



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
MATERIÁLOVOTECHNOLOGICKÁ FAKULTA SO SÍDLOM V TRNAVE

Ing. Andrea Václavová

Autoreferát dizertačnej práce

**Integrácia dát z heterogénnych úrovní riadenia pre potreby analýzy a
komplexné simulácie procesov v rámci konceptu Industry 4.0**

na získanie akademického titulu: doktor (philosophiae doctor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: Automatizácia a informatizácia procesov

v študijnom odbore: Kybernetika

Forma štúdia: denná

Miesto a dátum: Trnava, 31.5.2022



Dizertačná práca bola vypracovaná na Katedre aplikovanej informatiky a automatizácie a
Ústave aplikovanej informatiky, automatizácie a matematiky

Predkladateľ: Ing. Andrea Václavová
Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie a matematiky
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave,
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Jána Bottu 2781/25
917 24 Trnava

Školiteľ: doc. Ing. Michal Kebísek, PhD.
Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie a matematiky
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave,
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Jána Bottu 2781/25
917 24 Trnava

Oponenti:

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa **o** **h.**

Na Materiálovotechnologickej fakulte fakulte STU so sídlom v Trnave, J. Bottu 25, 917 24,
Trnava

.....
prof. Ing. Miloš Čambál, CSc.
dekan MTF STU

Obsah

Úvod.....	4
1 Analýza a problematika súčasného stavu.....	5
1.1 Výrobné podniky bez integrácie dát.....	5
1.2 Výrobné podniky s riešením integrácie dát.....	6
2 Ciele dizertačnej práce	7
3 Charakteristika a opis výrobnjej infraštruktúry.....	8
3.1 Súčasná systémová architektúra.....	8
3.2 Požiadavky na integráciu dát výrobnjej linky	8
4 Návrh integrácie dát z heterogénnych úrovni riadenia	10
4.1 Základný model integrácie dát	10
4.2 Všeobecné modely integrácie.....	10
4.2.1 Objektovo orientovaný spôsob integrácie	11
4.2.2 Integrácia založená na TAGoch – značkách	12
4.3 Identifikácia vlastností modelov integrácie.....	14
4.4 Návrh vytvorenia integrácie medzi výrobnou linkou a Wonderware pomocou TAGov	15
4.5 Vytvorenie modelu pre zber dát pomocou objektovo orientovaného modelu.	20
4.6 Kombinácia integrácie pomocou objektovo orientovaného a TAGového riešenia.....	25
4.7 Nasadenie aplikácie Historian pre ukladanie dát	25
4.8 Systémová architektúra po integrácii	25
4.9 Dáta pre podporu simulačných procesov	27
4.10 Integrácia IIoT zariadenia do výrobného procesu.....	28
4.11 Systémová architektúra po integrácii IIoT	29
5 Overenie a zhodnotenie navrhovaných riešení	32
5.1 Overenie a zhodnotenie integrácie výrobnjej linky a softvéru Wonderware	32
5.2 Zovšeobecnenie návrhu za účelom využitia integrácie v priemyselnom podniku.....	32
6 Prínosy dizertačnej práce	37
Záver	39
Zoznam publikačnej činnosti	41
Zoznam bibliografických odkazov.....	43

Úvod

Malé a stredné výrobné podniky sú dnes konfrontované so stále komplexnejšími a dynamickejšími podmienkami, ktoré vyžadujú rýchle rozhodovanie. Rýchlosť, s akou sú podniky schopné porozumieť aktuálnym informáciám v kontexte historizácie dát, priamo ovplyvňuje ich podnikanie. Aby si firmy zachovali konkurenčnú schopnosť, potrebujú implementovať modernejšiu technológiu, ktorá umožní vykonávať rýchlejšie a inteligentnejšie rozhodnutia.

V praktickej rovine sa touto problematikou zaoberajú rôzne prístupy: dátové sklady, dátová integrácia, master data management, podniková aplikačná integrácia. Pre vyššie zmienené prístupy je charakteristické, že zaisťujú vzájomné automatizované odovzdávanie a zdieľanie dát medzi všetkými časťami podnikových systémov. Dôležitá je rovnako aj kvalita dát, to znamená ako kvalitne sú dáta do systému zadávané a v akej miere sú využívané v prospech organizácie. Taktiež je dôležitá konzistencia dát, ktorá je niekedy kvôli rôznym zdrojom dát necelistvá.

Cieľom dizertačnej práce je navrhnúť model integrácie výrobných podnikových dát z heterogénnych úrovní riadenia tak, aby bolo možné takto získané dáta ďalej využívať v prospech výrobných podnikov. Takto zintegrované dáta je možné ukladať na centrálné úložiská, a teda je možné na nich vykonávať rôzne analýzy a simulácie pre zefektívnenie výrobných procesov.

Na základe analýzy súčasného stavu a teoretických východísk a charakteristiky výrobnéj infraštruktúry bude vykonaná integrácia výrobných podnikových dát. Tieto dáta bude možné historizovať z heterogénnych úrovní riadenia a následne využívať pre rôzne účely ako napríklad analýzy a simulácie. Vykonaním analýz integrovaných dát tak bude možné výrobné procesy lepšie identifikovať a hlbšie pochopiť a následne tieto výrobné procesy zefektívniť. Na základe úspešne vykonanej integrácie dát na výrobnéj linke tak bude možné navrhnúť zovšeobecnený integračný model, pomocou ktorého bude možné vykonávať integráciu na prakticky akejkolvek výrobnéj linke v rôznych odvetviach priemyslu

1 Analýza a problematika súčasného stavu

Problematika dátovej integrácie u malých a stredných priemyselných podnikov predstavuje adaptáciu existujúcich technológií a ich využitie, prípadne ak sa to dá, vylepšenie stavu, kedy okrem primárnych cieľov výroby budú schopné poskytovať doplňujúce dáta, ktoré podporia analýzu, optimalizáciu a umožnia rozvoj technologického rastu, stability alebo optimalizácie z pohľadu energetických požiadaviek. Každá optimalizácia alebo zistenie má dopad na všetky menované aspekty [1].

Cieľom integrácie dát je prepojenie existujúcich prvkov, ktoré umožnia ľahšie riadenie výroby. Analyzované boli podniky v ktorých bola vykonaná dátová integrácia. Podniky, ktoré integráciu z nejakého dôvodu nemajú zrealizovanú ťažko identifikujú prípadné výhody, ktoré táto oblasť prináša. Pre tento účel bol vytvorený prehľad podnikov, v ktorých bola zrealizovaná dátová integrácia pomocou MES systému. Rozobraté sú súčasné možnosti integrácie IIoT zariadení pre zefektívnenie výrobných procesov v malých a stredných podnikoch na základe analýzy výrobných dát, ktoré vyplynuli zo zavedenej integrácie [2].

1.1 Výrobné podniky bez integrácie dát

Mnoho malých a stredných podnikov, ktoré sa zaoberajú výrobou produktov a surovín rôzneho charakteru, fungujú bez riadiaceho systému alebo nástroja podporujúceho dátovú integráciu. Takéto výrobné infraštruktúry sú väčšinou riadené viacerými rozmanitými informačnými a riadiacimi systémami, ktoré väčšinou vzájomne nespôlpracujú a používajú základné licencie s obmedzenou funkcionalitou a sú tvorené z viacerých výrobných súčastí. Tieto výrobné súčasti sú naprogramované a riadené pomocou rôznych typov riadiacich prvkov. V technickej praxi je obvykle použité riadenie vo výrobných linkách pomocou rôznych programových logických kontrolérov PLC. V niektorých podnikoch sa výrobné dáta neukladajú. Iné podniky zase dáta prepisujú ručne, alebo ich jednorazovo presúvajú medzi systémami, čo prináša nesúlad medzi systémami a tým vzniká aj riziko, že dáta môžu byť neúplné alebo chybné. Mnohé dáta sú uložené v dokumentoch bez možnosti automatického využitia a sú dostupné len pre jednotlivcov [3, 4]

Dôvody prečo niektoré malé a stredné podniky nemajú záujem o dátovú integráciu a MES systém :

- **Vysoké počiatočné investičné náklady.** Mnoho malých a stredných podnikov nedisponuje dostatočným rozpočtom. Nie je pre nich ľahké vyčíslit' návratnosť investície. Prípadne nie je jasný prínos a návratnosť investície.
- **Potrebné je porozumieť výrobe na riadiacej úrovni.** Malé a stredné podniky nedisponujú zamestnancami, ktorí majú potrebné znalosti. Externý dodávateľ technologických riešení potrebuje čas na pochopenie a potom realizáciu integrácie a nasadenie riadiacich systémov.
- **Problematická môže byť integrácia v prípade rôznych dodávateľov riadiacich prvkov výrobných liniek.** Komunikačné štandardy sa môžu líšiť alebo ich konektivita a možnosti externého riadenia je limitovaná, úplne nemožná alebo možná len po zakúpení dodatočných modulov alebo licencií.

- **Je potrebné analyzovať a navrhnuť zmeny z pohľadu infraštruktúry podniku.** Všetky kroky potrebné k digitálnej transformácii podniku a nasadenie integrácie riadenia, zber údajov predstavujú opäť dodatočné náklady.
- **Navrhnuť bezpečnostné politiky a integrovať softvérové a hardvérové zabezpečenie pre IT infraštruktúru** [5, 6].

1.2 Výrobné podniky s riešením integrácie dát

Tak ako medzi malými a strednými podnikmi sú podniky, kde riešenie integrácie dát aplikované nebolo, tak existujú podniky, v ktorých riešenie zavedenia výrobného MES systému, ktorého súčasťou je aj dátová integrácia. Ide o integráciu informačných a riadiacich systémov pracujúcich nad komplexnou databázou údajov. Ide teda o náročné špecifické softvérové riešenia, vytvorené na mieru daného podniku. Takéto podniky dokážu zberať dáta z heterogénnych úrovni riadenia. Ide o dáta od objednávky cez výrobné dáta až po expedíciu. Dáta tečú v reálnom čase celým podnikom, sú jedinečné, nezameniteľné a dostupné pre každého, kto ich potrebuje. Integrácia dát v podniku prispieva v aj k zrýchleniu dostupností integrovaných dát a hlavne je možné okamžite reagovať na vzniknuté problémy a situácie, ktoré nastanú. Integráciou je možné doceliť aj odbúranie množstva ručného spracovania dát a zásadne eliminovať chybné riadiace rozhodnutia počas výrobných procesov [7].

Každé riešenie ako aj integrácia dát prinášajú možné rizika a nevýhody. Podniky, ktoré zberajú takýmto spôsobom údaje musia, myslieť aj na bezpečnosť, keďže ich dátové úložiska môžu byť terčom potencionálnych útočníkov. A v prípade, že majú takéto podniky dáta ukladané niekde na vzdialenom úložisku napr. v cloude, môže nastať problém, že budú mať problém v prípade výpadku sieťovej infraštruktúry alebo internetu nahodiť výrobný proces, pokiaľ dôjde k narušeniu základných programov alebo nastavení strojov. V súčasnosti hlavne v automobilovom priemysle znamená výpadok sieťovej infraštruktúry, materiálnych, ľudských zdrojov a energie veľký problém. Prestože, ktoré sú potrebné na znovuobnovenie výroby, predstavujú pre podniky finančné straty. Integrácia dát v tomto smere môže priniesť výhody v podobe prepojenia výrobných a nevýrobných úrovni podniku a je možné lepšie predikovať stavy výroby z pohľadu riadenia zdrojov. Týmto spôsobom je ale nemožné odstrániť výpadky dodávky materiálu a podobne. Nové získané dáta nasadením dátovej integrácie ale môžu byť nápomocné pre rozhodovanie a riadenie výroby [8, 9].

2 Ciele dizertačnej práce

Hlavným cieľom dizertačnej práce bude Integrácia dát z heterogénnych úrovni riadenia pre potreby analýzy a komplexné simulácie procesov v rámci konceptu Industry 4.0.

Čiastkové ciele dizertačnej práce zhrnieme do nasledujúcich bodov:

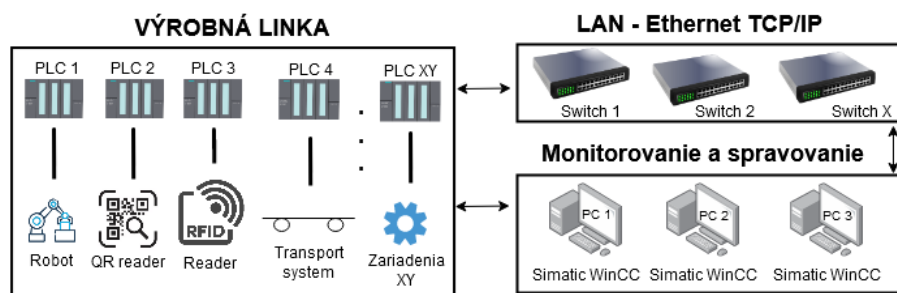
1. Návrh integrácie dát z heterogénnych úrovni riadenia pre potreby analýz a komplexné simulácie.
 - Vytvorenie prehľadu teoretických východísk a poznatkov v danej problematike z domácej a zahraničnej literatúry a rôznych vedeckých štúdií.
 - Analyzovať možnosti integrácie a definovať vhodný typ alebo navrhnúť integračný model
 - Vytvorenie návrhu integrácie dát, ich zber a ukladanie, ktoré budú slúžiť pre analytické nástroje alebo ako vstup pre simulácie
2. Verifikácia navrhnutého riešenia na existujúcej výrobnjej linke.
 - Vytvorený návrh aplikovať vo vybranom integračnom prostredí
 - Integrovať komponenty výrobnjej linky podľa návrhu a vytvoriť systém integrácie a riadenia výrobnjej linky
 - Zadefinovať ukladanie dát podľa návrhu a zabezpečiť ich zber
3. Zovšeobecnenie návrhu za účelom využitia integrácie v priemyselnom podniku.
 - Z návrhu a relizácie integrácie vytvoriť zovšeobecnenie, ktoré je aplikovateľné ako model integrácie pre priemyselné podniky.
4. Zhodnotenie prínosov dizertačnej práce.
 - Zhodnotiť navrhnuté riešenie
 - Opísať prínosy pre prax, teóriu

3 Charakteristika a opis výrobnej infraštruktúry

V tejto kapitole je opísaný súčasný stav výrobnej infraštruktúry, a teda výrobná linka, jej jednotlivé komponenty, funkcionality, možnosti a nedostatky a zároveň požiadavky na zlepšenie výrobného procesu pomocou príslušného nástroja pre integráciu.

3.1 Súčasná systémová architektúra

Nasledujúci obrázok 1 popisuje súčasnú systémovú architektúru výrobnej linky a teda jednotlivé komponenty, ktoré výrobná linka obsahuje.



Obrázok 1 Súčasná systémová architektúra

Výrobná linka sa skladá z niekoľkých PLC, ktoré riadia jednotlivé výrobné komponenty ako napríklad robot, kamera na snímanie RFID kódov, transportný systém a podobne. Ďalšou súčasťou výrobné linky sú sieťové prvky - switche, ktoré prepájajú jednotlivé výrobné komponenty do jednej siete pomocou sieťových prepojení Ethernet. Monitorovanie a spravovanie je riešené pomocou programu Simatic WinCC, ktorý je vybavený najzákladnejšou licenciou a iba sprostredkováva aktuálne hodnoty.

3.2 Požiadavky na integráciu dát výrobné linky

V predchádzajúcej kapitole boli opísané aktuálne problémy výrobné linky a dáta, ktoré výrobná linka produkuje. Tieto výrobné dáta je potrebné na základe špecifikovaných problémov zintegrovat' tak, aby sa splnili nasledujúce požiadavky:

- **Zber dát z heterogénnych úrovní riadenia.** Pri integrácii výrobných dát je dôležité, aby zavádzaná integrácia poskytovala optimálnu funkčnosť a bola schopná integrovat' akékoľvek dáta, ktoré výrobná linka poskytuje, čiže dáta zo všetkých úrovní riadenia od vytvorenia objednávky cez výrobné dáta až po expedíciu.
- **Zefektívnenie výrobného procesu.** Integráciou dát by mali byť dáta schopné poskytnúť komplexný prehľad o výrobnom procese. Na základe analýz je potom možné optimalizovat' výrobu a mali by sa dat' eliminovat' chybné riadiace rozhodnutia počas výrobného procesu.
- **Rýchly prístup k dátam.** Zavedenie integrácie do podnikov by malo taktiež prispieť k dostupnosti integrovaných dát, aby bolo možné okamžite reagovat' na situácie, ktoré nastanú. Tieto výrobné dáta by sa mali ukladať do lokálneho úložiska, prípadne do cloudu, aby boli prístupné pre každého účastníka výrobného procesu podľa jeho potreby.
- **Monitorovanie výroby.** Akékoľvek neočakávané chyby alebo stavy počas výroby sú zaznamenané v podobe chybového hlásenia.

- **Prediktívna údržba výrobných zariadení.** Opatrebenie výrobných technológií alebo pracovných nástrojov je možné ľahko identifikovať podľa počtu vykonaných cyklov vykonaných operácií.
- **Bezpečnosť.** Je potrebné rozdeliť sieťovú infraštruktúru na viacero podsietí. Takto je zabezpečené odizolovanie výrobných prostriedkov a prostriedkov, ktoré sú používané pre bežnú prácu. Týmto je možné dosiahnuť ľahšie zabezpečenie sieťovej komunikácie a eliminovať kybernetické bezpečnostné hrozby. Pre prípadné prepojenie je oboch sietí je potrebné nastaviť bezpečnostné pravidlá prepojenia sietí tak, aby bola povolená len potrebná komunikácia.

Po opísaní výrobnej infraštruktúry a dát, ktoré výrobná linka poskytuje, bolo možné znázorniť súčasnú systémovú architektúru, na základe ktorej boli spísané konkrétne požiadavky na integráciu výrobnej linky.

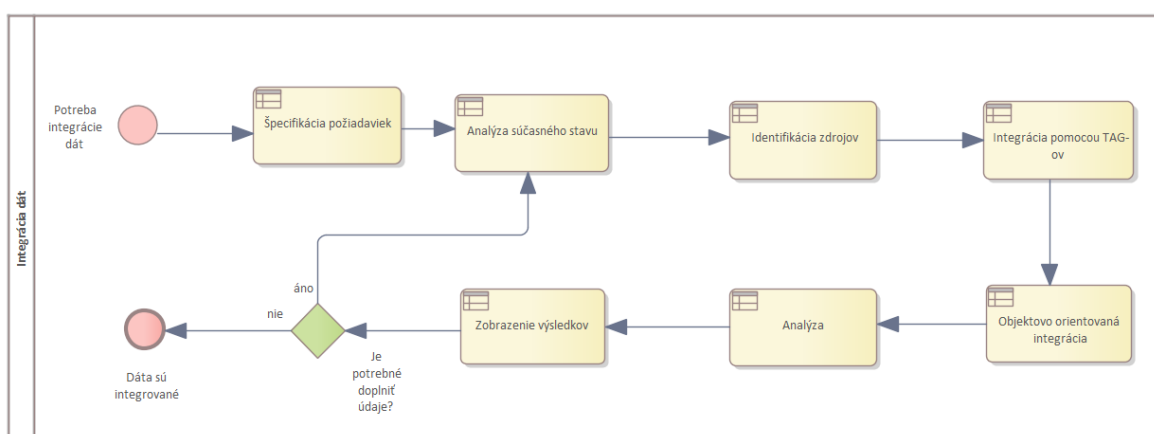
4 Návrh integrácie dát z heterogénnych úrovní riadenia

Pojem Industry 4.0 je jednou z najdiskutovanejších tém medzi priemyselnými a akademickými kruhmi. Industry 4.0 zohráva významnú úlohu v stratégii využitia možností digitalizácie všetkých fáz výroby a systémov služieb. Industry 4.0 sa realizuje kombináciou mnohých fyzických a digitálnych technológií ako sú Big Data, integrácia a analýza dát, skladovanie v rôznych dátových úložiskách, ktoré môžu byť aj v prostredí cloudu.

Výrobné podniky významne investujú do zberu a analýzy dát a infraštruktúry svojich výrobných liniek. Mnohé z riadiacich systémov ale nemusia podporovať technológie Industry 4.0. Mohlo by sa teda zdať, že staršie zariadenia nechávajú priepasť medzi zberom výrobných údajov a ich riadiacimi schopnosťami, ktoré je možné s nimi vykonávať, ale aj staršie zariadenia umožňujú istú úroveň integrácie, ktorá síce môže byť limitovaná ale obvykle aspoň čiastočne možná.

4.1 Základný model integrácie dát

Proces integrácie dát pozostáva z niekoľkých krokov ako zobrazuje obrázok 2. Ak sa výrobný podnik rozhodne, že riadenie svojho výrobného procesu chce integrovať, prvým krokom je špecifikácia požiadaviek, čo by mala táto integrácia spĺňať a aké budú ciele a prínosy. Ďalším krokom (je krokom), ktorý je potrebné vykonať, je analýza súčasného stavu, a teda popis aktuálnej situácie a spôsobu ako daný podnik funguje pred integráciou. Následne je potrebné identifikovať všetky dostupné a podstatné zdroje, z ktorých sa dáta budú integrovať a potom tieto dáta podľa potreby spracovať do vhodnej podoby pre ukladanie do dátových skladov. Takto spracované a uložené dáta je možné následne analyzovať a vyhodnocovať výsledky, ktoré môžu viesť či už k identifikácii nedostatkov počas výrobného procesu, teda k zefektívneniu výroby alebo zníženiu nákladov. Ak nie sú zintegrované všetky údaje, ktoré sa vyžadovali, proces integrácie sa presúva opäť do fázy analýzy súčasného stavu.



Obrázok 2 Model integrácie dát

4.2 Všeobecné modely integrácie

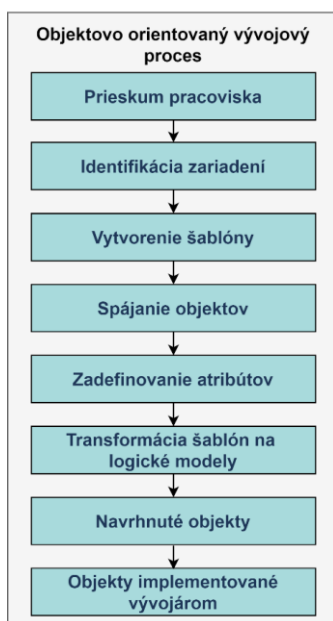
Existujú dva základné modely integrácie, ktoré sú v praxi používané pre realizáciu prepojenia systémov a aplikácií dát z viacerých úrovní riadenia. Prvý model predstavuje objektovo orientovaný návrh integrácie. Druhý model je reprezentovaný na základe značiek TAGov, ktoré predstavujú

logické zapúzdrenie riadiacich prvkov, systémov alebo aplikácií alebo aj akýchkoľvek zdroj dát [10].

4.2.1 Objektovo orientovaný spôsob integrácie

Tento spôsob je založený na definovaní vzájomných vzťahov. Vďaka objektom sú ľahšie viditeľné detaily. Menej dôležité alebo nezaujímavé fakty je možné v rámci abstrakcie vynechať z definície, a takto zjednodušiť implementáciu integrácie. Tento model je bežne používaný pre implementáciu riadiacich systémov alebo integráciu dát. Jeho nevýhodou je, že vizuálna stránka integrácie sa vo väčšine prípadov implementuje ako posledná. Pre SCADA alebo MES riadenie je výhodná grafická reprezentácia. Na druhej strane takto implementovaná integrácia pomocou objektového vývoja môže značne ušetriť technické zdroje [10].

Pre objektovo orientovaný model integrácie je potrebné definovať abstraktný model tak, aby vývojár mohol realizovať implementáciu. V priemysle je potrebné vykonať analýzy a abstrakciu rozmiestnenia výrobných buniek, vykonať identifikáciu procesov, ktoré sú súčasťou výroby a vytvoriť model ich vzájomnej komunikácie alebo závislosti. Prípadne, ak nie je možné určiť komunikáciu, tak aspoň identifikovať ich prepojenie v zmysle dát, ktoré predstavujú potenciálne prepojenie jednotlivých buniek modelu.



Obrázok 3 Objektovo orientovaný vývojový proces

Postup pre vytvorenie objektovo orientovaného modelu integrácie, ktorý je znázornený na obrázku 3:

1. Vykoná sa prieskum pracoviska s cieľom pochopiť usporiadanie výrobnjej prevádzky alebo procesu. Zadefinujú sa neštandardné alebo špecifické používanie technológií.
2. Vypracuje sa zoznam podobných zariadení. Identifikujú sa bežné typy motorov, ventilov, vysieláče, regulačné slučky, pohony atď. Identifikujú sa aj odlišné oblasti prevádzky.

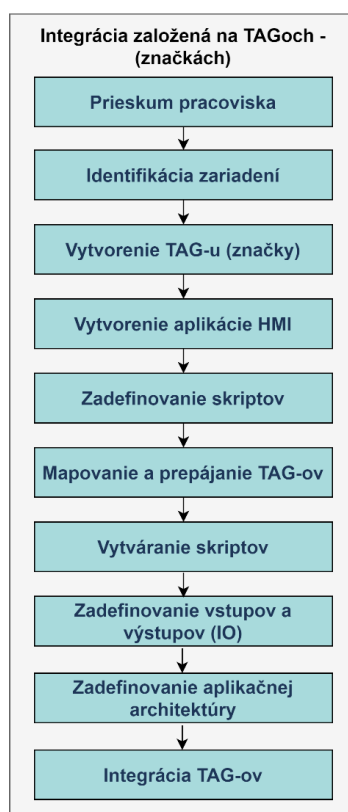
3. Nakonfigurujú sa alebo vytvoria šablóny pre podobné alebo kompatibilné zariadenia alebo komponenty. Takto sa nastaví spoločné normy pre aplikácie, ktoré budú komunikovať alebo budú monitorovať procesy alebo riadiace prvky. Pripravené šablóny sa dajú použiť na vývoj objektov, ktoré reprezentujú konkrétne zariadenie.
4. Šablóny zariadení môžu predstavovať klasické spojenie objektov a môžu byť reprezentované dedičnými vzťahmi. Jedna abstrakcia objektu môže obsahovať druhú a vytvárať tak zložitejšie zariadenia. Takto je zaručený kompatibilný návrh pre objektové programovanie.
5. Šablóny zariadení majú zadefinované atribúty. Tieto predstavujú skutočné vstupy/výstupy dostupné v riadiacom systéme. Pre PLC to môžu byť aj definované adresné priestory, ktoré obsahujú hodnoty potrebné pre riadenie procesu. Výsledkom tejto aktivity sú atribúty mapované na I/O prvky prostredníctvom objektov integrácie zariadení.
6. Keď sa transformujú šablóny na logické modely zariadenia, je možné ich transformovať do inštancií objektu. Takto sa vytvorí objekt, ktorý je mapovaný podľa šablóny. Poskytuje základ pre implementáciu a mali by byť dostatočne dobre špecifikované na to, aby bolo možné prípadne aplikovať aj dodatočné zmeny a nové požiadavky na systém.
7. Navrhnuté objekty by mali byť klasifikované k bezpečnostným skupinám. Toto je možné vykonať individuálne podľa potreby na základe podnikových definícií. Bezpečnostné skupiny by mali obsahovať spoločné atribúty a zabezpečenie oprávnenia. Role sa vytvárajú na mapovanie a takto je možné aplikovať aj GDPR (General Data Protection Regulation).
8. Objekty implementované vývojárom sú potom implementované a obvykle spúšťané na aplikačných serveroch. Obvykle je návrh realizovaný ako distribuovaný systém, ktorý sa môže nachádzať na jednom serveri, alebo bežať aj na desiatkach serverov, ktoré sú zapojené v clusteri a takto je zabezpečený stabilný chod aj pri výpadkoch hardwaru. Tento design je označený ako redundantné zabezpečenie zdrojov alebo aj fail over cluster.

Výhodou objektovo orientovaného návrhu je jednoduchá a štandardná reprezentácia, ktorá je uplatňovaná pri realizácii vývoja softvéru a je možné takto dosiahnuť realizáciu a nasadenie integrácie pomocou zdrojov, ktoré nie sú špecializované pre nasadenie v priemysle. Aplikácie a vývojové prostredia nie sú limitovaným prvkom a aj realizácia a implementácia môže byť realizovaná bez hlbšej znalosti programátora, ktorý nemusí byť špecialista orientovaný na výrobné technológie a zariadenia. Nevýhodou môže byť dlhšia a náročnejšia implementácia.

4.2.2 Integrácia založená na TAGoch – značkách

Vývoj softvéru v priemysle prešiel viacerými etapami. V tomto type integrácie sa vychádza z potreby vizualizovať integráciu procesov pre operátorov tak, aby bola zabezpečená jednoduchá rozšíriteľnosť ale aj obsluha riadenia výrobného procesu. Vizualizácia realizácie integrácie a prepájania riadiacich prvkov je spravidla dostupná pre operátorov výroby na HMI paneloch, v systémoch MES/MOS alebo SCADA. Princíp vychádza z nutnosti vytvárať graficky neprezentovateľné prepojenia. Aby tento cieľ bol naplnený, boli vytvorené abstrakcie signálov, dát, aktivít, ktoré prebiehajú v riadiacich systémoch výrobných liniek a sú reprezentované TAGmi - značkami, ktoré predstavujú adresy v PLC, riadiacich systémoch, alebo sú to dáta, prípadne udalosti, ktoré vznikajú pri riadení výroby. Pre tento typ integrácie je potrebné zabezpečiť, aby systém bol kompatibilný

s dodávanou aplikáciou riadenia. Obvykle MES/MOS systém podporuje integráciu pomocou TAGov a jeho moduly zabezpečujú kompatibilitu tak, aby každý riadiaci člen bol reprezentovaný modulom, ktorý zabezpečí jeho integráciu. To znamená, že TAG je možné zadefinovať pre kompatibilné zariadenie podporované systémom, kde modul zabezpečí komunikáciu so zariadením. Zároveň tento modul mapuje atribúty, dáta, signály a reprezentuje riadiaci člen výrobnéj linky pomocou logickej reprezentácie do definície označenej ako TAG - značka [10].



Obrázok 41 Integrácia založená na TAGoch (značkách)

Integrácia založená na TAGoch, ktorá je znázornená na obrázku 4.

1. Vykoná sa prieskum pracoviska s cieľom pochopiť usporiadanie výrobnéj prevádzky alebo procesu. Zadefinujú sa neštandardné alebo špecificky používané technológie.
2. Vypracuje sa zoznam podobných zariadení. Identifikujú sa bežné typy motorov, ventilov, vysielateľ, regulačné slučky, pohony atď. Identifikujú sa aj odlišné oblasti prevádzky.
3. Pre každý typ zariadenia, riadiaci prvok sa vytvorí značka – TAG. Dáta, udalosti alebo atribúty sú automaticky importované z PLC alebo ručne nakonfigurované podľa typu riadiaceho prvku.
4. Pre integráciu TAGov sa vytvára nová aplikácia HMI, pre ktorú sa vytvorí okná alebo displeje.
5. Pre každý TAG sa definujú skripty na detekciu alarmov a udalostí
6. Tagy sa mapujú a prepájajú s grafickými prvkami HMI aplikácií

7. Vytvárajú sa skripty grafických animácií alebo prepojení
8. Definujú sa značky IO, ak treba a prepoja sa s aplikáciou
9. Ak sa má aplikácia nasadiť v prostredí klient-server, zadefinuje sa aplikačná architektúra tak, aby sa centralizovali alarmy, detekcia udalostí a vykonala sa archivácia údajov.
10. Pri integrácií pomocou TAGov sa každá zmena v systéme aplikuje vypnutím a zapnutím aplikácie. Je to z dôvodu aplikovania a vykonania zmien skriptov a odkazov na databázu TAGov, aby sa umožnila nová funkčnosť a opätovné načítanie novej HMI na každej pracovnej stanici.

Integrácia na základe TAGov umožňuje zachovať značnú časť svojej existujúcej automatizačnej a informačnej infraštruktúry a integrovať a synchronizovať existujúce výrobné systémy a nové aplikácie. Keďže sa jedná integráciu na vyššej úrovni, mapovanie existujúcich zdrojov na TAGy a ich integrácia môžu predstavovať skrátenie času realizácie projektu a zníženie celkových nákladov na vývoj. Dôležitým predpokladom je správny výber aplikácie, pomocou ktorej bude integrácia pomocou TAGov realizovaná. Je potrebné identifikovať a zaručiť kompatibilitu s riadiacimi prvkami a overiť si možnosti rozšírenia integrácie pomocou protokolov, ktoré sú podporované.

4.3 Identifikácia vlastností modelov integrácie

Medzi objektovo orientovaným návrhom integrácie a návrhom založeným na TAGoch - značkách je niekoľko zásadných rozdielov. V nasledujúcej tabuľke 1 sú popísané základné rozdiely v spôsobe, akým sa odlišujú procesy integrácie založenými na objektovo orientovaných riešeniach v porovnaní so systémami založenými na TAGoch [10].

Tabuľka 1 Porovnanie typov integrácií

Proces	Objektovo-orientované	TAG
Štruktúra	Hierarchická	Plochá
Vývoj grafických aplikácií	Posledná časť implementácie	Realizovaný veľmi skoro
Základ aplikácie	Reprezentovaný v objektoch	Definovaný pomocou TAGov
Podpora noriem	Prísne vynucované	Nie je striktné dodržiavané
Globálne zmeny aplikácie	Spracované zo šablón	Zmeny v nástrojoch ako Excel
Údaje sú reprezentované	Fyzické zariadenia ako objekty	Typy údajov a komunikácia ako TAGy

Vznikom produktov HMI a Supervisory na báze PC sa začal vývoj prístupu k údajom, skriptom a alarmom tak, že zo získanej analýzy údajov bol vytvorený koncept TAGov. Definícia TAGu zabezpečuje jednoduchú formu reprezentácie zariadenia a hoci je jednoduché a veľmi dobre prenosné z jedného projektu na druhý, prostredie založené na TAGoch má nevýhodu v tom, že je to

plochá štruktúra. Nie je možné prirodzene spájať prvky do hierarchických štruktúr. Nie je možné definovať vzťahy a vzájomné súvislosti, ktoré môžu predstavovať limitujúci faktor pri riešení zložitejších integračných úlohách, kde je potrebné zabezpečiť reprezentáciu a vizualizáciu vzťahov integrovaných prvkov ako je to definované v objektovo orientovanom spôsobe.

Globálne zmeny v databáze TAGov sa zvyčajne vykonávajú aj mimo vývojového prostredia aplikácie, pomocou ktorého je integrácia realizovaná. To znamená, že je možné, že vytvorenie TAGu je potrebné definovať pomocou externých nástrojov. Obvykle je to prípad, keď je snaha vytvoriť TAG pre nepodporované zariadenie. Niekedy je dokonca možné použiť Microsoft Excel alebo ako textový editor, pomocou ktorého sa vytvorí súbor popisujúci dáta tak, aby boli reprezentované ako TAG. Tento je možné potom manuálne importovať. Použitie TAGov sa realizuje na základe dynamického prepojenia, ktoré je v systéme reprezentované ako komunikácia klient server. Pre tento typ komunikácie je ale vytváraná spoločná grafická reprezentácia. Aplikácia sa potom realizuje v podobe skriptu, ktorý zabezpečuje len vykonávanie dynamicky sa meniacich parametrov počas behu programu.

Skript zabezpečuje napríklad prepínanie vizualizačných prvkov systému. Nevýhoda plochej štruktúry aplikácie zase prináša výhodu v tom, že každá časť aplikácie vykonáva jednu úlohu a tým pádom je ľahšie implementovateľná. Nevýhoda je v udržiavaní viacerých implementácií aplikácie pre každú čiastkovú úlohu. Každú funkcionálnu je teda potrebné realizovať novým prvkom aplikácie. Samotný TAG je ale použiteľný medzi viacerými prvkami aplikácie a nie je ho nutné vždy nanovo vytvárať.

Pre integráciu sa teda javí výhodné použiť TAGovo orientovaný spôsob, ktorý by mal byť jednoduchší v oblasti vývoja, prináša rýchle aj čiastkovo prezentovateľné riešenie, ktoré je možné prezentovať postupne pri vytváraní celkovej integrácie. Zároveň plochý spôsob riešenia umožní paralelný vývoj viacerých častí a je možné nezávisle navrhnuť a implementovať viaceré časti výroby.

4.4 Návrh vytvorenia integrácie medzi výrobnou linkou a Wonderware pomocou TAGov

Po výbere správneho nástroja na integráciu je prvým krokom navrhnuť a vytvoriť komunikačné spojenie medzi softvérom Wonderware a výrobnou linkou.

Cieľom je zabezpečiť zaznamenávanie a archivovanie celého výrobného procesu. Wonderware umožňuje efektívne kontrolovať, spravovať a archivovať výrobné operácie. Wonderware je vybavený modulom Historian, ktorý umožňuje efektívne ukladať a archivovať všetky výrobné procesy, na základe čoho je možné spracovať a analyzovať tieto dáta pre úpravu a zefektívnenie výrobného procesu [11].

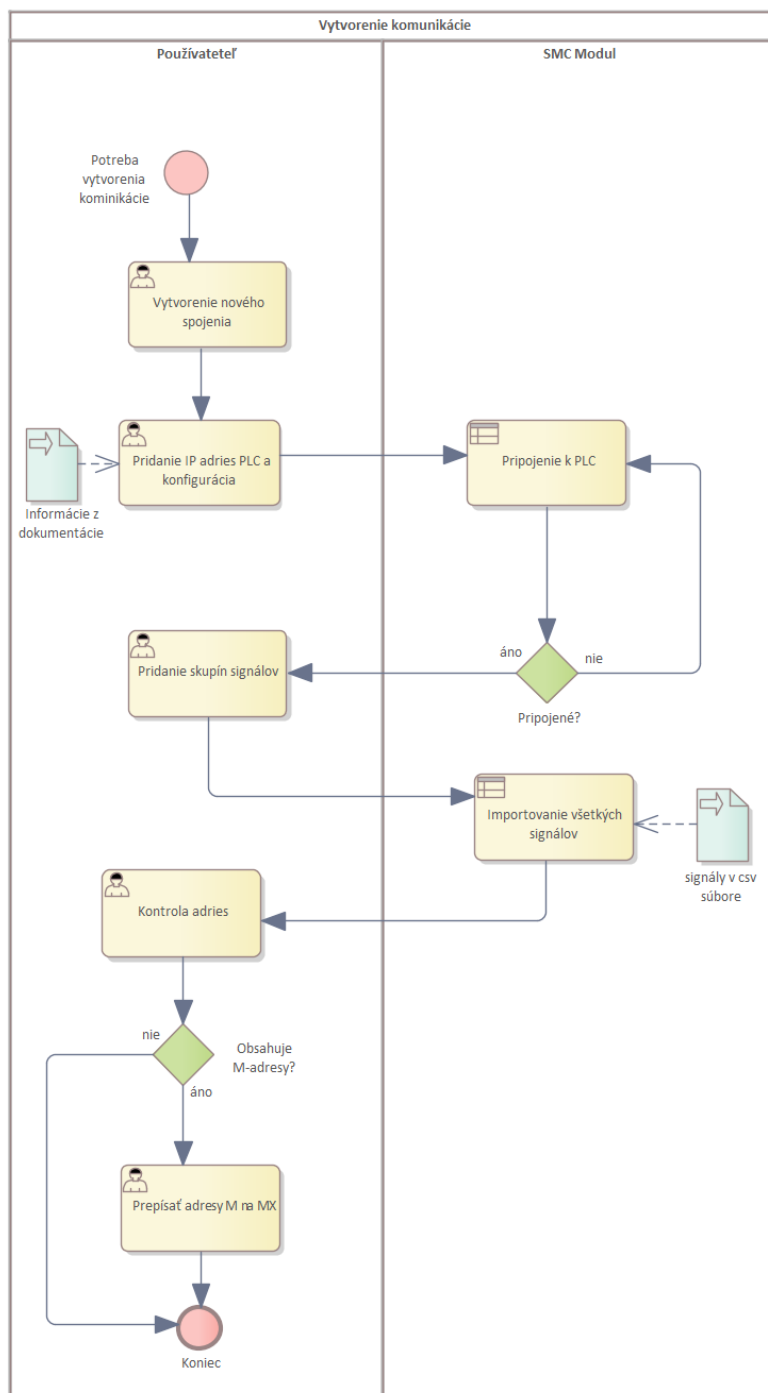
Na vytvorenie komunikačného spojenia je potrebné v Archestra vytvoriť Galaxy, ktorá reprezentuje výrobnú linku vo virtuálnom prostredí. Je dôležité pochopiť, čo je Galaxy predtým, ako je vytvorená. Galaxy je názov aplikácie, konfiguračné informácie a databáza projektu aplikačného servera. Jeden alebo viac počítačov v sieti môže byť umiestnených v Galaxy. Definuje

priestor mien, v ktorom existujú všetky komponenty a TAGy a spoločnú množinu politík na systémovej úrovni, ktoré vyhovujú všetkým komponentom a TAGom.

Galaxy poskytuje dve funkcionality, konfiguráciu a runtime. Konfigurácia je uložená v databáze a štruktúre súborov. Počítač, kde sú tieto dva súbory uložené, sa volá Galaxy Repository (GR). Je to jediný počítač, kde je umiestnená databáza Galaxy. Potrebný je iba jeden GR na celú výrobnú linku. Nie je potrebné, aby bol v stave online, keď je zariadenie v prevádzke, je potrebné aby, bol online iba vtedy, keď je nasadzovaná zmena konfigurácie .

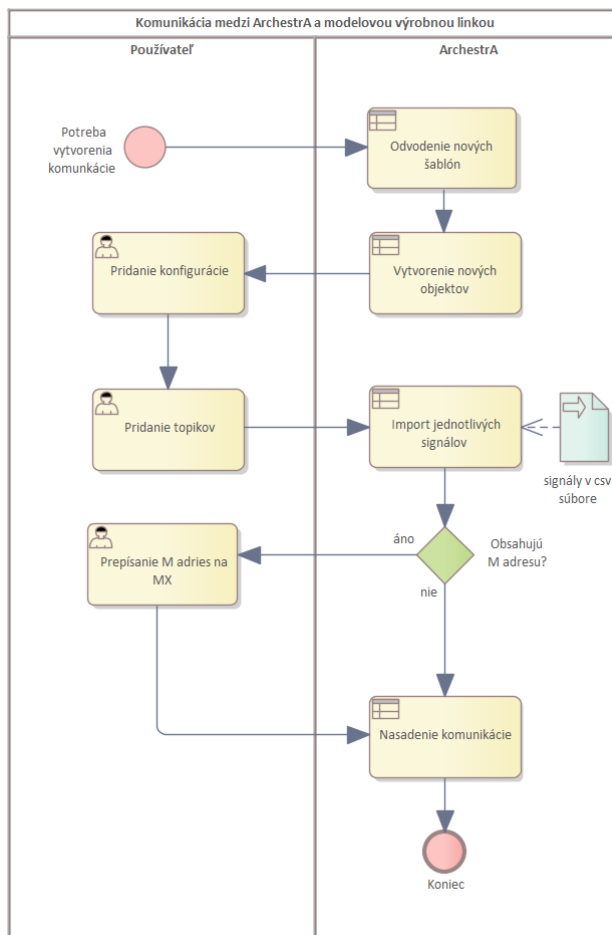
Nasledujúce obrázky 5 a 6 zobrazujú priebeh vytvárania komunikácie medzi výrobnou linkou a Wonderware platformou cez modul SMC (Setting System Management Console) a ArchestrA.

Pre vytvorenie komunikácie medzi stanicami výrobnéj linky a SMC je potrebné vytvoriť spojenie s jednotlivými PLC na staniach. Toto spojenie sa vytvára pomocou pridania jednotlivých IP adries zariadení a ich následnej konfigurácie podľa dokumentácie k výrobnéj linke. Keď je toto spojenie vytvorené, následne je potrebné importovať z csv súboru jednotlivé adresy signálov, ktoré stanice obsahujú. Csv súbor bol pripravený na základe dodanej dokumentácie pre jednotlivé riadiace prvky linky. Obsahuje adresné priestory PLC zariadení, ich popis, spôsob komunikácie, typ rozhrania ale aj kódy chýb.



Obrázok 5 Vytvorenie spojenia medzi PLC a SMC

Po vytvorení spojenia pridaním IP adres PLC do SMC modulu je taktiež dôležité vytvorenie komunikácie v Archestra, a to vytvorením jednotlivých topikov a importovaním signálov z CSV súboru. Tu je potrebné vytvorenie jednotlivých “topic“ pre každú stanicu a zároveň pre každú skupinu signálov. Následne do týchto skupín importovať jednotlivé signály.



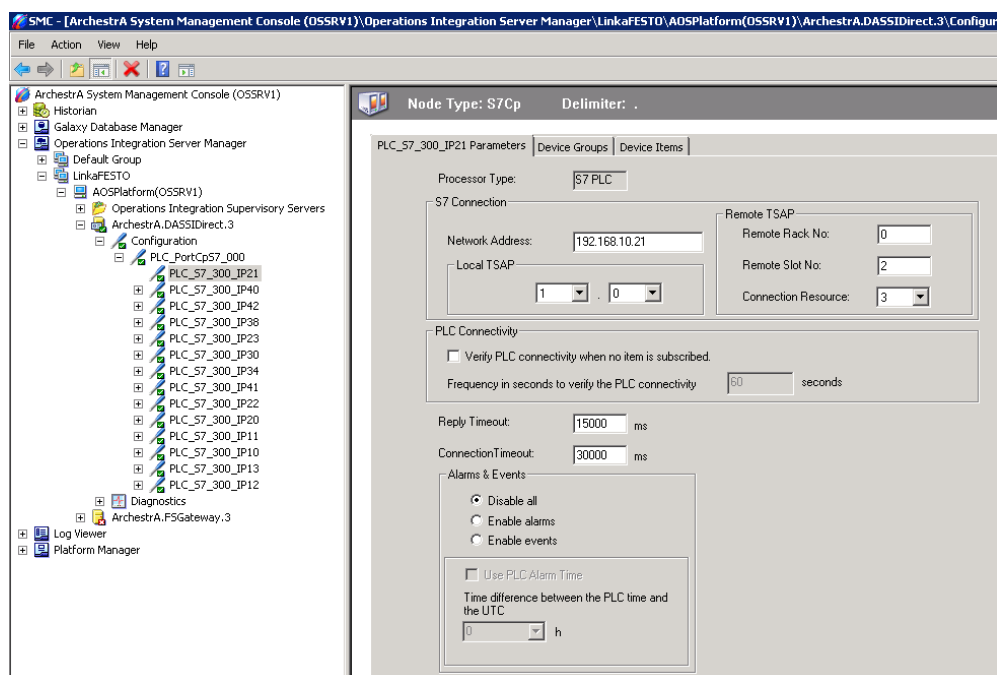
Obrázok 6 Vytvorenie spojenia v ArchestrA

Komunikácia bola vytvorená cez Wonderware DAServer, kde bolo nutné najprv napojiť jednotlivé PLC zariadenia pomocou pridania jednotlivých IP adries do SMC modulu a ich následnou konfiguráciou (Obrázok 7).

Strom konzoly SMC má rozloženie hierarchickej štruktúry typu Prieskumník, pričom konzola ArchestrA System Management Console sa zobrazuje ako koreňový uzol a moduly SMC pod týmto uzlom. Rovnako ako Prieskumník Windows aj strom konzoly je možné rozbaľiť alebo zbaľiť kliknutím na symboly „+“ alebo „-“, ktoré sa zobrazia vedľa modulu snap-in.

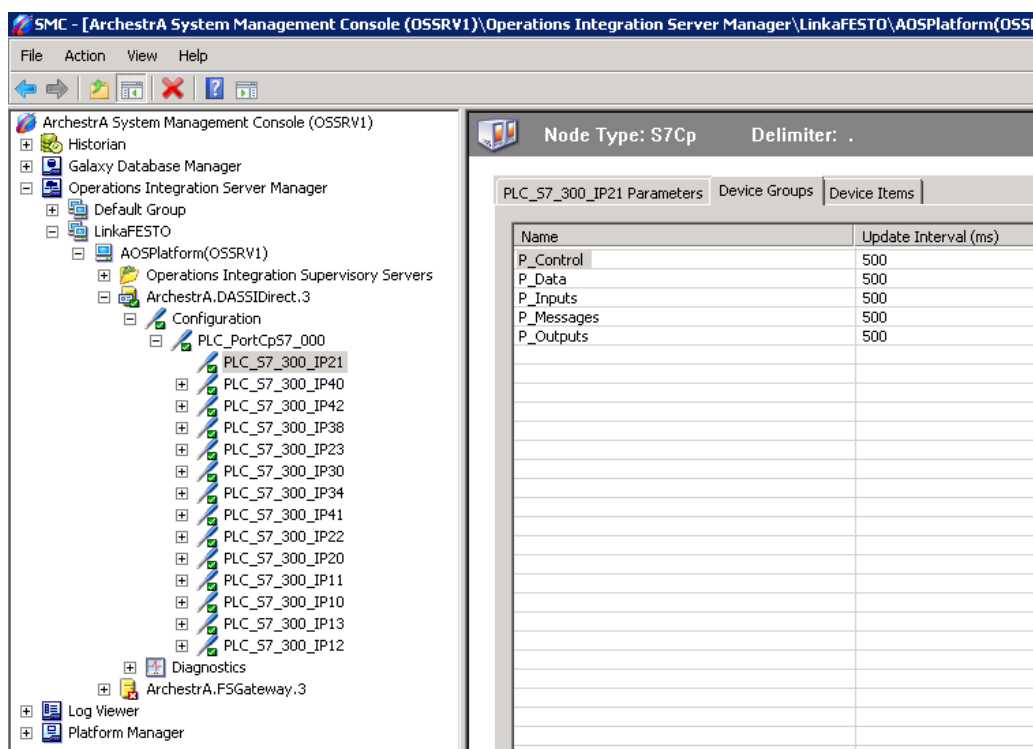
Strom konzoly zobrazuje položky, ktoré sú k dispozícii v konzole. Moduly, ktoré sa zobrazia pod uzlom ArchestrA SMC, závisia od nainštalovaného softvéru:

- Galaxy Database Manager (iba uzol GR)
- DAServer Manager (nasadený DAServer alebo WinPlatform)
- Log Viewer (všetky uzly Wonderware)
- Platform Manager (všetky uzly aplikačného servera)
- ostatné moduly snap-in (napríklad server Historian Server) budú k dispozícii, keď je tento Wonderware softvér nainštalovaný



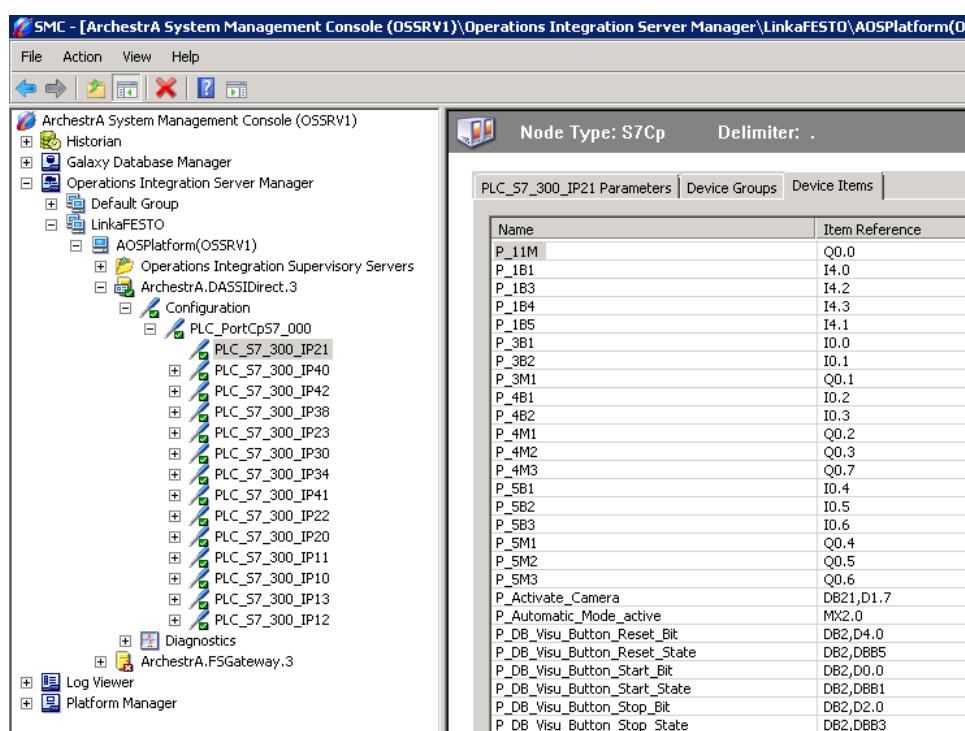
Obrázok 7 Pridávanie PLC do SMC modulu

Z technickej špecifikácie staníc bolo potrebné popri dávať jednotlivé skupiny signálov, ktoré sú definované ako vstupné, výstupné a systémové signály, ktoré daná linka obsahuje. Ďalej bolo potrebné nastaviť interval update podľa potreby a dôležitosti (Obrázok 8).



Obrázok 8 Pridávanie skupín signálov z jednotlivých staníc

Ďalším krokom bol import konkrétnych signálov (Obrázok 9), ktoré jednotlivé stanice obsahujú. Import je vykonaný pomocou .csv súboru z originálnej dokumentácie k výrobnéj linke. Importované sú klasické signály vstupov označovaných písmenom I a výstupov označovaných písmenom Q s príslušnou absolútnou adresou, napríklad I/Q 1.0. Prvá hodnota označuje bytovú adresu vstupného/výstupného modulu, čiže fyzické možnosti tohto modulu a druhá hodnota odkazuje v tomto prípade na prvý bit, čiže bitovú adresu konkrétneho bytu a môže nadobúdať hodnoty 0-7. Okrem klasických vstupov a výstupov je potrebné importovať aj pamäťové premenné označované bežne písmenom M a jeho absolútnou adresou. Jediná zmena, ktorá musela byť vykonaná bolo prepísanie signálov s adresou M na adresu MX. Keďže Wonderware vyžaduje mapovanie signálov referenciou, bolo potrebné vytvorenie fyzického mapovania M na logické MX.



Obrázok 9 Import signálov

Posledným krokom bolo vytvorenie prepojenia v Archestra pomocou nástroja z toolbox DDESuiteLinkClient. Najprv bolo treba vytvoriť novú šablónu a z nej následne nový TAG, ktorý môžeme už použiť do modelu linky. Po pridaní jednotlivých skupín signálov nastáva import konkrétnych signálov, ale už nie pre celú stanicu ale priamo signály patriace ku konkrétnym skupinám.

4.5 Vytvorenie modelu pre zber dát pomocou objektovo orientovaného modelu.

S aplikačným serverom Wonderware je možné vytvoriť pracovný model výrobného prostredia, v ktorom sa výrobok využíva. Model zariadenia pomôže implementovať konvenciu pomenovania, ktorá môže byť použitá v celej aplikácii a poskytne schopnosť vytvárať objekty reprezentujúce

skutočnú fabriku a jej špecifické oblasti a pracovné jednotky umožňujúce jednoduché rozšírenie alebo replikáciu súčasnej štruktúry. Poskytuje tiež možnosť konfigurovať ich tak, aby mali špecifikácie a vytvorili z nich šablóny [10].

Vytvorenie modelu je dôležitým krokom pre ďalšiu prácu s linkou, keďže môžeme aplikovať teoretické znalosti na model, prípadné nedostatky odstrániť, ale aj vďaka modelu budeme schopní vytvoriť vizualizáciu a následne aj linku ovládať cez Wonderware a taktiež dáta zbierať.

Po vytvorení spojene medzi PLCs pomocou System Management Console (SMC) a DAServera bola možná implementácia modelu výrobnéj linky v prostredí ArchestrA.

Hlavné okno ArchestrA IDE pozostáva z niekoľkých základných častí – Toolboxes, Application view, IO devices, Object editor area, Menubar a Toolbar. Na vytvorenie modelu výrobnéj linky je potrebné sa zamerať najprv na Toolboxes area. Tu sa nachádza niekoľko skupín objektov. V časti System sa nachádzajú objekty, ktoré budeme na vytvorenie modelu používať.

Tieto objekty sú ale len uzamknuté šablóny, takže pre prácu s nimi je potrebné najprv z jednotlivých objektov odvodiť nové šablóny, kde môžeme následne dedefinovať atribúty, skripty, grafiku a ďalšie všeobecné nastavenia platiace pre všetky objekty rovnakého druhu. Tieto atribúty, ktoré sú pevne dané, môžeme následne uzamknúť. Pridávanie jednotlivých objektov do modelu sa vykonáva opäť pomocou odvodenia nových inštancií. Takto pridané inštalácie dedia všetky uzamknuté atribúty, skripty aj grafiku svojich šablón a taktiež v prípade potreby je možné pridávať im ich vlastné špecifické vlastnosti.

Ďalšou skupinou objektov, ktoré použijeme, je Application. V závislosti od typu údajov, ktoré zhromažďujeme, môžeme vybrať z rôznych objektov ako \$ AnalogDevice (môžu sa správať ako analógový vstup alebo analógový regulátor), \$ DiscreteDevice (predstavuje veľkú triedu fyzického zariadenia), \$ Sequencer (umožňuje konfigurovať, vykonať a manipulovať sériu operácií spojených s atribútmi ArchestrA), \$ SQLData (dá sa použiť na ukladanie dát a získavanie údajov z databázy SQL Server) a \$ UserDefined (prázdny objekt, môže byť použitý na vytvorenie vlastného objektu). Tu sa zameriame na objekt \$ UserDefined. [10].

Pretože je táto šablóna uzamknutá, je opäť nevyhnutné odvodiť všetky komponenty výrobnéj linky ako je miešadlo, nádrž alebo dopravník, do nových už odblokovaných šablón. Tieto šablóny môžu opäť definovať všeobecné atribúty, ktoré bude obsahovať každý objekt rovnakého typu.

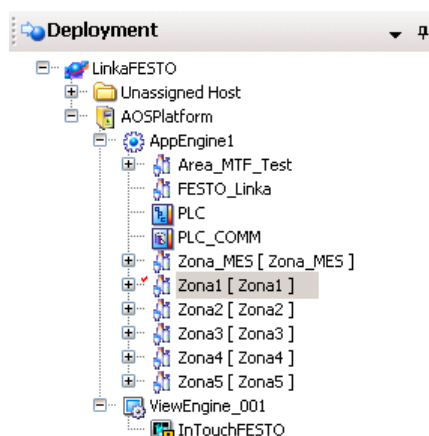
Pre vytvorenie správneho modelu je potrebné rozlišovať rôzne úrovne a zoskupenia na výrobnéj linke. Application engine je predstavovaný objektom AppEngine a sem sa môžu ďalej ukladať jednotlivé objekty typu Area. Area predstavuje práve jednu logickú časť alebo konkrétnu sekciu automatizovaného procesu. Postupným pridávaním všetkých areas vytvoríme niečo ako kostru modelu výrobnéj linky. Následne pridaním konkrétnych UserDefined objektov do jednotlivých Areas nám vznikne model výrobnéj linky

Existujú tri typy zobrazení:

The Deployment view - zobrazuje inštancie iba v súvislosti s ich priradením. Toto zobrazenie umožňuje organizovať tieto objekty prostredníctvom štruktúry priečinkov. Tento pohľad zobrazuje, ktoré inštancie objektov sa nachádzajú na ktorých počítačoch. V prostredí ArchestrA sa fyzická poloha objektových inštancií nevyžaduje na aproximáciu reálneho prostredia, ktoré modeluje. Zobrazenie nasadenia nemusí odrážať fyzické prostredie podniku (Obrázok 10).

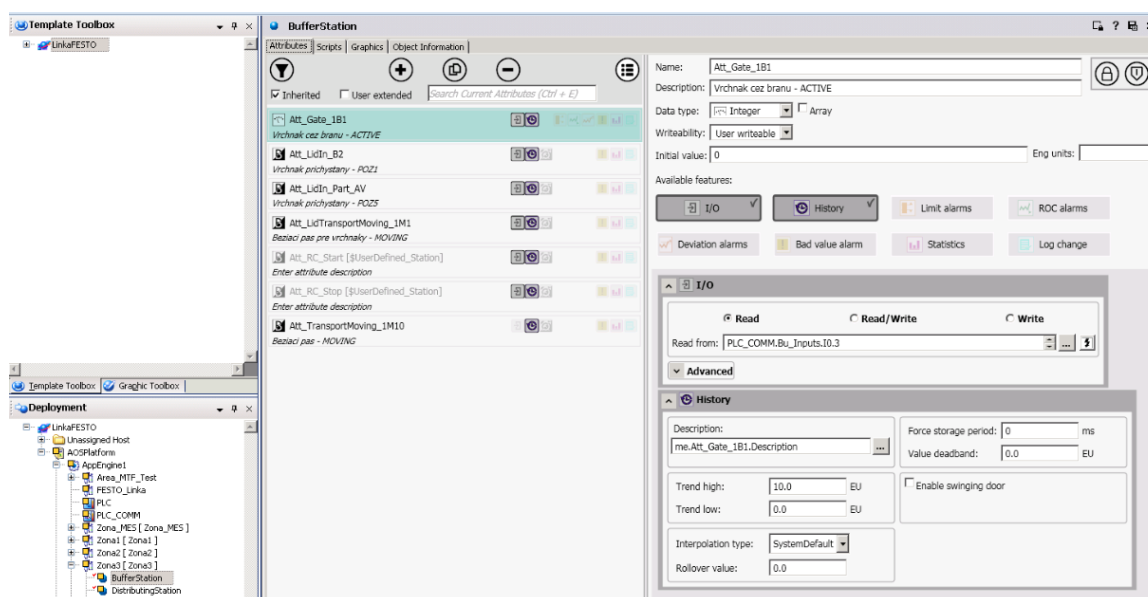
The Derivation view - zobrazuje objekty a šablóny z hľadiska vzťahu rodiča / dieťaťa. Objekt odvodený z iného objektu sa objavuje v hierarchickej úrovni pod ním.

The Model view - zobrazuje objekty z hľadiska ich fyzických vzťahov alebo vzájomných vzťahov a umožňuje ich usporiadať prostredníctvom štruktúry priečinkov. Tento modelový náhľad najpresnejšie predstavuje perspektívu aplikácie procesov, ktoré používajú používatelia: napr. Špecifické oblasti procesov, nádrže, ventily, čerpadlá a ich vzťahy. [10]



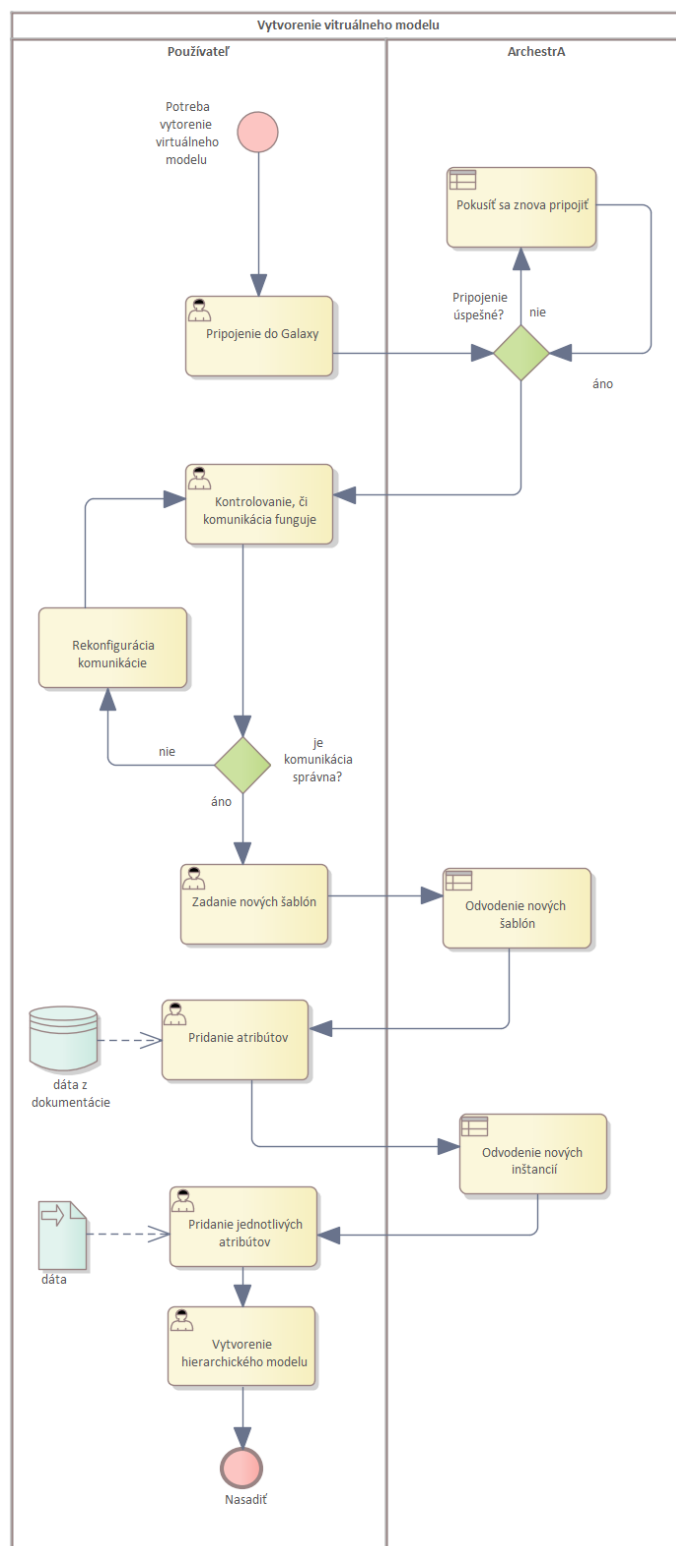
Obrázok 10 Deployment view

Nasledujúci obrázok 11 znázorňuje model výrobnéj linky, vybrané objekty a ich atribúty, ktoré bolo možné domapovať vytvorením komunikácie. Jednotlivé objekty sa následne zobrazujú vo Wonderware Historian a ich zobrazenie umožňuje aj sledovať jednotlivé hodnoty, time stamp, kvalitu signálu a aktuálny status v Object Viewer.



Obrázok 11 Prostredie ArchestrA IDE

Vytvorenie modelu výrobnjej linky nám umožní využitie ďalších funkcionalít softvérového riešenia Wonderware ArchestrA. Po úspešnom vytvorení komunikácie medzi PLC a Wonderware a vytvorením modelu je ďalším krokom nasadenie. Vďaka modelu, ktorý sme vytvorili, môžeme použiť stratégie kontroly na overenie vplyvu na model a tiež testovať nové kontrolné prístupy založené na výsledkoch, ktoré sme získali, a aplikovať ich na fyzický model. Obrázok 12 znázorňuje schému vytvorenia modelu výrobnjej linky.



Obrázok 12 Schéma vytvorenia modelu výrobnjej linky

Ďalším užitočným nástrojom, ktorý bude použitý, je Historian Client. V ňom sú uložené údaje pri každej zmene ich hodnoty. Pre lepšiu analýzu dát, Wonderware Historian Client poskytuje nástroje pre prácu s veľkými dátami, ako je napr. vytváranie trendov [12].

4.6 Kombinácia integrácie pomocou objektovo orientovaného a TAGového riešenia

Oba spomínané modely integrácie boli realizované v prostredí Wonderware. Vo finálnom návrhu je teda možné vyhodnotiť požiadavky z kapitoly 3.2 a určiť, ktorý typ je vhodné vybrať na realizáciu požadovaných úloh, ako je uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Porovnanie objektovo orientovanej a TAG-ovej integrácie

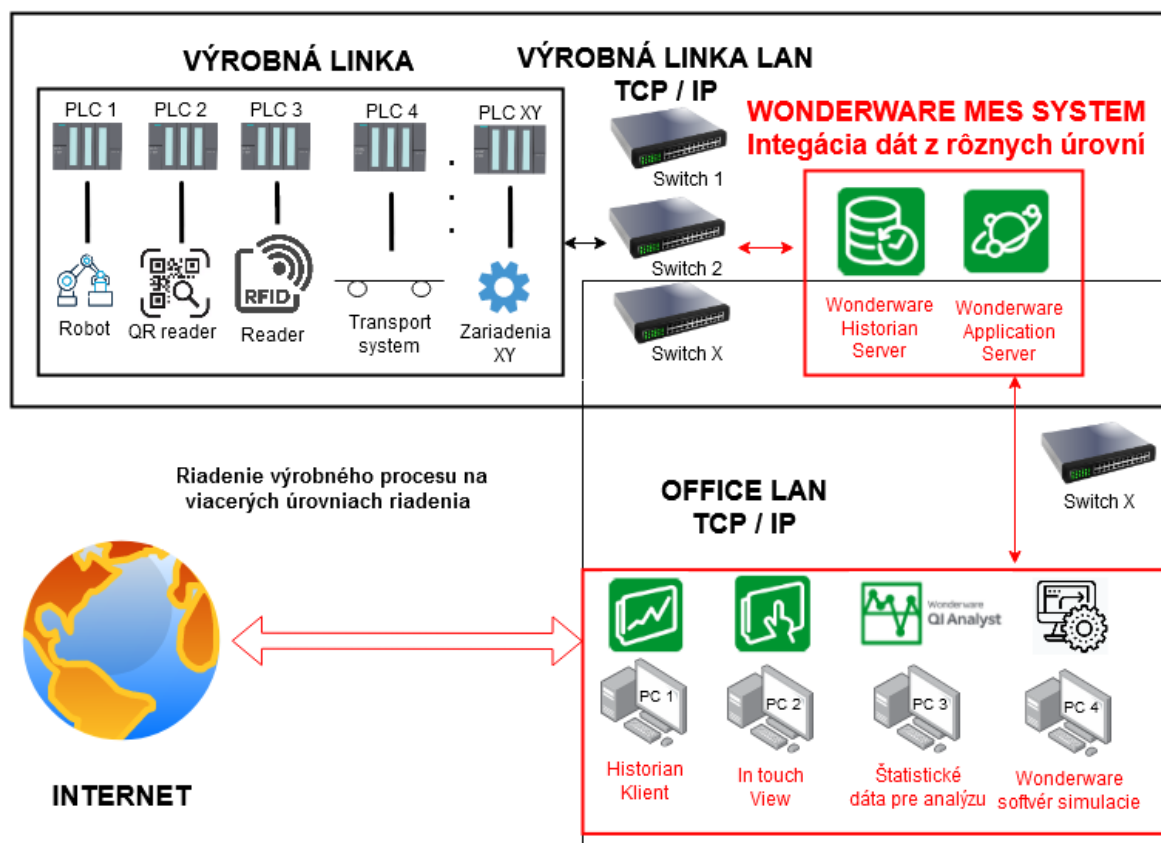
Objektovo orientovaná integrácia	Integrácia pomocou TAGov
Úlohy, ktoré je potrebné štruktúrovať a vytvoriť závislosti	Jednoduché úlohy, riadiace prvky, ktoré nevyžadujú štruktúrované a hierarchické prepojenia
Zabezpečenie dedičnosti alebo kompatibility pre zariadenia, ktoré sa môžu líšiť v malom množstve atribútov, alebo majú mnoho spoločných vlastností a je možné ich dobre šablónovať	Variabilné riadiace prvky, ktoré nemajú spoločné atribúty. Nemá veľký zmysel vytvárať pre ne šablónu.
Veľké množstvo parametrov, ktoré je potrebné sledovať	Veľké alebo malé množstvo sledovaných parametrov
Nepotrebná vizualizácia	Potreba vytvorenia vizualizácie komponentu na HMI
Vysoká funkcionálna z pohľadu logiky aplikácie	Nízka náročnosť pre implementáciu logiky aplikácie
Potenciálne časté zmeny funkcionality	Malá pravdepodobnosť zmeny funkcionality

4.7 Nasadenie aplikácie Historian pre ukladanie dát

Wonderware Historian je nainštalovaný a je možné ho nasadiť na ľubovoľný počítač, na ktorom je nainštalovaná a prevádzkovaná Galaxy alebo na počítač mimo Galaxy, ale v lokálnej sieti. Platforma Historian vyžaduje pre svoje konfiguračné údaje databázu servera SQL. Táto serverová databáza SQL môže byť rovnaká alebo odlišná, aká sa používa v úložisku Galaxy. Jednu Galaxy môže využívať viac ako jeden Historian, ale jeden Historian môže prijímať historické údaje iba z jednej Galaxy.

4.8 Systémová architektúra po integrácii

Nasledujúci obrázok 13 znázorňuje systémovú architektúru po integrácii výrobnéj linky pomocou nástroja Wonderware.



Obrázok 13 Systémová architektúra po integrácii

Výrobná linka má na rozdiel od pôvodného stavu opísaného v predchádzajúcej kapitole niekoľko vylepšení, ktoré boli realizované ako súčasť tejto práce. Zmenila sa sieťová infraštruktúra, kde bola sieť rozdelená na dve podsiete, čo je výhodné z bezpečnostného hľadiska. Jedna podsieť slúži pre výrobu a druhá pre administratívu. Wonderware moduly Historian na historizáciu dát alebo InTouch na vizualizáciu výrobného procesu predstavujú základné prvky integrácie dát. Wonderware Process Simulation slúži na komplexné simulácie v prípade zavádzania nových prvkov do výrobného procesu, bez rizika narušenia plynulosti výroby. Zavedením týchto modulov je možné realizovať riadenie výrobného procesu tak, aby bolo možné prepojenie systémov a takto zabezpečiť integráciu dát.

Wonderware Process Simulation je integrovaná platforma, ktorá pokrýva celý životný cyklus procesov - návrh, simuláciu a učenie. Softvér Wonderware Process Simulation poskytuje významné výhody oproti starším softvérovým programom na simuláciu výrobných procesov. Každá aplikácia platformy používa rovnaké používateľské rozhranie, takže všetci operátori môžu vykonávať akúkoľvek funkciu v rovnakom softvérovom prostredí. Na základe integrovaných dát teda Wonderware poskytuje aj funkcionality komplexných simulácií v prípade potreby zavádzania nových komponentov do výrobných procesov, takže je možné jednotlivé novozavádzané komponenty najskôr nasimulovať, teda overiť kompatibilitu a efektivitu vo výrobnom procese [13].

4.9 Dáta pre podporu simulačných procesov

Pre podporu simulácie z pohľadu integrácie dát je potrebné pripraviť dáta pre simulačný model. Simulačný model je účelovou abstrakciou reality a musí byť jasné k akému účelu má model slúžiť a čo je očakávané v zmysle jeho výstupov.

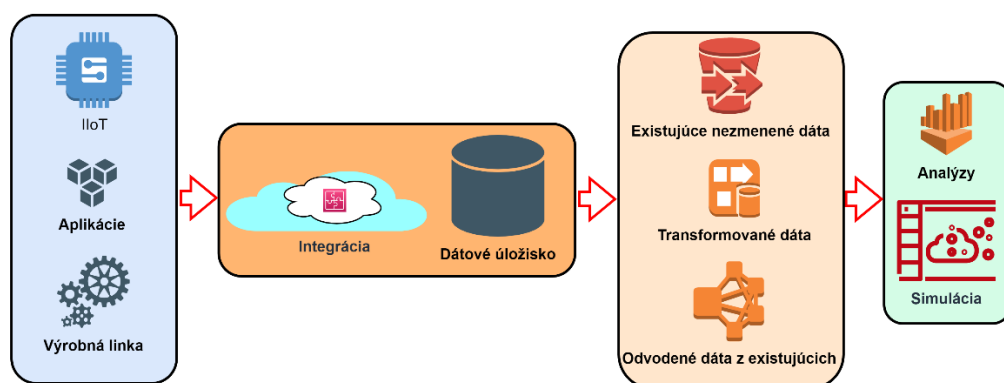
Z pohľadu integrácie dát je potrebné zabezpečiť dáta tak, aby zozbierané dáta mohol použiť pripravovaný simulačný model. Pripravené dáta pre simuláciu sú rozdelené podľa dostupnosti do 3 kategórií:

- Priamo dostupné dáta sú dáta, ktoré je možné okamžite použiť a nie je potrebná ich transformácia. Dáta sú pripravené na uplatnenie v simulácii bez dodatočnej úpravy.

- Odvodené dáta sú dáta, ktoré je možné získať ich dodatočnou transformáciou alebo rozšírením výberu zberaných dát, ak je to technicky možné. Tento typ dát je získavaný transformáciou údajov, výpočtom zo zozbieraných dát alebo doplnením dát.

- Dáta, ktoré sú potrebné, ale nie je možné získať ich zo snímacích prvkov alebo procesov, ale len na základe doplnenia nových snímacích prvkov alebo nasadením novších technológií. Z pohľadu integrácie dát, je v tomto prípade nutné doplniť dáta. Doplnenie dát je možné zmenou procesov, zmenou riadiacich prvkov, ktoré dodatočné dáta budú schopné zabezpečiť. Často sú nasadené IIoT zariadenia, alebo je nutná modernizácia riadiacich prvkov alebo softvéru, ktorý požadované dáta potenciálne obsahuje.

Pri realizácii integrácií dát je dôležité identifikovať typické dáta, ktoré sú dôležité napríklad pre riadenie a monitorovanie výroby. To isté platí aj z pohľadu simulácie. Základné riadiace dáta predstavujú časy, množstvá, rýchlosti, objekty, ich prepojenia a atribúty, ktoré identifikujú proces výroby, kvalitu výrobku alebo zmenu parametrov. Schéma získavania dát pre potreby simulácie s realizovanou dátovou integráciou je zobrazená na obrázku 14.



Obrázok 14 Získavanie dát pre podporu simulácie

Dáta zberané z rôznych úrovní riadenia je potrebné zberať a ukladať do dátového úložiska v pôvodnom, teda nezmenenom stave. Integrácie a dátové úložisko predstavujú dve časti, kde je potrebné sa uistiť, že neprebíha žiadna transformácia dát a je zabezpečená spoľahlivosť ukladania dát. Dáta z dátového úložiska predstavujú tri úrovne dát, ktoré predstavujú základ pre simulačné riešenia.

- Existujúce dáta, ktoré sú použité priamo na simulačné alebo analytické účely
- Transformované dáta, ktoré prešli úpravou a sú k dispozícii na simulačné procesy
- Odvozené dáta z existujúcich dát. Tieto dáta vznikajú výpočtami z existujúcich zozbieraných dát. Tieto dáta majú logický vzťah medzi minimálne dvoma hodnotami, z ktorých je možné vypočítať novú hodnotu. Pre tento typ dát je potrebná znalosť integrácie dát a ich vzťahy

Z pohľadu integrácie sú zdanlivo nepodstatné dáta len otázka výberu a určenia, či sú dáta podstatné alebo nie. Dáta, ktoré sa doteraz nezbierali, je možné pridať do oblasti záujmu a ak to umožnia snímacie prvky, tak chýbajúce dáta sú pridávané do integračného procesu. Môže tu byť uplatnená myšlienka z Big Data, kde je definované, že je lepšie mať k dispozícii obrovské množstvo dát. Dáta zbierané zo snímania a monitorovania spadajú do kategórie existujúcich dát a sú priamo uplatniteľné v simulačných procesoch.

Integrované dáta sú v surovom stave a sú teda predpripravené pre široké použitie simulácie, analýzy, Business Intelligence alebo data miningu. Dáta sú prístupné nie len pre integráciu, ale možno ich exportovať do iných softvérov ako napríklad Excel, MiniTab, Witness, Statistica a podobne. Dostupnosť dát pre simuláciu je možné obecné zabezpečiť viacerými spôsobmi. Pripojenia simulačných modelov je možné cez špecificky vytvorené API, cez priamu podporu modulov, alebo je možné exportovanie dát do kompatibilných súborov, ktoré slúžia ako vstup pre simuláciu.

4.10 Integrácia IIoT zariadenia do výrobného procesu

Výber zariadenia teda bola smart kamera kompatibilná s OPC UA, ktorá má integrovaný OPC UA SERVER a umožňuje zapojenie do výrobnéj linky tak, aby bola potrebné minimálna zmena existujúcej funkcionality výrobného procesu. Výhodou je teda neohrozenie existujúcej integrácie a IIoT zariadenie bude len rozšírením, ktoré je potenciálne ľahko deaktivovateľné.

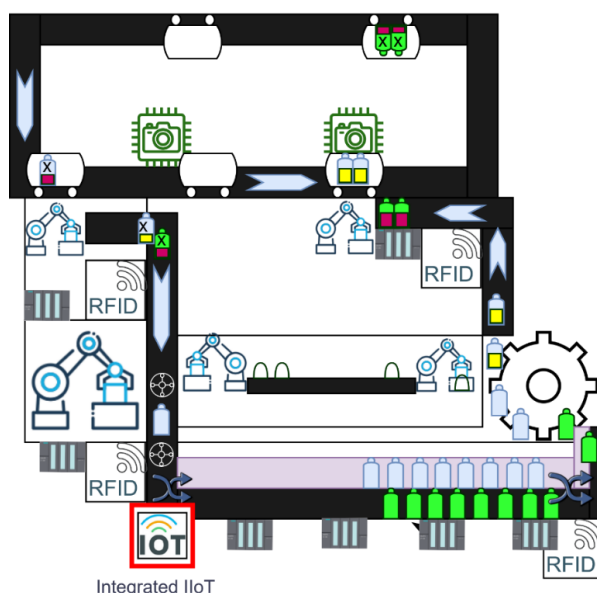
Pre demonštráciu integrácie pomocou protokolu kompatibilného s Industry 4.0 bolo zapojené zariadenie IIoT, ktoré bolo implementované pomocou počítača Raspberry Pi 4B zobrazeného na obrázku 33. Použité IIoT zariadenie je smart kamera, ktorá pomocou počítačového videnia a implementovaného modelu umelej inteligencie detekuje typ fľaše. Na základe identifikácie recyklovanej fľaše posiela riadiaci signál do MES systému. Ten prepne bránu do správnej polohy a zaradí detekovanú fľašu do správneho zásobníku.

Výrobná linka bola funkčným modelom, kde dochádzalo k plneniu kvapalného alebo sypkého materiálu. Robot sa nachádzal v recyklačnej časti, kde sa čistili zle naplnené, nesprávne uzavreté alebo nesprávnym obsahom naplnené fľaše. V tejto časti výrobnéj linky sa zistilo nesprávne triedenie fliaš do zásobníka na distribučnej stanici.

Testovanie integrovaného zariadenia IIoT (Obrázok 15) sa uskutočnilo na výrobnéj linke zobrazenej na obrázku 16.

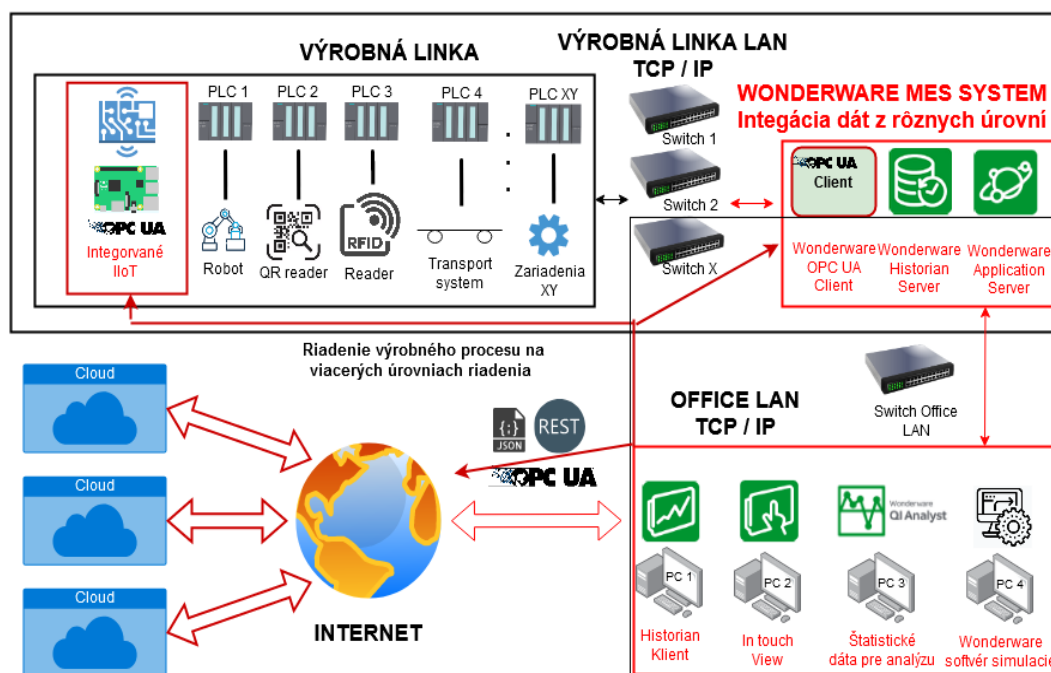
**Obrázok 15 Integrované IIoT zariadenie**

Úlohou integrovaného zariadenia IIoT bolo zistiť typ fľaše na výstupe z recyklačnej stanice. Išlo o dva typy fliaš. Prvý typ fliaše bol modrý a používal sa na tekutiny a druhá fľaša, ktorá bola určená na sypké materiály, bola zelená. IIoT zariadenie identifikuje prechádzajúcu fľašu pomocou metód počítačového videnia a podľa toho vysiela signál do brány. Brána prepína pozíciu triedenia tak, aby správne zaradila fľašu späť do procesu plnenia. Schematické umiestnenie navrhovaného zariadenia IIoT je znázornené na obrázku 16.

**Obrázok 16 Integrované zariadenie IIoT vo výrobnom procese s funkciou detekcie fliaš**

4.11 Systémová architektúra po integrácii IIoT

Nasledujúci obrázok 17 znázorňuje systémovú architektúru výrobnjej linky po integrácii IIoT zariadenia.



Obrázok 17 Systémová architektúra po integrácii IIoT

Komunikácia integrovaného zariadenia je realizovaná pomocou modulu OPC UA Client, ktorý je súčasťou MES systému Wonderware. OPC UA Client predstavuje modul, ktorý zabezpečuje komunikáciu s pridaným zariadením pomocou binárneho protokolu OPC UA. Zariadenie bolo definované TAGom, ktoré mapuje všetky atribúty, dáta a udalosti tak, aby MES systém mohol komunikovať s týmto zariadením.

Dáta a atribúty boli identifikované a kategorizované do dvoch oblastí. Sú definované práva typu read-only teda iba na čítanie. Predstavujú ich dáta ktoré MES systém ukladá a môžu byť určené na ďalšie spracovanie alebo použité pre potreby riadenia. Druhé dáta sú aj zapisovateľné, teda ReadWrite, cez ktoré MES systém môže kontrolovať zariadenie a meniť jeho parametre. Napríklad tento jav bol použitý pre zaznamenávanie nesprávne detekovaný typ fľaše. Táto vlastnosť bola zabezpečená samotným IIoT zariadením, ktoré je špecifické tým, že jeho komunikačné možnosti nemusia byť limitované len v rámci výrobnéj linky, ale je schopné komunikovať s prostriedkami, ktoré sú vykonávané v externom prostredí, v tomto prípade v cloude. Na zabezpečenie takejto komunikácie je potrebné definovať komunikáciu v oddelených sieťových prostrediach tak, aby toto zariadenie bolo schopné posielat' dáta pomocou internetu.

Preto je definovaná politika siete, ktorá umožní prepojenie internetu na zariadenie vo výrobe ale aj do internetu. Ako je označené interná komunikácia je realizovaná pomocou OPC UA protokolu. Táto prepája MES systém a IIoT zariadenie v rámci Výrobnej Linky LAN. REST volanie z IIoT zariadenia je potom samostatne realizované smerom von do internetu pomocou prepojenia Office LAN. Detekcia fliaš je realizovaná priamo IIoT zariadením, ale overenie funkčnosti modelu bolo realizované pomocou cloud služieb, kde výkonnejší a prepracovanejší model počítačového videnia založený na komerčnej technológii bol použitý pre validovanie správnosti detekcie typu fliaše. Tieto dáta sú ukladajú redundatne aj na Historian Server a zároveň aj na Cloud v podobe JSON dátových štruktúr.

Integrácia, ktorá bola takto zabezpečená, umožnila vylepšenie modelu IIoT zariadenia a doplnenie trénovacích setov v prípade, že modul implementovaný IIoT zariadením nevykázal zhodu s externým cloud detekčným modulom. Tieto dáta boli vyhodnotené v systéme Historian. Zároveň bola takto overená integrácia a prínos Industry 4.0 zariadenia a nového protokolu OPC UA. Tento bol použitý a demonštroval rozšírenie klasickej riadiacich prvkov. Boli identifikované oblasti, ktoré priniesli dodatočné dáta. Vnútorne fungovanie IIoT zariadenia bolo navrhnuté tak, aby bolo schopné pri spracovávaní detekcie fliaš generovať udalosti, ktoré predstavujú aktivity vykonávané počas detekovania typu fláše. Tieto udalosti je možné zaznamenávať a vyhodnocovať.

Udalosti obsahujú informácie o stave, čase a práve vykonávanej aktivite. Tieto môžu tvoriť základ pre potreby simulácie a predstavujú pre tento typ integrácie obrovské nové možnosti. Pomocou udalostí je možné získať dodatočné dáta, ktoré dokážu nielen reprezentovať dĺžky vykonávaných operácií, ale dokážu pokryť samotné chovanie riadiaceho zariadenia a je možné reprezentovať tak jeho vnútorného fungovania, vyhodnotiť kvalitu riešenia a dodať dáta, ktoré môžu priniesť dodatočnú hodnotu pre možné dátové analýzy.

5 Overenie a zhodnotenie navrhovaných riešení

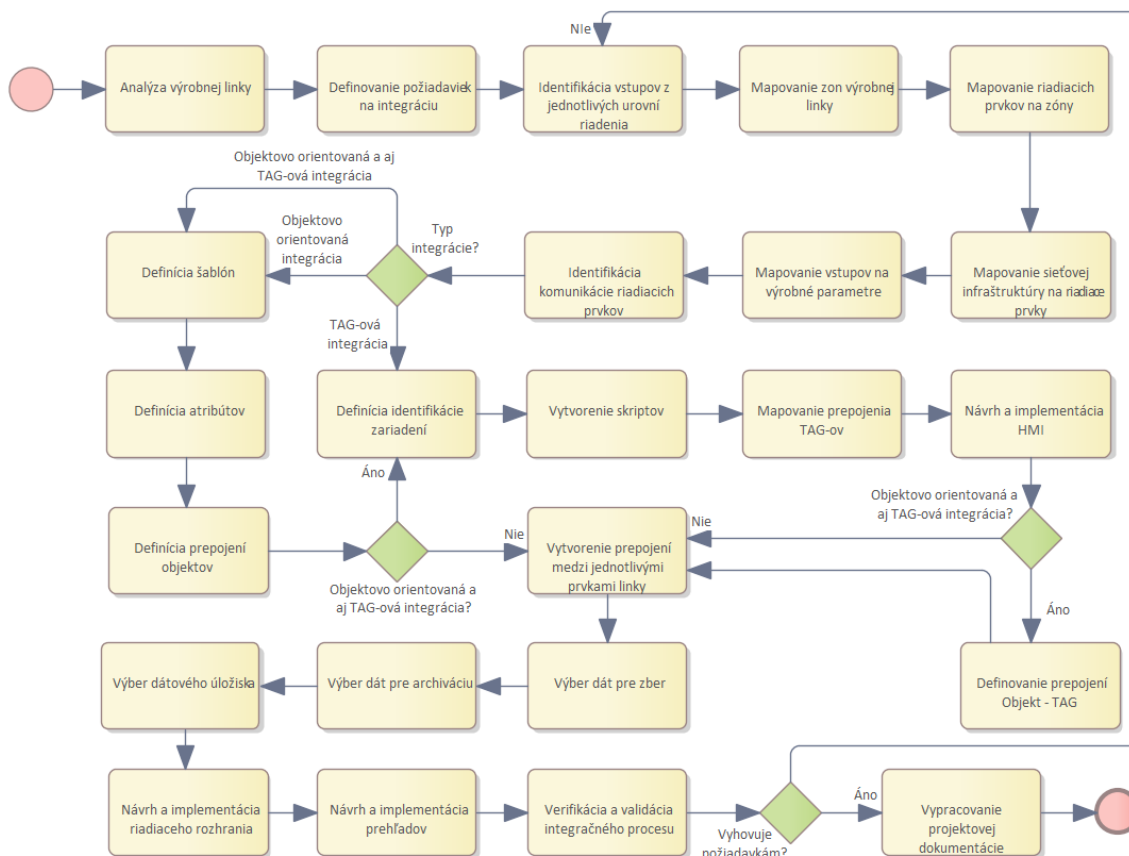
V tejto časti budú overené a zhodnotené navrhované riešenia v podobe integrácie dát a vytvorenia komunikácie medzi MES systémom, ktorý podporuje integráciu dát na heterogénnych úrovniach a výrobnou linkou.

5.1 Overenie a zhodnotenie integrácie výrobnjej linky a softvéru Wonderware

Vytvorením komunikácie medzi výrobnou linkou a MES systémom Wonderware bolo možné využívať ďalšie možnosti, ktoré Wonderware poskytuje. Komunikácia bola vytvorená využívaním súčastí softvéru Wonderware a to konkrétne Archestra a System Management Console. Ďalším krokom bolo vytvorenie kompletného modelu výrobnjej linky vrátane jednotlivých TAGov a ich atribútov. Nastavenie vlastností týchto objektov umožňuje používať aj Historian server na ukladanie histórie údajov. Môžeme tiež využiť možnosť historizácie údajov pomocou programu Historian Client. Tu sú uložené údaje s každou zmenou ich hodnoty. Wonderware poskytuje nástroje na spracovanie obrovského množstva zozbieraných a uložených údajov v softvéri Historian, ako aj trendov, čo tiež prispieva k lepšiemu vyhodnoteniu pri ďalších analýzach. Keď je komunikácia hotová a model dokončený, posledná vec, ktorú bolo potrebné urobiť pre zber dát z výrobnjej linky, je jeho nasadenie.

5.2 Zovšeobecnenie návrhu za účelom využitia integrácie v priemyselnom podniku

Vytvorenie integrácie navrhnutých postupov pomocou objektovo orientovaného modelu a integrácie pomocou TAGov na výrobnjej linke demonštruje uplatniteľnosť pre všeobecné aplikovanie daného postupu pre integráciu vo výrobných podnikoch, ktoré je zobrazené na obr. 18.



Obrázok 18 Všeobecný návrh postupu integrácie v priemysle

Vykonanie analýzy výrobné linky tak, aby bolo možné urobiť dekompozíciu celku na elementárne časti. V analýze je potrebné určiť tieto elementárne časti a ich vzťahy, podstatné časti určiť, definovať ich dôležitosť a zákonitosti. Výsledkom analýzy je formulácia problematiky, ktorá posluží ako základ pre vytvorenie a definovanie požiadaviek integrácie.

Definovanie požiadaviek na integráciu a určenie Service Level Agreement (SLA) určuje aj strategické požiadavky ako sú manažment údajov, prístupné a otvorené dáta, dôležitosť dát a ich parametrizácia, zavedenie manažmentu údajov a ich interoperabilita v rámci zamýšľanej integrácie.

Nasleduje identifikácia vstupov, ktoré prichádzajú do úvahy pri integrácii zo všetkých úrovni riadenia a zahŕňa všetky typy dát vrátane dokumentov, riadiacich prvkov, dokumentácie. Vstupy sú predstaviteľmi potenciálnych dát s rôznymi typmi a formátmi údajov. Je možné prípadne určiť aj to, či pre identifikovaný vstup je potrebné zabezpečiť transformáciu dát alebo validáciu formátov.

Mapovanie zón výrobné linky predstavuje vytvorenie logického a fyzického usporiadania výrobných zón. Mapovanie je proces, ktorý je doplnený popisom funkcionality výrobné zóny. Sú tu identifikované činnosti, zariadenia a radiace prvky, ktoré sú použité vo výrobnom procese.

Mapovanie riadiacich prvkov je proces, v ktorom sú identifikované typy riadenia, technická špecifikácia riadiacich prvkov, komunikačné možnosti a dostupné rozhrania, ktoré je možné použiť

pri riešení integrácie. Riadiace prvky je vhodné kategorizovať do skupín, ktoré majú podobné vlastnosti alebo zaradiť ich podľa kompatibility alebo typu riadenia.

Mapovanie sieťovej infraštruktúry na riadiace prvky. V tejto časti je vytvorená schéma sieťovej infraštruktúry, použitých sieťových komponentov a ich zapojenie na fyzické elementy infraštruktúry. V aplikačnej úrovni je vykonaná identifikácia adresovania a priradenie fyzických portov riadiacich členov a sieťových komunikačných zariadení.

Mapovanie vstupov na výrobné parametre je proces, kde je potrebné určiť, ktoré vstupy budú aplikované na riadenie a ovplyvňujú proces výroby. Vstupy do výroby po abstrakcii predstavujú dáta, ktoré špecifikujú parametre, ktoré ovplyvňujú výrobný proces. Určenie dát z jednotlivých vstupov a ich priradenie k integrácií je nutné pre návrh riešenia integrácie.

Identifikácia komunikácie riadiacich prvkov určuje typ komunikácie a protokolu prípadne spôsob adresovania riadiacich prvkov. Podľa použitej technológie sú parametrizované a určené dáta a ich priorita. V riadení je nutné identifikovať typy protokolov, ktoré sú použité na riadenie a predstavujú prenos dát v reálnom čase. Pre ne je vhodné overiť, či je možná integrácia alebo je nutná modifikácia existujúceho nastavenia tak, aby prípadná integrácia nenarušila spoľahlivosť a rýchlosť prenosu informácií.

Na základe doteraz vykonaných krokov je teraz potrebné určiť, ktorý spôsob integrácie je vhodný na riešenie úlohy. Je nutné brať do úvahy vlastnosti ponúkaných riešení. Platí základné pravidlo, ak sa jedná o úlohu, ktorá je jednoduchá, neštrukturovaná a je potrebná vizualizácia, uplatní sa integrácia pomocou TAGu. Ak je integrácia zložitejšie štrukturovaná, má definované závislosti a nepotrebuje vizualizáciu, je vhodný objektový model integrácie. V prípade oboch požiadaviek je možné aplikovať kombináciu oboch a to tak, že najskôr je pripravený objektový typ integrácie, nad ktorým je dorobené TAGové rozšírenie. Platí, že objektová implementácia predstavuje pre TAGový model integrácie logické zariadenie.

Pre objektový typ integrácie je potrebné postupovať definíciou šablón. Tieto predstavujú abstrakciu riešenej problematiky. Šablóna môže mať spoločné atribúty a tieto je možné upravovať. Zo šablóny je možné urobiť dedením novú šablónu a modifikovať požadované parametre alebo atribúty.

Definícia atribútov je krok, kde je vytvorený zoznam atribútov. Každý atribút má určené parametre, limity a vlastnosti, prípadne obmedzenia, v rámci ktorých môže nadobúdať hodnoty. Atribút predstavuje vlastnosť, ktorá je dostupná v riadiacom procese a môže meniť chovanie vytvoreného objektu.

Definícia prepojení objektov je vytvorenie prepojenia objektov, ktoré zabezpečujú vzájomnú interakciu a komunikáciu medzi objektami.

Vytvorenie prepojení medzi jednotlivými prvkami linky je opäť vytvorenie mapy prepojení riadiacich prvkov linky, kde je logická návaznosť výmeny riadiacich dát a pomocou tohto kroku je možné určiť, ako riadiace prvky linky medzi sebou komunikujú.

V TAG-ovom modeli integrácie je potrebná definícia identifikácie zariadení. Riadiace zariadenie je identifikované technickými a funkčnými parametrami. Vytvorí sa abstrakcia jeho atribútov a vytvorí sa mapovanie fyzického rozšania tak, aby bola možná dostupnosť jeho atribútov, vstupov a výstupov, pamäťových adres a podobne pre softvérovú implementáciu. Definíciou TAGu je vytvorený logický model zariadenia, ktorý je možné adresovať.

Vytvorenie skriptov je krok, kde prebieha doplnenie zabezpečenia funkcionality. Definujú sa skripty na detekciu alarmov a udalostí a skripty grafických animácií alebo prepojení.

Návrh a implementácia HMI obsahuje grafickú realizáciu, ktorá vizualizuje integráciu a poskytuje aj prípadnú interakciu operátora výroby do riadiaceho procesu. Vizualizačné časti implementácie HMI je jednoduchší takzvaný plochý typ úloh, bez komplikovaných vetvení a závislostí a TAG-ový typ integrácie je vhodný na tento typ úloh.

Mapovanie prepojenia TAG-ov je vytvorenie integrácie na základe TAGov, aby sa zabezpečila ich nadväznosť a spojenie. Každý TAG môže byť logicky prepojený na iný TAG a je možná výmena údajov medzi nimi.

Návrh a implementácia je posledný krok v TAG-ovej integrácii, kedy je na základe predchádzajúcich krokov možné pristúpiť k samotnej realizácii integrácie.

Definovanie prepojení objekt – TAG zabezpečuje kombináciu oboch typov a je najčastejšie sa vyskytujúci typ integrácie. Ide o kombináciu výhod oboch prístupov, a preto toto riešenie býva aplikované tak, že základná funkcionality sa rieši ako objektový typ integrácie a vizualizácia sa realizuje pomocou TAG prístupu. Prepojenie objekt - TAG sa realizuje tak, že existujúci objekt obsahujúci implementovanú funkcionality sa namapuje na virtuálny alebo logický TAG. Takto je dostupný na implementáciu v TAG integrácii.

Výber dát pre zber pozostáva v rozhodnutí určiť, ktoré dáta je potrebné zaznamenávať. Táto činnosť je úzko spojená s vytvorenými objektami a TAGmi, nakoľko sa potom uskutoční výber dostupných dát, ktoré dané integračné postupy obsahujú. Dáta sú zaznamenávané v neupravenom stave. Ak je potrebná úprava, je odporúčané vytvoriť transformáciu pôvodnej hodnoty a ukladať novovzniknuté dáta pod novým identifikátorom.

Výber dát pre archiváciu je potrebný pre definíciu archivačných politík a bezpečnostných pravidiel alebo dodržiavanie nariadení a zákonov ako napr. GDPR. Slúžia na dlhodobú archiváciu. Jedná sa o dáta, ktoré majú istú mieru dôležitosti a sú významné z pohľadu riadenia podniku. Môže ísť aj o iné typy dát, ale tieto sú spravidla určené podľa potreby daného subjektu. Archivačný objem dát by mal byť menší ako zberané dáta. V tejto časti je aj bežné, že sa archivujú dáta, ktoré sú zozbierané z viacerých úrovní riadenia a to aj na úrovni dokumentov, súborov a podobne.

Výber dátového úložiska je úloha, ktorá určuje, ako sa budú dáta ukladať a aký systém bude pre ukladanie dát použitý. Podľa typu údajov tieto systémy môžu byť rôzne a majú rôzne nároky. Pre integračné dáta sú to spravidla priestor na ukladanie súborov, pre sekvenčné ukladanie dát je obvykle použitá relačná databáza a pre kombináciu oboch je obvykle dostupný modul alebo aplikácia, ktorá zabezpečí komplexný prístup k oboom spomenutým typom dát.

Návrh a implementácia riadiaceho rozhrania je samotná realizácia integrácie a spája všetky doterajšie kroky do komplexného integračného riešenia. Implementáciou je vytvorená aplikácia, riadiace systémy a realizovaný zámer riešenia. V integračných softvéroch je táto časť zodpovedná za riadenie ale aj vizualizáciu výrobného procesu a takto umožňuje implementáciu integrácie.

Návrh a implementácia prehľadov predstavuje návrh reportov a nástrojov, ktoré umožnia rozhodovanie v procese riadenia. Tieto prehľady využívajú zintegrované dáta, kde prebieha ich agregácia, analýza a prípadne transformácia do podoby dokumentov, reportov a štatistických prehľadov, ktoré je možné využiť pri riadení podniku.

Verifikácia a validácia integračného procesu je posledná úloha, ktorá predstavuje štandardný krok nasadenia integrácie alebo softvéru obecné. Verifikácia slúži na overenie správnosti produktu vzhľadom k formulovaným požiadavkám integračného riešenia. Validácia zasa rieši overenie správnosti integrácie vzhľadom k reálnym požiadavkám.

Vytvorenie dokumentácie predstavuje krok, kedy sa do technickej dokumentácie zaznamenávajú všetky podstatné realizované kroky, ich parametre, vytvorené spojenia, mapy, definícia objektov, TAGov atribútov, schémy a sieťové parametre. Dokumentácia môže byť kategorizovaná podľa typu aktivity alebo technického zamerania. Slúži ako výstup realizácie a je základom pre prípadné ďalšie úpravy a zmeny, kedy každá verzia sa dokumentuje a zaznamenávané sú vykonané zmeny voči predchádzajúcej verzii.

6 Prínosy dizertačnej práce

V práci boli vykonané analýzy súčasného stavu problémovej oblasti integrácie heterogénnych podnikových dát z rôznych úrovní riadenia a zároveň vytvorenie prehľadu teoretických východísk a poznatkov v danej problematike. Na základe vypracovanej analýzy bolo možné stanoviť ciele a určiť smerovanie predkladanej dizertačnej práce. Vďaka spracovaniu analýzy a prehľadu bolo možné navrhnúť riešenia integrácie podnikových dát. V práci sú navrhnuté dva základné modely integrácie. Objektový prístup, ktorý je vhodný na riešenie komplexných a štrukturovaných úloh. Druhý typ modelu je TAG-ový, ktorý je vhodný na riešenie úloh, ktoré sú menej zložité, vyžadujú grafickú reprezentáciu a sú určené na plochý typ úloh, ktoré nevyžadujú komplikované závislosti alebo zložité prepojenia. Oba typy sa môžu prekrývať a najčastejším spôsobom integrácie v reálnom prostredí je ich kombinácia, kde objektový model sa stará o zložitejšie úlohy a prepojenie s TAGovým modelom je realizované pomocou logického mapovania objektu na TAG. Takto sa zabezpečí prepojenie a zabezpečí sa výhodná funkcionálna oboch modelov. Oba modely sú v práci popísané a sú vyhotovené odporúčané kroky, ktoré je potrebné realizovať aby ich návrh zodpovedal typom úloh, na ktoré sú určené.

Hlavným cieľom dizertačnej práce bol návrh integrácie heterogénnych podnikových dát z rôznych úrovní riadenia, so zameraním na identifikáciu a vytvorenie integrácie dát. Bol analyzovaný a navrhnutý štandardný spôsob integrácie pomocou systému MES, ktorý je nasadený vo podnikoch. V práci sú demonštrované odporúčané postupy nasadenia modulárneho systému MES, ktorý umožňuje integráciu dát v malých a stredných podnikoch a tak zabezpečiť ich ďalšiu rast a rozvoj. Na dosiahnutie cieľa simulácie procesov je opísaný postup, ako je vhodné pracovať s dátami, ako identifikovať a zberať dáta a ukladať ich do zvoleného úložiska tak, aby boli čo najľahšie prístupné pre analytické a simulačné účely. Existujúce dáta je odporúčané ukladať v nezmenenej podobe. Dáta, ktoré sú potrebné pre simulačné účely ale nie sú priamo dostupné zo zozbieraných údajov, je možné odvodiť zo základných. Tieto teda vznikajú agregáciou alebo transformáciou pôvodných dát. Ak je zistené, že niektoré dáta neexistujú pre potreby analýz alebo simulácie, je nutné identifikovať možnosti, či je vôbec možné doplniť dáta z existujúcich riadiacich provkov výrobného procesu, alebo či je nutná modifikácia riadiaceho procesu, prípadne je nutné doplnenie dodatočných zariadení na získanie požadovaných dát. V práci je ukážka doplnenia integrácie pomocou IIoT zariadenia a využitia doplnenia dát integrovaním IIoT zariadenia do výrobného procesu. Nové dáta získané z IIoT zariadenia podobne ako aj dáta získané z každého navrhovaného kroku integrácie sú použiteľné pre potreby analýzy a simulácie. Ich štandardizovaná štruktúra, dostupnosť a komplexnosť je reprezentovaná pre vstupné dáta, ako aj pre dáta generované počas výroby a predstavujú základ pre realizáciu simulácie procesov v súlade s konceptom Industry 4.0. Navrhované zariadenie IIoT ako komponent riešenia Industry 4.0, dopĺňa novozískané dáta potrebné pre riadenie výroby alebo zabezpečenie simulácie.

Navrhnuté riešenie bolo overené praktickou implementáciou pomocou softvéru Wonderware a prinieslo do výrobného procesu mnoho výhod. Oba integračné modely prinášajú výhody a nevýhody, ktoré boli vyhodnotené a zhrnuté. Pre výber integrácie je teda možné ľahko identifikovať a vyhodnotiť, ktorý typ je vhodný pre potenciálnu realizáciu všeobecne. Pri výbere

integračného riešenia potom stačí zistiť, či daný typ modelu je podporovaný a je možná jeho realizácia pomocou vybraného riešenia, ktoré obvykle predstavuje súbor aplikácií a modulov.

Ďalším prínosom je popísaný systém práce s dátami, ich ukladanie a spracovanie do podoby historizovaných dát zo všetkých procesov, ktoré počas výrobného procesu vznikajú. Dáta sú historizované z heterogénnych úrovní do úložiska dát, kde bolo vyhodnotené, aký typ dát je vhodné voliť aj konkrétny typ úložiska. V overení návrhu bola implementovaná práca s dátami v MES systéme. V praktickej realizácii to bol modul MES systému Historianu. Zber a historizácia údajov umožňuje zaznamenávať kvalitu signálov, kontrolovať chybové hlášky alebo alarmy, a tak zistiť, čo je potrebné upraviť vo výrobnom procese, prípadne analyzovať výrobný proces a skúmať možné vylepšenia. Úrovne zberu dát môžu predstavovať všetky časti ISA 95 vertikálnych aj horizontálnych vrstiev riadenia. Z technického hľadiska sa jedná o dáta zo senzorov, ako sú napríklad prepúšťacie brány, senzory, dopravníkové pásy, ďalej informácie z PLC zariadení, kamier, robotov a ich riadiacich jednotiek, ventilov, HMI panelov, ovládacích prvkov atď. Všetky riadiace prvky a nimi produkovvané dáta boli integrované tak, že je možné sledovať objednávku, cez zadanie tovaru, vyhotovenie objednávky, jej technickú realizáciu až po jej vyskladnenie. Dáta sú uložené tak, aby boli prístupné aj pre externé aplikácie s možnosťou ich exportu alebo poskytnuté cez API rozhranie. Dáta sú prístupné nielen pre potreby MES systému, ale aj pre analytické a simulačné nástroje.

Integrácia dát pomocou zvolených modelov bola finalizovaná návrhom a vytvorením konkrétnej implementácie mapovania TAGov a definovaním objektových šablón. Na ich základe bolo možné odvodiť potrebné objekty a ich atribúty. Tento fakt dal možnosť vzniku vizualizácie výrobného procesu, kde pri popisovaní jednotlivých prvkov v Archestra je umožnené týmto elementom pridať reprezentačnú vizualizačnú podobu. Vytváranie vizualizácie môže byť použité priamo definovanými vlastnosťami daného TAGu alebo Objektu.

Výhoda riešenia je jednoduchá a rýchla možnosť realizácie integrácie z heterogénnych zdrojov dát. Opísané postupy predstavujú univerzálne riešenie integrácie, ktorá pokrýva široký rozsah uplatnenia a aplikácie nie len v priemyselnom prostredí. Oba spomínané typy modelov sú rozširiteľné a uplatniteľné podľa vhodnosti a vyhodnotenia zložitosti a štrukturovanosti zadanej úlohy. Obe predstavujú vhodný typ riešenia a nasadenia v praxi.

Nevýhoda riešenia je závislosť na výbere dodávaného systému a prípadné zaistenie jeho kompatibility s použitými systémami a komponentami, ktoré je potrebné integrovať. V tejto oblasti sa javí ako potenciálne riešenie dodržiavanie štandardov Industry 4.0 a pre konkrétnu aplikáciu priemyselných zariadení je pomerne dobre podporované moderné otvorené riešenie OPC UA. Aj v tomto prípade ale platí, že existujú viaceré verzie, kde najmä staršie zariadenia alebo implementácie softvéru nemusia podporovať najnovší typ komunikácie. V prípade nasadenia OPC UA je potrebné overiť jeho staršiu verziu všeobecne označovanú ako OPC DA, ktorá ale je limitovaná len na dátový prístup ako napovedá jeho názov DA - data access.

Postupnou implementáciou vznikla integrácia, ktorá podporuje HMI vizualizáciu vhodnú pre operátorov, ale zároveň poskytuje vysoko hodnotné pohľady pre manažment, ktoré pokrývajú oblasť od kvality výroby, vyhodnotenie priebehu a časov výroby, chybovosť produkcie ako aj kvantitatívne vyhodnotenie výrobných prevádzok a ich štatistické vyhodnotenie. Je možné sledovať pohyb výrobku od zadania objednávky až po jeho finalizáciu. V prípade situácie, kedy je

identifikovaný problém riadenia výroby, a analýzou sa zistí, že požadované nové dáta nie sú dostupné v existujúcich technických prostriedkoch, prichádza na zváženie integrácia doplňujúcich zariadení. V práci je to demonštrované využitím IIoT zariadenia. IIoT zariadenie vzhľadom na vynaložené prostriedky môže predstavovať prínos z pohľadu vylepšenia riadenia výrobného procesu. Samozrejme predstavuje aj prínos z pohľadu získaných dát. Aplikovaním riešenia integrácie IIoT zariadenia pomocou štandardu OPC UA, boli demonštrované prínosy integrovaného IIoT zariadenia v existujúcej výrobnej linke. IIoT zariadenie eliminuje riziko potreby zmien existujúcich riadiacich prvkov. Doplnením nových dát a riadiacich signálov ale umožňuje zmenu výrobného procesu bez potreby zmien pôvodných riadiacich prvkov s minimálnym rizikom. IIoT zariadenie v istej miere demonštruje aj možnosti cloud riešení pre priemysel, kde IIoT zariadenie posúvalo na riešenie časť úloh do externého prostredia. V tomto prípade išlo o validáciu identifikácie fľaše, kde cloud zdroje mohli svojím výkonom ľahko prekonať implementáciou dostupnú v IIoT zariadení. Dáta z cloudu boli ukladané opäť do systému Historian. Postupným riešením jednotlivých cieľov boli postupne všetky naplnené.

Ponúkané postupy a predstavené modely integrácie predstavujú moderné, spoľahlivé, kompatibilné a široko uplatniteľné všeobecné riešenie pre priemyselné ale aj iné výrobné podniky.

Na základe overenia implementácie bol realizovaný návrh zovšeobecnenia integrácie, ktorý bol predstavený v kapitole 7. Opísané princípy a aktivity poskytujú všeobecne uplatniteľné základné kroky a ich aplikáciou je možné vytvoriť návrh integrácie v priemyselných podnikoch. Každá aktivita bola popísaná a jej predmet a vykonateľnosť je principiálne opísaná tak, aby bolo možné pochopiť a realizovať každú aktivitu. Umožňujú vybrať model integrácie a jeho nasadenie. Postupným vykonaním všetkých aktivít je možné získať komplexný postup ako realizovať integráciu v podniku. Zároveň tento všeobecný postup prezentuje realizáciu implementácie. Doplňujúce kroky pokrývajú aktivity, ktoré zabezpečia verifikáciu a validáciu integrácie až po vypracovanie dokumentácie návrhu a opis celkového stavu návrhu integračného riešenia.

Záver

Dizertačná práca bola zameraná na riešenie integrácie dát v priemyselnom podniku. V práci sú zhrnuté doteraz známe teoretické poznaky, existujúce spôsoby integrácie, výhody a nevýhody integrácie. Boli vyhodnotené existujúce podnikové riešenia. Spracovaný základný prehľad požiadaviek integrácie, ktorý bol aplikovaný vo vybraných podnikoch, poslúžil na identifikáciu cieľov integrácie, ktoré tieto podniky realizovali. Prehľad integračných riešení od rôznych dodávateľov bol zameraný na prieskum ponúkaných možností riešenia integrácie a hľadanie vhodného typu integračného riešenia pre priemysel. Prehľad nasadenia modernizácie vo výrobných podnikoch a ich modernizácia podľa Industry 4.0 pomohli určiť a upresniť dôvody nasadenia integrácie v podnikoch.

Ďalej boli analyzované základné spôsoby a modely integrácie dát. Na základe zistených skutočností boli v práci navrhnuté dva integračné modely. Objektovo orientovaný, predstavuje základný prístup, ktorý je vhodný na komplexné a štruktúrovateľné návrhy riešenia. TAG-ový spôsob, ktorý je určený na menej zložité integračné implementácie, kde je žiadaná vizualizácia alebo interakcia pomocou grafických HMI rozhraní. Overenie navrhnutého všeobecného modelu

bolo vykonané na výrobnjej linke, kde bola realizovaná integrácia pomocou MES systému Wonderware a jeho modulov. Integrácia, ktorá bola implementovaná na výrobnjej linke, slúži ako základná koncepcia získavania dát pre simuláciu.

V prípade využitia dát pre potreby simulácie je potrebné zabezpečiť dáta, ktoré sú vhodné pre simulačné modely. V rámci integrácie bol v práci opísaný zber dát, výber a spôsoby využitia dát, pravidlá ukladania a práca s dátami. Bol analyzovaný a opísaný výber vhodného dátového úložiska. Získané dáta umožnili identifikáciu problému vo výrobnom procese. Bolo zistené, že existujúce riadiace prvky neumožňujú vyriešenie problému, nakoľko nebolo možné získať doplňujúce dáta, ktoré by daný stav identifikovali.

V práci je ukážka integrácie IIoT zariadenia, ktoré demonštruje návrh riešenia pri absencii dát z existujúcich riadiacich prvkov výrobnjej linky. Nasadením IIoT zariadenia do riadenia výrobného procesu a integrácia dát, bolo možné získať nové dáta použité v simulácii, ale zároveň zberané dáta boli použité aj na vylepšenie riadenia výroby.

Na základe teoretických a praktických skúseností integrácie výrobnjej linky pomocou objektového a TAG-ového modelu pre podporu simulácií bol navrhnutý zovšeobecnený model integrácie, ktorý je aplikovateľný pre návrh a realizáciu integrácie v podnikoch.

Hlavným cieľom dizertačnej práce bola integrácia dát z heterogénnych úrovní riadenia pre potreby analýzy a komplexné simulácie procesov v rámci konceptu Industry 4.0.

Splnenie hlavného cieľa dizertačnej práce bolo podmienené naplnením stanovených čiastkových cieľov, ktoré sú sformulované nasledovným spôsobom

- Návrh integrácie dát z heterogénnych úrovní riadenia pre potreby analýz a komplexné simulácie.
- Verifikácia navrhnutého riešenia na existujúcej výrobnjej linke.
- Zovšeobecnenie návrhu za účelom využitia integrácie v priemyselnom podniku.
- Zhodnotenie prínosov dizertačnej práce.

Na základe realizovaných všetkých čiastkových úloh a cieľov je možné skonštatovať, že hlavný stanovený cieľ dizertačnej práce bol splnený.

Zoznam publikačnej činnosti**ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch**

ADC01 VÁCLAVOVÁ, Andrea - STŘELEČ, Peter - HORÁK, Tibor - KEBÍSEK, Michal - TANUŠKA, Pavol - HURAJ, Ladislav. Proposal for an IIoT Device Solution According to Industry 4.0 Concept. In *Sensors*. Vol. 22, iss. 1 (2022), s. 1-27. ISSN 1424-8220 (2020: 3.576 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.636 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/s22010325 ; SCOPUS: 2-s2.0-85121967894 ; WOS: 000751041400001 ; CC: 000751041400001.

ADC02 HORÁK, Tibor - STŘELEČ, Peter - HURAJ, Ladislav - TANUŠKA, Pavol - VÁCLAVOVÁ, Andrea - KEBÍSEK, Michal. The Vulnerability of the Production Line Using Industrial IoT Systems under DDoS Attack. In *Electronics*. Vol. 10, iss. 4 (2021), s. 1-32. ISSN 2079-9292 (2020: 2.397 - IF, Q3 - JCR Best Q, 0.360 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/electronics10040381 ; SCOPUS: 2-s2.0-85100446535 ; WOS: 000623355200001 ; CC: 000623355200001.

ADF Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

ADF01 JÁNOŠÍK, Ján - TANUŠKA, Pavol - VÁCLAVOVÁ, Andrea. Improving logistics processes in industry using web technologies. In *Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava*. Vol. 24, no. 39 (2016), s. 129-136. ISSN 1336-1589. V databáze: INSPEC.

ADF02 VÁCLAVOVÁ, Andrea - TANUŠKA, Pavol - JÁNOŠÍK, Ján. Data storing proposal from heterogeneous systems into a specialized repository. In *Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava*. Vol. 24, no. 39 (2016), s. 123-128. ISSN 1336-1589. V databáze: INSPEC.

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

AFC01 VÁCLAV, J. - ČARNOGURSKÁ, Mária - BRESTOVIČ, T. - SIVÁK, J. - VÁCLAVOVÁ, Andrea. Spent fuel transport container c-30 residual heat removal modeling. In *ANS IHLRWM 2017 : 16th International High-Level Radioactive Waste Management Conference: Creating a Safe and Secure Energy Future for Generations to Come - Driving Toward Long-Term Storage and Disposal. The Westin Charlotte 601 South College Street Charlotte; United States; 9 April 2017 through 13 April 2017*. 1. vyd : American Nuclear Society, 2017, S. 587-594. ISBN 978-089448742-2. V databáze: SCOPUS.

AFC02 VÁCLAVOVÁ, Andrea - KEBÍSEK, Michal. Integration of production line with the wonderware platform. In *Software Engineering and Algorithms in Intelligent Systems : Proceedings of the 7th Computer Science On-line Conference 2018 : Vol. 1*. 1. vyd. Cham : Springer, 2019, S. 208-215. ISSN 2194-5357. ISBN 978-3-319-91185-4. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85047934990 ; WOS: 000445094400022 ; DOI: 10.1007/978-3-319-91186-1_22.

AFC03 VÁCLAVOVÁ, Andrea - KEBÍSEK, Michal. Design of Virtual Model of Production Line Using Wonderware ArchestrA. In *INES 2018 [elektronický zdroj] : 22nd IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems 2018 : Las Palmas de Gran Canaria, Spain, June 21-*

23, 2018 : Proceeding. 1. vyd : IEEE, 2018, DVD-ROM, s. 000425-000430. ISBN 978-1-5386-1121-0. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85058033402 ; WOS.

AFC04 VÁCLAVOVÁ, Andrea - KEBÍSEK, Michal. Comparison of various NoSQL databases for unstructured industrial data. In Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems : 4th Computational Methods in Systems and Software, CoMeSySo 2020, 14.-17.10.2020, Vsetín, Czech Republic. 1. vyd. Cham : Springer, 2020, S. 921-930. ISSN 2194-5357. ISBN 978-303063321-9. V databáze: DOI: 10.1007/978-3-030-63322-6_79 ; SCOPUS: 2-s2.0-85098195122.

AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií

AFG01 VÁCLAVOVÁ, Andrea - BARTOŇ, Martin. Wonderware production line model and MES system creation for data analyzation. In Proceedings of the 11th International Doctoral Seminar (IDS 2019). 30th Central European Conference on Information and Intelligent Systems : 11th International Doctoral Seminar, Varaždin, Croatia, 3rd October 2019. 1. vyd. Varaždin : University of Zagreb, 2019, S. 1. ISBN 978-953-6071-67-8.

AFH Abstrakty príspevkov z domácich konferencií

AFH01 BRESTOVANSKÁ, Patrícia - VÁCLAVOVÁ, Andrea - VETEŠKA, Lukáš. Implementation of business intelligence in controlling of expenses and costs. In Days of management and economics students 2020 : 16.04.2020 - 17.04.2020, Bratislava, Slovensko. 1. vyd. Praha : TopSmart Business, 2021, S. 52-54. ISBN 978-80-908106-3-1.

Štatistika: kategória publikačnej činnosti

ADC	Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch	2
ADF	Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch	2
AFC	Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách	4
AFG	Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií	1
AFH	Abstrakty príspevkov z domácich konferencií	1
Súčet		10

Štatistika: kategória ohlasov publikačnej činnosti (k 31.5.2022)

1 – Citácie v zahraničných publikáciách, registrované v citačných indexoch Web of Science a databáze SCOPUS 13

3 – Citácie v zahraničných publikáciách neregistrovaných v citačných indexoch 3

Zoznam bibliografických odkazov

1. Müller, J., and K. I. Voigt. "Industry 4.0—integration strategies for small and medium-sized enterprises." *Proceedings of the 26th International Association for Management of Technology (IAMOT) Conference, Vienna, Austria*. 2017.
2. Graube, Markus, et al. "Linked Data as integrating technology for industrial data." *International Journal of Distributed Systems and Technologies (IJDST)* 3.3 (2012): 40-52.
3. Helo, Petri, et al. "Toward a cloud-based manufacturing execution system for distributed manufacturing." *Computers in Industry* 65.4 (2014): 646-656.
4. Sanderson, David, Jack C. Chaplin, and Svetan Ratchev. "Affordable data integration approach for production enterprises." *Procedia CIRP* 93 (2020): 616-621.
5. Sherman, Rick. *Business intelligence guidebook: From data integration to analytics*. Newnes, 2014.
6. MOLEX: *The state of Industry 4.0, survey says* [cit. 2022-02-11]. Dostupné na internete: <https://www.designworldonline.com/the-state-of-industry-4-0-survey-says/>
7. Liu, Yuntian, et al. "Application of Data Integration in Dataspace in Multi-value Chain Collaboration of Electric Power Manufacturing Industry." *2022 IEEE 25th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*. IEEE, 2022.
8. Rüßmann, Michael, et al. "Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries." *Boston consulting group* 9.1 (2015): 54-89.
9. Rapaccini, Mario. "Pricing strategies of service offerings in manufacturing companies: a literature review and empirical investigation." *Production Planning & Control* 26.14-15 (2015): 1247-1263.
10. Wonderware: Application Server. Training manual. Schneider Electric Software (2015)
11. PANTEK: *Aveva historian* [cit. 2021-11-10]. Dostupné na internete: https://www.pantek.cz/wp-content/uploads/docs/AVEVA-Historian_2021.pdf
12. PANTEK: *Aveva historian client* [cit. 2021-11-10]. Dostupné na internete: https://www.pantek.cz/wpcontent/uploads/docs/AVEVA_Historian_Client_Desktop_2021.pdf
13. AVEVA: *Process- simulation* [cit. 2022-01-14]. Dostupné na internete: <https://www.aveva.com/en/products/process-simulation/>