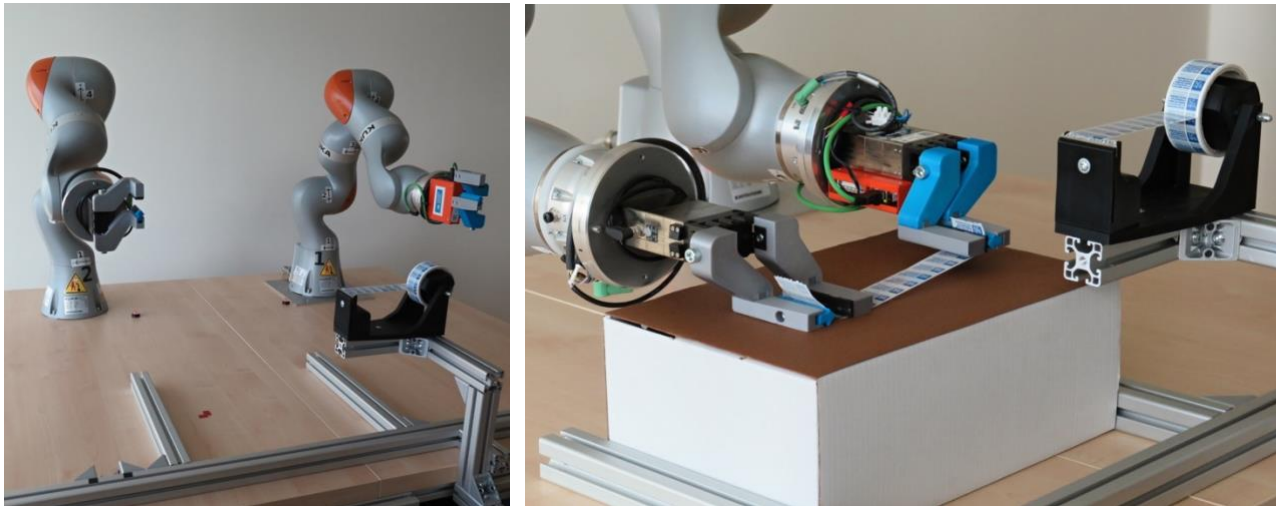


**OBR. 17: SNÍMKY DETEKOVANÝCH 3D OTLAKŮ, KTERÉ JSOU ZVÝRAZNĚNY LINEÁRNÍM SVĚTLEM S SHADEREM**

Příprava prototypu dvojrukého manipulátoru pro manipulaci s měkkými materiály  
01/2019 12/2019

Pro demonstraci průmyslové manipulace s měkkými materiály jsme zvolili úlohu aplikování lepicí pásky. Tato úloha zastupuje reálnou úlohu z oblasti manipulace a vkládání měkkých materiálů do automobilu, nebo úlohu

lepení vrstev kompozitní tkaniny do formy. Při lepení pásky je potřeba použít manipulátor se silovou zpětnou vazbou, abychom zajistili přitlačení pásky i její napnutí v průběhu lepení.



(a)

(b)

**OB. 18: DVOJRUKEJ MANIPULATOR: A) CELEJ PRACOVISTE, B) DETAIL LEPEJ PASKY.**

Ve sledovanem obdobij jsme sestavili pracoviste ze dvou manipulatoru KUKA iiwa, viz Obr. 18. Pro manipulaci s lepicj paskou jsme navrhli chapadlo, které zajistuje konstantni pritlak v celej sirice pasky. Vzajemnou polohu manipulatoru jsme kalibrovali s pomoci presneho laseroveho dalkomeru. Absolutni presnost manipulatoru je cca 2 mm. Jejich vzajemna presnost v podobnych konfiguracich je vsak vyssi. Dosazena presnost je pro reseni nasi ulohy postaaujici, vzhledem k tomu, ze pri manipulaci pouzivame silovou zpětnou vazbu.

Podstatnou casti realizovaneho zarizeni jsou programove moduly, které realizujj jednotlivé kroky ulohy. Nami navrzeny modul zpětnovazebniho rizeni realizuje hlavni ridici smyčku se silovou zpětnou vazbou. Implementovany algoritmu umozňuje pohyb manipulatoru po trajektorii pri soucasnem aplikovani požadovane sily. Regulačni smyčku se nám podařilo zrychlit na 1000 pruchodu za sekundu a zajistit tak plynuly pohyb manipulatoru. Z jednotlivych modulu a ridicijho algoritmu je sestaveno reseni ulohy. Manipulator si vezme pasku ze zasobniku tak, ze ji jednim chapadlem odvine a druhym odtrhne. Nasledne se přesune s natazenou paskou do mista pro nalepeni. Zde nejdříve přilepi jeden konec pasky a poté pri napinani pasky druhym chapadlem pasku uhladi. Video z prubehu lepej pasky jsme zveřejnili na adrese:

<https://youtu.be/lhfwGUBNEcA>

## Vysledky

TE01020197-V145 Prototyp dvojrukeho manipulatoru pro manipulaci s mekkymi materialy (18)  
G - Technicky realizovane vysledky (prototyp, funkčni vzorek) 12/2019 Dosažen

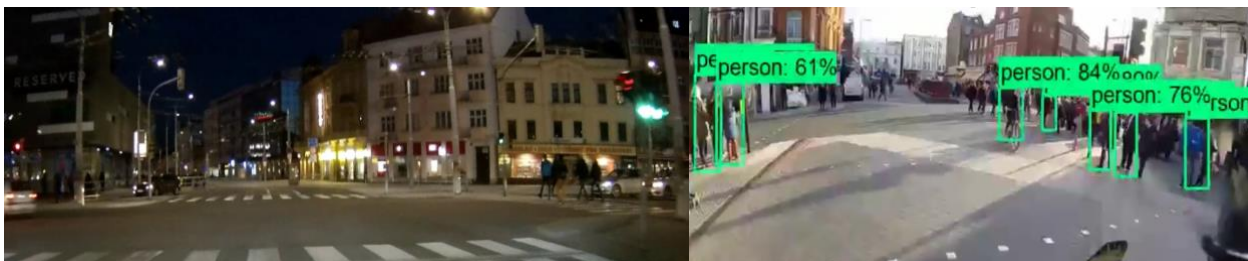
TE01020197-V146 Funkčni vzorek systemu pro kontrolu hutnich materialu na principu reflektometrie s využitim radkové kamery (18)  
G - Technicky realizovane vysledky (prototyp, funkčni vzorek) 12/2019 Dosažen

## WP19 – KAMEROVÁ ZAŘÍZENÍ A METODY ANALÝZY OBRAZU PRO MONITOROVÁNÍ DOPRAVY A V PRŮMYSLU

### Činnosti

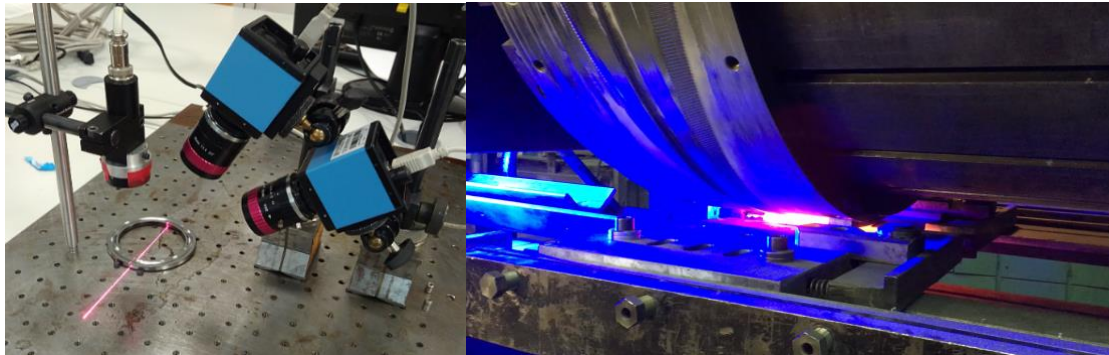
Vývoj a testování asistenčního systému řidiče  
01/2018 12/2019

Byl navržen, implementován a ověřen prototyp platformy ve formě funkčního vzorku kamerového systému pro asistenci řidiče vozidla při vyhodnocení aktuální dopravní situace v intra i extravilánu. Platforma sestává z několika variant sestav kamerových modulů, instrumentace a mobilního výpočetního prostředku pro řízení snímačů, předzpracování a uložení obrazových dat. Pro zpracování obrazových dat byly použity kromě standardních metod zpracování obrazu algoritmy strojového učení v podobě frameworku založeném na konceptu SSD, YOLO a R-CNN. Řada experimentů ověřující parametry v úlohách detekce chodců, dopravního značení a registračních značek vozidel byla provedena na veřejně dostupných datasetech (např. Kitti, COCO, Pascal VOC, CityShapes) a pro detekci v nočním provozu byla pořízena proprietární množina snímků včetně provedení anotací. Časově velmi náročné byly zejména implementace architektur hlubokého učení na stávající hardware pro offline syntézu detekčních nástrojů pracujících posléze v reálném čase. Rozsáhlé testování vlivu parametrů na přesnost detekce bylo provedeno zejména u favorizovaných architektur Faster R-CNN a SSD Lite.



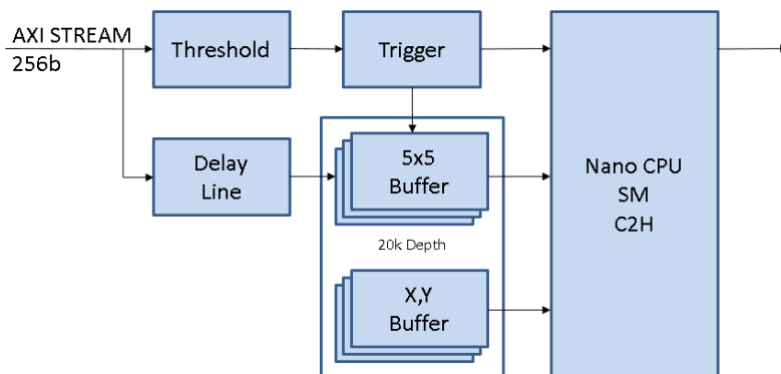
Návrh rámce systému pro hyperspektrální průmyslovou inspekci  
01/2018 12/2019

Byla navržena základní koncepce defektoskopického kamerového systému využívající hyperspektrální analýzu obrazových dat. Zejména pro průmyslové úlohy typu monitoring a inspekce byly analyzovány předpoklady použití několika konceptů pořízení hyperspektrálních dat – prostorové a spektrální skenování a jednorázové pořízení obrazových dat s následným převodem do hyperspektrální kostky  $(x, y, \lambda)$ . Analyzováno bylo využití jednak různých druhů hyperspektrálních snímačů z hlediska pásma, např. CCD/CMOS pro VNIR imaging (zpravidla cca 350-1000 nm) či NIR (900-1700 nm) a jednak z hlediska dimenze pořizovaných dat. V druhém případě jsme pracovali na experimentech s kolegy z Austrian Institute of Technology Vienna na specifických řádkových kamerách pro vysoce výkonné úlohy inline inspekce (např. Xposure 600 kHz linescan CMOS camera s hradlovým polem FPGA Altera Arria 10 SOC pro řízení datových toků a 10 GigE Vision rozhraním využitelným v průmyslové hyperspektrální inspekci).



### Hardwarové IP jádro pro zpracování a vyhodnocení obrazových dat 01/2017 12/2019

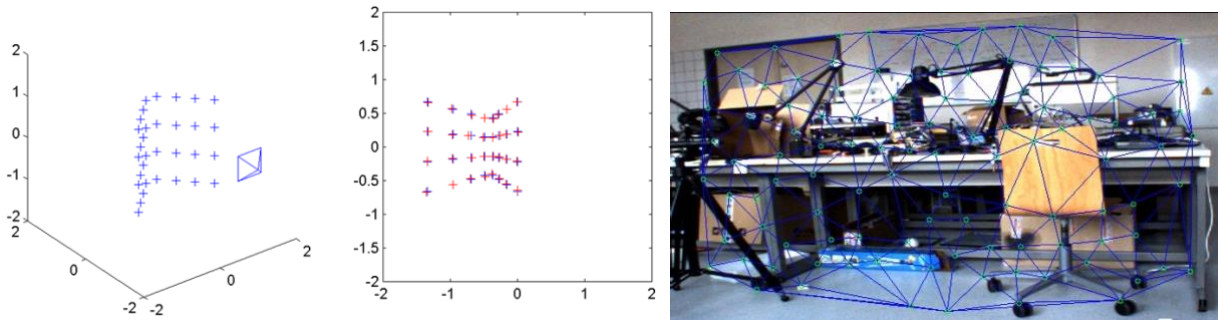
V rámci této aktivity vzniklo IP jádro ve formě firmware pro zpracování a vyhodnocení objemných dat z rychle se pohybujících objektů / geometrických primitiv a jádro pro přenos dat mezi kamerovým systémem a řídicím PC. Funkce konceptu IP jádra byla ověřena implementací modulu proudového zpracování obrazových dat pracujícího v reálném čase. Tento modul umožňuje vstupní datový tok při maximálním rozlišení 4K v 16-ti bitové hloubce s frekvencí 60 Hz a full-HD rozlišení na 500 Hz. V každém jednotlivém snímku je možné rozlišit až 2500 nezávislých objektů a modul lze konfigurovat pro různé vstupní formáty, nastavit různou velikost výstupního a příznakového bufferu, přičemž latence zůstává menší než jeden obrazový snímek.



### Vývoj systému pro souběžnou lokalizaci a mapování 01/2018 12/2019

V rámci této činnosti byl navržen, implementován a experimentálně ověřen akviziční a procesní systém pro úlohy souběžné lokalizace a mapování s primárním záměrem na využití v prostředí interiéru budov. Koncepční základ obecnosti vychází z přístupu k mapování, které je založeno na modelování informačně nosných elementů struktury prostředí pomocí geometrických entit vyššího řádu (například přímky, roviny, atd.). Parametrizaci těchto entit lze optimalizovat. Druhým aspektem obecnosti je funkčnost i za absence odometrických dat. Pro ověření funkce návrhu metody fúzí výstupy různých obrazových snímačů na laboratorně pořízených datech bylo implementováno prostředí pro virtuální simulaci monokulární kamery pohybující se po určené trajektorii. Pomocí detekce významných bodů (vertexy) a sestavením

trojúhelníkových segmentů (deLauného triangulace) byla registrací ověřena planarita každého segmentu jako aditivní informace zvyšující přesnost generované mapy prostředí.



Konzultační, informační a publikační činnost  
01/2016 12/2019

Průběžně, podle potřeby.

## Výsledky

TE01020197-V156 Kamerový systém pro asistenci řidiče vozidla (19)  
G - Technicky realizované výsledky (prototyp, funkční vzorek) 12/2019 Dosažen

TE01020197-V157 IP jádro pro zpracování a vyhodnocení obrazových dat (19)  
G - Technicky realizované výsledky (prototyp, funkční vzorek) 12/2019 Dosažen

TE01020197-V158 Systém pro souběžnou lokalizaci a mapování (19)  
G - Technicky realizované výsledky (prototyp, funkční vzorek) 12/2019 Dosažen

## WP20 – FRAMEWORK PRO IMPLEMENTACI TECHNOLOGIÍ AUTOID DO PROCESŮ VE ZDRAVOTNICTVÍ

### Činnosti

Podpora instalovaných funkčních vzorků a jejich kontinuální aktualizace  
03/2017 10/2019

Během roku 2019 došlo k výrazné podpoře funkčního vzorku RTLS nasazeného na urgentním příjmu FN Ostrava. Došlo k aktualizaci prototypu na straně HW, byly vylepšeny krabičky a celý systém byl rozšířen. Z oblasti programového řešení došlo k výrazné aktualizaci. Byla vydána nová verze sesterské aplikace, která je doplněna o statistické výstupy ve formě krabicových grafů a histogramů. Dále došlo k optimalizaci backendového serveru a jeho migraci na novou formu ORM vrstvy – konkrétně Microsoft Entity Framework. Na RTLS systému bylo v pilotním testování změřeno cca 500 skutečných pacientů. RTLS bude dále rozvíjen mimo projekt a návazné práce slibují rozšíření nasazení systému do dalších nemocnic.

Dále byl udržován systém, který zabraňuje pacientům opustit dětské oddělení v traumatologickém centru, kde se již několik let těší své oblíbenosti.

Systém pro evidenci vytížení centrálních sálů byl rovněž udržován a aktualizován. V roce 2019 proběhlo pilotní testování tohoto systému. Výsledky budou dále zpracovány již mimo projekt a systém bude dále rozvíjen.

Návrh struktury frameworku AutoID HEALTHCARE, tvorba nástrojů a postupů a metodiky jeho implementace  
07/2017 10/2019

V této aktivitě byly postupně strukturovány dosažené výsledky za účelem vytvoření frameworku AutoID HEALTHCARE. Softwarové moduly byly revidovány a připraveny pro potřeby frameworku.

Vytvoření certifikované metodiky implementace prvků AutoID do zdravotnických procesů  
03/2019 12/2019

Během roku 2019 byla rovněž připravena a vytvořena certifikovaná metodika: Framework AutoID HEALTHCARE (20). Certifikací byla oslovena firma Versa Systems s.r.o., která formou konzultací upravila metodiku do podoby vhodné pro certifikaci a následně provedla proces certifikace.

## Souhrn

V roce 2019 byla naplánována hlavní činnost tvorba certifikované metodiky. Ta byla v daném roce zpracována a certifikována. Dále v tomto roce probíhalo dvojí pilotní testování dříve dosažených výsledků v praxi. RTLS systém nasazený na urgentním příjmu FNO během pilotního testu změřil cca 500 pacientů. V průběhu roku byl učiněn důležitý krok z hlediska propagace a diseminace výsledku projektu a sice popularizační článek MF Dnes (22.10.2019 str. 16), který popisoval výbornou zkušenost se zavedením technologie RTLS ve FNO. Tento článek je v příloze. Zároveň bylo provedeno pilotní testování systému sledování vytížení centrálních sálů ve FN Brno Bohunice. Práce probíhaly v souladu s plánovaným harmonogramem. Řešitelské týmy obou organizací zůstaly stejné a prostředky byly vynaloženy v souladu s harmonogramem projektu. Byla naplněna věcná i finanční část balíčku.

## Dosavadní přínosy

V průběhu roku 2019 o výsledek TE01020197-V134 projevil zájem i oddělení ORL a Klinika obličejové chirurgie a zde byl poté také nainstalován a v obou případech je již využíván. Další oddělení nemocnice o něj rovněž projevují zájem.

## Vědci sledují pohyb postelí na urgentním příjmu

**OSTRAVA** Přes 400 těžce zraněných a nemocných lidí, kteří v posledních měsících prošli urgentním příjmem Fakultní nemocnice Ostrava, mělo na posteli malou krabičku s čipem. Jejich pohyb díky tomu zaznamenával nový lokalizační a identifikační elektronický systém.

Novinku vyvinul tým z katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB-Technické univerzity Ostrava spolu s nemocnicí a specializovanou firmou. Lůžka pacientů budou vědci monitorovat do konce roku.

„Náš systém využívá infračervené světlo, které umožňuje lokalizovat pacienta s přesností na místnost. Pro komunikaci s počítačem pak kombinuje a využívá jinou radiofrekvenční komunikaci,“ uvedl jeden z řešitelů Tomáš Urbanczyk.

Systém může zaznamenat i změny zdravotního stavu, třeba když se pacientovi přitíží, dostane záchvat nebo jej převezou na oddělení.

„Monitorujeme čas od chvíle přijetí pacienta po jeho předání k léčbě mimo prostory urgentního příjmu. Cílem je zkrátit dobu pobytu na urgentu a zdokonalit logistiku pohybu pacienta i provádění výkonů,“ uvedl primář oddělení centrálního příjmu Stanislav Jelen. Zdůraznil, že zrychlení diagnostiky i léčby má u kriticky nemocných či zraněných velký vliv na jejich prognózu. „Počítáme s rozšířením systému o další funkce i s jeho rozšířením do dalších prostor nemocnice.“ (les)



Záznam události  
Příjem pacienta



### Výsledky

TE01020197-V135 Framework AutoID HEALTHCARE (20)

N - Metodiky (metodika certifikovaná oprávněným orgánem) 12/2019 Dosažen



## WP21 – INTEGROVANÉ SYSTÉMY PRO OPTIMALIZACI VÝROBY A LIDSKÝCH ZDROJŮ

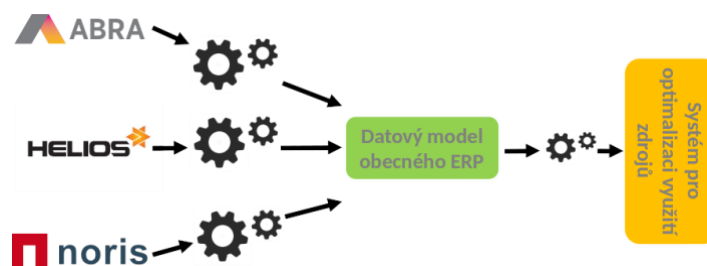
### Činnosti

Implementace integrovaných systémů pro optimální využití zdrojů ve výrobě a službách  
01/2017 12/2019

Jednou z hlavních činností, na kterou jsme se v této aktivitě zaměřili, je dokončení řešení pro lokalizaci dílců a materiálu ve výrobních halách. Naším cílem bylo vyřešit problém, kdy dělníci nemohou pracovat, když nevědí, kde se nachází potřebný materiál. Byla vyvinuta aplikace pro mobilní telefony, která informuje pracovníky o lokaci materiálu.

Častým problémem, se kterým se setkáváme při nasazování našeho systému pro optimalizaci výroby je nedodržování fronty práce dělníky. Efektivita využití automatizovaného rozvrhování ve výrobních halách tkví nejenom v tom, jak kvalitní rozvrhy algoritmy vytváří, ale hlavně zda jsou tyto rozvrhy opravdu prováděny. Naneštěstí je častým jevem to, že na operaci s vyšší prioritou dělník nepracuje (typicky kvůli náročnosti operace). Pro tento případ jsme navrhli algoritmus monitoringu operací, který počítá, jak moc jsou jednotlivé operace “přeskakovány”. Tento údaj je pak viditelný mistrům.

Poslední z hlavních prací pro systém rozvrhování výroby byla implementace rozhraní do informačních systémů Noris Next a Abra. Díky tomu je náš systém univerzálnější a jeho integrace je rychlejší. Kvůli velkému množství podporovaných informačních systémů a ERP bylo nutné navrhnout obecný datový model, se kterým by bylo možné pracovat jednotně.



Co se týče systému pro rozvrhování zaměstnanců, tak byl přetvořen na plně webový nástroj, který byl poskládaný na stejné platformě, jakou používáme pro optimalizaci zdrojů ve výrobě.

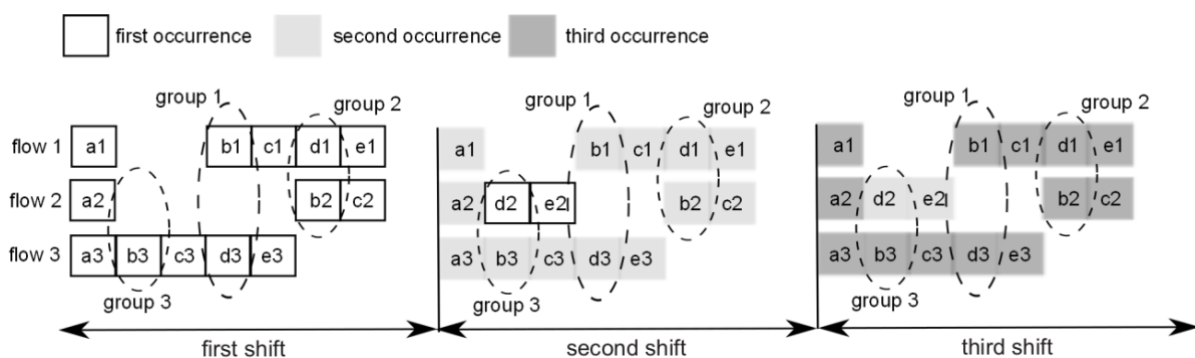
To nám umožnilo implementovat sdílení zaměstnance mezi více odděleními. Obrázek 19 níže ukazuje pohled na rozvrh směn zaměstnanců, který je zobrazen pomocí webové komponenty spreadsheet.

The screenshot shows a software interface for scheduling. At the top, there are menu options like 'Úkolová', 'Zaměstnanec', 'Statistika', and 'Změny'. Below the menu is a large grid with columns representing time slots (1-30) and rows representing different tasks or resources. The grid contains various symbols and numbers, indicating the assignment of tasks to resources over time. On the right side, there are several summary statistics and a list of resources.

OBR. 19. ROZVRH SMĚN ZAMĚSTNANCŮ

Testování a upgrade algoritmů  
01/2018 12/2019

V rámci této činnosti byl přijat časopisecký článek Hanen, C.; Hanzálek, Z.: Grouping tasks to save energy in a cyclic scheduling problem: a complexity study v časopise European Journal of Operational Research (v tisku), který je výsledkem TE01020197V032. Článek se zabývá studií složitosti kombinatorického problému cyklického rozvrhování se seskupováním úloh. Jednou z motivací pro tento výzkum je problém objevující se při převážení materiálu mezi vzdálenými výrobními halami, kdy je nutné rozhodnout, který materiál převážet, aby nebyly překročeny termíny dokončení zakázek. Převážení je prováděno pouze jednou za směnu z důvodu snížení nákladů.



Jedním z hlavních přínosů článku je polynomiální algoritmus pro tento případ.

Další zkoumanou oblastí jsou problémy rozvrhování ve výrobě s ohledem na dodržení čtvrt hodinových maxim. Pro tento problém byl navržen heuristický algoritmus lokálního prohledávání, který je schopen řešit velké problémy (1500 úloh přes 10 strojů) v krátkém čase. Tento algoritmus byl porovnán s metodou založenou na Constraint Programming; náš algoritmus našel nejlepší řešení v 81.67% případech, kdežto Constraint Programming pouze v 26.11%. Výsledky bádání byly sepsány do článku, který byl zaslán do časopisu International Journal of Production Economics. Článek je nyní v recenzním řízení.

Testování a upgrade webových komponent  
01/2018 12/2019

Ve webové komponentě spreadsheet byly opravovány chyby (především co se týče práce s kurzory) a dopisována dokumentace. Z nových funkcí přibyla např. možnost editace obsahu hlaviček.

### Výsledky

TE01020197-V150 Integrované systémy pro optimální využití zdrojů ve výrobě a službách (21)  
R – Software 12/2019 Dosažen

TE01020197-V155 Konferenční publikace (21)  
O - Ostatní výsledky 12/2019 Dosažen

TE01020197-V177 Publikace optimalizačního problému v časopise (21)  
O - Ostatní výsledky 12/2019 Dosažen

## WP22 – MODULÁRNÍ SYSTÉM PRO MONITOROVÁNÍ, ŘÍZENÍ A OPTIMALIZACI VÝROBNÍCH PROCESŮ

### Činnosti

Návrh a implementace komplexních algoritmů pro optimalizaci řízení distribuovaných výrobních procesů  
01/2018 06/2019

V návaznosti na předchozí aktivity, bylo provedeno rozšíření softwarové knihovny o další moduly pro optimalizaci výrobních procesů distribuovaného charakteru, které jsou dále blíže popsány. Aktivita zahrnovala též postupné zdokonalování již vyvinutých softwarových modulů v předchozích etapách projektu.

#### *Modul pro řízení a monitorování průběžné ohřívací pece*

Byl navržen a implementován softwarový modul na bázi matematicko-fyzikálního modelu ohřívací pece, který má s vysokou věrohodností simulovat chování reálného poměrně složitého výrobního procesu, který je ovlivněn mnoha poruchami a mnoha parametry. Model může sloužit k simulaci procesu za účelem školení obsluhy pece, testování různých strategií ohřevu, k návrhu a ladění pokročilého regulátoru řízení pece nebo může být přímo využit v pokročilém řízení při optimalizaci v reálném čase. Tato pokročilá optimalizace, vycházející z konceptu prediktivního řízení na bázi modelu (MPC), je také jedna z funkcionalit tohoto modulu. Modul umí provést výpočet ideálního nastavení pece pro daný ustálený pracovní režim, kdy ohřev běží plynule bez poruch, výsledkem je ideální referenční ohřevová křivka. Při běžném ohřevu však dochází k různým nepravidlostem a poruchám procesu ohřevu, což se pak pokročilý MPC regulátor snaží dynamicky kompenzovat a přibližovat se ke zmíněné referenční křivce, a to využitím znalosti aktuálního stavu pece a případné předem oznámené poruchy ohřevu. Modul byl implementován v jazyce C# a zasazen do softwarové platformy, která umožní případné využití v reálném průmyslovém nasazení. Bylo navrženo a implementováno grafické uživatelské rozhraní, kde je možné model konfigurovat, simulovat včetně poruch ohřevu a řídit pomocí zmíněných metod.

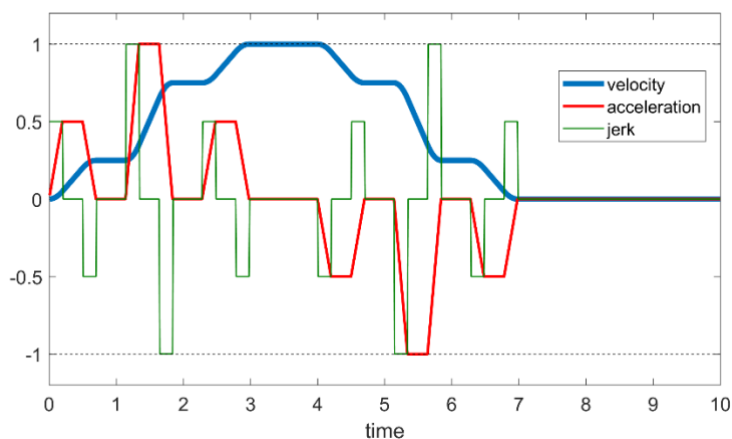
### Moduly pro zpracování dat a optimalizaci válcovacích procesů

K optimalizaci jakéhokoli procesu, zvláště procesu válcování, je nezbytné zpracovat a analyzovat velké množství dat. Vhodným nástrojem pro zpracování a následnou analýzu dat jsou polynomiální neuronové jednotky, kterými lze účinně optimalizovat proces válcování. Podpůrným nástrojem k analýze válcovacího procesu je simulátor hydropohonu válcovací stolice, kterým lze velkými vstupními daty emulovat chování reálného hydropohonu. Vhodnou strategií řízení hydropohonu je dosažení kompenzace dopravního zpoždění a excentricity válců v procesu válcování.

- *Optimalizace silových a momentových korekčních faktorů pomocí polynomiálních neuronových jednotek* – Modul neuronových polynomiálních jednotek byl vyvíjen v prostředích python a C++. Pomocí tohoto modulu (hlavičková knihovna C++) lze navrhovat a trénovat polynomiální neuronové jednotky libovolného řádu. Tyto natrénované jednotky jsou použity pro korekci matematicko-fyzikálního modelu válcování (přítlačných sil a momentů).
- *Simulátor hydropohonu válcovací stolice* – Simulátor hydropohonu byl implementován s předdefinovanými testovacími vstupy (obdélníkový puls, harmonická funkce a obecný vstup). Za použití obecného vstupu lze emulovat funkci Hardware-In-the-Loop (HIL), tj. požadované polohování válce hydropohonu vyplývající z válcovacího plánu. Emulací funkce HIL lze také diagnostikovat potenciální poruchy hydropohonu.
- *Robustní regulátor pro kompenzaci dopravního zpoždění a excentricity válců v procesu válcování* – V návaznosti na předchozí návrh řídicího systému pro kompenzaci zpoždění mezi válcovací stolicí a senzorem tloušťky plechu a pro kompenzaci excentricity válců s využitím koncepce repetitivního řízení byl navržen a implementován filtr pro zvýšení robustnosti celého regulačního pochodu. Původní filtr druhého řádu byl nahrazen filtrem vyššího řádu, který umožňuje zvýšení bezpečnosti v zesílení i ve fázi, přičemž je zachováno plné potlačení periodické poruchy na dané frekvenci.

### Jeřábový anti-sway systém pro manipulaci s hutním materiálem

Aplikací teorie systémů s dopravním zpožděním a návrhových metod signálových tvarovačů byl navržen a implementován systém kompenzace kývání břemen zavěšených na jeřábové kočce pro manipulaci s hutním materiálem. Původní metodika kombinuje robustní tvarovač signálu s pre-filtrujícími technikami, které respektují omezení rychlosti, zrychlení a jerk pohonné jednotky. Dané řešení s pokročilými funkcionalitami vyniká svou návrhovou jednoduchostí, která výrazně snižuje implementační náklady realizace systému řízení. Navržený systém byl úspěšně implementován a validován v reálném provozu.



### *Rozšířený modul pro estimaci teploty v procesu kontilití založený na redukovaném CFD modelu*

Hlavním cílem výzkumu bylo vyvinout redukovaný 3D model procesu kontilití metodou konečných objemů. Model byl využit pro monitorování a optimalizaci procesu kontilití. V předchozí fázi výzkumu byl dokončen 3D model procesu kontilití uvažující všechny podstatné parametry procesu, jako například vlastnosti oceli v závislosti na teplotě a chemickém složení oceli, změna okrajových podmínek v závislosti na teplotě, výpočet důležitých parametrů procesu (tloušťka skořápky a metalurgická délka) a 3D zobrazení získaných výsledků. V této fázi byl model rozšířen o vliv teploty a parametrů procesu na geometrii bramy. Tento model byl také rozšířen do tvaru obsahujícího koeficient vedení tepla tekutého jádra a pevné fáze a teploty tuhnutí oceli s cílem získání co nejpřesnějšího rozložení tepelného pole v bramě. K stávajícímu modelu bylo přidáno i odpovídající grafické rozhraní umožňující zadávání odpovídajících parametrů a zobrazení výsledků. Vyvinutý software, kromě hlavního výstupu ve tvaru trojrozměrného pole rozložení teplot v bramě, poskytuje i informace o změnách geometrických parametrů (area reduction), tloušťce skořápky, metalurgické délce a v poslední řadě i odchylování tekuté fáze od středu bramy.

### *PID algoritmy pro systémy s distribuovanými parametry*

Byl dokončen zobecněný postup návrhu parametrů PID regulátoru pro systémy s dopravním zpožděním s využitím podobnostního přístupu. Výsledkem je univerzální nastavení parametrů regulátoru pro celou množinu si dynamicky podobných soustav se zpožděním. Jedná se o finální výsledek projektu v oblasti parametrizace PID regulátorů průmyslových procesů s dopravním zpožděním. Dále byla provedena srovnávací studie pravidel nastavení PID regulátoru, tj. navrženého nastavovacího pravidla založeného na modifikované metodě předepsání dominantních pólů a v praxi nejpoužívanější nastavovací metodě Ziegler-Nicholsovy, pro systémy až třetího řádu s dopravním zpožděním, představující systém s komplexní dynamikou, včetně dynamiky akčního členu. S výjimkou jediného případu systému se spektrem tří pólů, reálného blíže imaginární ose než poloha komplexně sdružené dvojice, dává navržená modifikace metody předepsání pólů v odezvě na poruchu nižší hodnotu integrálního kritéria absolutní regulační odchylky, než je tomu u Ziegler-Nicholsovy metody.

### [Návrh, implementace a testování systému pro integraci navržených softwarových modulů](#)

09/2018 12/2019

V rámci této finální aktivity balíčku byl proveden návrh a implementace systému pro integraci softwarových modulů navržených a aplikovaných především v rámci balíčků 11 a 22.

### *Softwarová platforma pro integrovaný modulární systém optimalizace, monitorování a řízení průmyslových procesů*

Dříve vzniklé jednotlivé softwarové rutiny a knihovny byly využity vždy hned v několika funkcích nově vzniklé softwarové platformy. Vzniklá softwarová platforma, tak poskytuje prostředky pro celý systém řízení procesu. Tedy konkrétně jak pro návrh, řízení a monitorování, ale i pro následnou optimalizaci a ladění. Softwarová platforma je natolik modulární, že lze jednotlivé funkce využívat samostatně, případně je slučovat do větších systémových celků. Tato systémová platforma poskytuje především funkce pro řízení procesů ohřívacích a tavicích pecí a válcování. Každá z těchto funkcí pak poskytuje řadu systémů pro řízení, monitorování a optimalizaci procesu. Výpočetní část platformy byla implementována v jazyce C++ a nástroje pro konfiguraci, vizualizaci a optimalizaci v jazyce C#.

*Níže specifikované výsledky dosažené v řešených aktivitách jsou plně v souladu s návrhem a časovým plánem projektu pro WP22*

**D** - Fišer, J. – Zítek, P. – Vyhlídal, T.: Neutral PID Control Loop Investigated in Terms of Similarity Theory. In: Proc. 14th IFAC Workshop on Time Delay Systems. Budapest, 2018-28-30.6.2018, p. 236-241. IFAC-PapersOnLine, Vol. 51(2018).

**Jimp** - Zítek, P. – Fišer, J. – Vyhlídal, T.: Dynamic similarity approach to control system design: delayed PID control loop. International Journal of Control, 2019, 92(2), 329-338.

**R** - Vyhlídal, T. – Knobloch, J. – Bušek, J. – Skopec, P. – Simeunovič, G. – Fišer, J.: Modulární softwarová platforma pro monitorování, řízení a optimalizaci distribuovaných výrobních procesů. [Software] 2019.

*Výsledky nad rámec plánu projektu*

**D** - Fišer, J. – Zítek, P.: PID controller tuning via dominant pole placement in comparison with Ziegler-Nichols tuning. IFAC-PapersOnLine, 52(18), 2019, 43-48.

## Výsledky

TE01020197-V137 Modulární softwarová platforma pro monitorování, řízení a optimalizaci distribuovaných výrobních procesů (22)  
R – Software 12/2019 Dosažen

TE01020197-V163 Článek ve sborníku na téma návrh a implementace softwarové platformy pro monitorování, řízení a optimalizaci distribuovaných procesů (22)  
O - Ostatní výsledky 09/2019 Dosažen

TE01020197-V164 Článek v odborném časopise popisující finální výsledek balíčku 22 – Modulární softwarová platforma pro monitorování, řízení a optimalizaci (22)  
O - Ostatní výsledky 12/2019 Dosažen

## WP23 – MANAGEMENT PROJEKTU

Tým managementu pracoval po celý rok 2019 ve složení:

prof. Ing. Vladimír Kučera, DrSc., dr. h. c., manažer projektu,  
Ing. Jaromír Fišer, Ph.D. koordinátor cíle 1,  
prof. Ing. Vladimír Mařík, DrSc., dr. h. c., koordinátor cíle 2,  
prof. Ing. Václav Hlaváč, CSc., koordinátor cíle 3,  
prof. Dr. Ing. Zdeněk Hanzálek, koordinátor cíle 4,  
Ing. Marcela Kamenská, finanční manažerka projektu,  
Monika Hübnerová, sekretářka projektu.

## Činnosti

Seminář a Rada CAK

09/2019 11/2019

Uskutečnila se pravidelná jednání na všech řídicích úrovních. Uskutečnila se plánovaná činnost „Seminář a Rada CAK“. Seminář projektu se uskutečnil v hotelu Sklář v Harrachově ve dnech 3. -4. 9. 2019 a přispěl k vzájemné informovanosti týmů a ke koordinaci řešení projektu. Na semináři byl přítomen i pověřený konzultant projektu Ing. Jaroslav Doležal, CSc., dr.h.c.

Jednání Rady projektu proběhlo v rámci semináře dne 3. 9. 2019. Manažer projektu informoval o postupu řešení projektu. Přítomní potvrdili, že řešení probíhá podle plánu a je možné očekávat splnění všech cílů projektu. Pověřený konzultant seznámil členy Rady s plánovaným průběhem oponentního řízení projektu.

V závěru roku 2019 pracoval tým managementu na přípravě Smlouvy o využití výsledků projektu a na Plánu a strategii udržitelnosti Centra.

### Výsledky

Nebyly plánovány.

V PRŮBĚHU REALIZACE PROJEKTU  
BYLO DOSAŽENO VŠECH 77 ZÁVAZNÝCH VÝSLEDKŮ  
A 43 DALŠÍCH VÝSLEDKŮ PROJEKTU.