

UNIVERZITA KONŠTANTÍNA FILOZOFA V NITRE
FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED A INFORMATIKY

IMPLEMENTÁCIA MIKROKONTROLÉROV A
IOT V PRIEMYSLE
DIPLOMOVÁ PRÁCA

2024

Bc. Martin Krátky

UNIVERZITA KONŠTANTÍNA FILOZOFA V NITRE
FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED A INFORMATIKY

IMPLEMENTÁCIA MIKROKONTROLÉROV A IOT V
PRIEMYSLE
DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný odbor:	18. Informatika
Študijný program:	Aplikovaná informatika
Školiace pracovisko:	Katedra informatiky
Školiteľ:	doc. Ing. Štefan Koprda, PhD.

Nitra 2024

Bc. Martin Krátky

ZADANIE ZP

Zadanie ZP

ABSTRAKT

KRÁTKY, Martin: Implementácia mikrokontrolérov a IOT v priemysle. [Diplomová práca]. Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre. Fakulta prírodných vied a informatiky. Školiteľ: doc. Ing. Štefan Koprda, PhD. Stupeň odbornej kvalifikácie: Bakalár odboru Aplikovaná informatika. Nitra: FPVaI, 2024. s.

Abstrakt...

Kľúčové slová:

ABSTRACT

KRÁTKY, Martin: Implementation of microcontrollers and IOT in industry. [Master Thesis]. Constantine the Philosopher University in Nitra. Faculty of Natural Sciences and Informatics. Supervisor: doc. M.Eng. Štefan Koprda, PhD. Degree of Qualification: Bachelor of Applied Informatics. Nitra: FNSaI, 2024. p.

The abstract...

Keywords:

OBSAH

Implementácia mikrokontrolérov a iot v priemysle	2
Zadanie ZP	3
ABSTRAKT	4
ABSTRACT.....	5
Obsah	6
Zoznam ilustrácií a tabuliek	8
Úvod	9
1Analýza súčasného stavu	10
1.1Predchádzajúce priemyselné revolúcie.....	10
1.2 Industry 4.0	12
1.3Internet vecí	15
1.4Smart factory	22
1.5Odpadový priemysel.....	24
1.5.1Triediace linky	25
1.5.2Dopravné pásy	27
1.6Related Works	27
2Ciele záverečnej práce	29
3Návrh a metodika.....	30
3.1Triediaca linka	30
3.1.1Návrh triediacej linky	30
3.1.2Návrh dopravného pásu	30
3.1.3Vytvorenie triediacej linky	30
3.2Opis vybraného hardvéru	30
3.2.1Arduino UNO rev2 wifi.....	30
3.2.2Senzor farby TCS230	31
3.2.3Senzor vzdialenosti HC-SR04.....	37
3.2.4DC motor	37
3.3Schéma zapojenia	37
3.4Databázový systém.....	37
3.4.1Firebase.....	37
3.4.2Vytvorenie databázy	37
3.4.3Nastavenie databázy	37

3.5 Mobilná aplikácia	37
3.5.1 MIT App Inventor 2	37
3.6 Prepojenie	37
3.6.1 Prepojenie mikrokontroléra s databázou	37
3.6.2 Prepojenie databázy s aplikáciou.....	37
3.7 Výsledné zapojenie.....	37
3.7.1 Hardvérová časť	37
3.7.2 Softvérová časť	37
3.8 Testovanie.....	37
4 Výsledky.....	38
Záver	39
Zoznam bibliografických odkazov	40

ZOZNAM ILUSTRÁCIÍ A TABULIEK

obrázky

1. <https://epale.ec.europa.eu/de/node/150292>
2. <https://sci-hub.se/10.1007/s11235-017-0345-9>
3. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/7/1821>
4. <https://sci-hub.se/10.1016/j.resconrec.2016.09.020>
5. https://elekzone.com/index.php?route=product/product&product_id=128

Tabuľky

1. Porovnanie atribútov modelov Arduina UNO a Raspberry pi 4
2. Tabuľka 2 Nastavenie pinov S0 a S1 senzora TCS230
3. Tabuľka 3 Nastavenie pinov S2 a S3 senzora TCS230
- 4.

ÚVOD

V úvode

1 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

V tejto kapitole si povieme o veciach, ktoré úzko súvisia s danou témou. Ako prvé si definujeme všetky minulé priemyselné revolúcie. Predstavíme si ich základné charakteristiky a ich prínos. Ako ďalšie si definujeme pojem Industry 4.0. Následne prejdeme hlbšie do tejto problematiky a zameriame sa na aspekty, ktoré tvoria základy, na ktorých je dnešná priemyselná revolúcia postavená. Predovšetkým sa budeme zapodievať internetom vecí (ang.: Internet of Things, IoT), ktorý je veľmi dôležitý v dnešnom priemysle a je zároveň predmetom záujmu tejto diplomovej práce. Spolu s IoT si predstavíme aj ďalšie časti I4.0, ktoré v našej práci budeme neskôr potrebovať ako je kyberneticko - fyzikálne systémy a smart factory. Na záver si priblížime problematiku odpadového priemyslu a ako ho môžu ovplyvniť triediace linky s využitím dopravníka.

1.1 PREDCHÁDZAJÚCE PRIEMYSELNÉ REVOLÚCIE

Prvá priemyselná revolúcia

Prvá priemyselná revolúcia sa začala v roku 1760 a trvala až do roku 1820-1840. Prvou krajinou, ktorá sa zapríčinila o vznik tejto revolúcie bola Británia a neskôr sa jej myšlienka rozrástla do celej Európy a taktiež do Severnej Ameriky. Ešte pred začatím tejto revolúcie bola vodná para pre ľudí známa no za najväčší prelom sa považuje jej využitie pri zavedení mechanizácie. Keďže bola vodná para viac a viac žiaduca, začali sa nahrádzať rôzne materiály potrebné pri jej výrobe. Tak isto začala nahrádzať aj manuálna práca za mechanickú. Nastal rozvoj pracovných sektorov ako textilná výroba, výroba skla, spracovanie surového železa, ťažobný a chemický priemysel, výstavba ciest, železníc a kanálov. Celkový rozvoj, ktorý nastal v prvej priemyselnej revolúcii postavil základy priemyslu ako takého a umožnil postup nasledujúcim éram (Bahrin a spol, 2016; Vinitha a spol, 2020).

Druhá Priemyselná revolúcia

Druhá priemyselná revolúcia trvala približne od konca 19. storočia do začiatku 20. storočia. Za najväčší prínos sa považuje rozvoj masovej výroby a montáž prvých

pracovných liniek kde sa po prvý krát začali využívať olej, plyn a elektrická energia (odkaz na: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>).

Lepšie spracovanie a využitie nových materiálov malo za následok zvýšenie produktivity a efektivity. Okrem industriálneho sektora sa začala rozvíjať telekomunikácia. Práve tu sa začali formovať prvé príznaky prepojenia ľudí medzi sebou. Komunikácia za pomoci telefónov a telegramov dokázala spojiť ľudí aj na dlhé vzdialenosti. Manažment sa začal rozvíjať s príchodom modernejších bánk a novovzniknutých firiem. Zaviedli sa nové metodiky a biznis stratégie čo viedlo k základom moderného biznis manažmentu (Duarte a spol, 2018).

Tretia priemyselná revolúcia

Tretia priemyselná revolúcia sa začala v druhej polovici minulého storočia. Tiež označovaná ako digitálna revolúcia, priniesla veľký pokrok vo všetkých aspektoch výroby a zaviedla pojem automatizácia. Základom tejto éry boli zavedenie do prevádzky prvé počítače, pokročilá telekomunikácia a sofistikovaná dátová analýza. Ďalšie nové pojmy programovanie spolu s miniaturizáciou priniesli prvé programovateľné logické automaty (PLC) (odkaz na: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>).

PLC hrali významnú rolu v priemysle keďže zaviedli veľké množstvo automatizovaných procesov s veľkou presnosťou a rýchlosťou vo výrobe. Ďalšou výhodou spojenia PLC a počítačov bola možnosť efektívneho zbierania informácií a dát, ktoré bolo možné ukladať a spracovať. Analyzované dáta sa vďaka pokročilej telekomunikácií mohli posilať za krátku dobu v obrovskom množstve. Tretia priemyselná revolúcia týmto vytvorila samotný koncept *smart factory* (Schuh a spol, 2014).

Ak sa pozrieme späť na všetky minulé priemyselné revolúcie, je jasné, že každá z nich bola niečím špecifická a priniesla niečo nové do svojej a budúcej epochy. Či už to bola mechanizácia v prvej priemyselnej revolúcii, elektrická energia v druhej alebo informačné technológie v tretej (Sajadieh, Son a Noh, 2022). Každá z nich postavila základy pre tú ďalšiu.

1.2 INDUSTRY 4.0

Štvrtá priemyselná revolúcia, tiež označovaná ako Industry 4.0, je stále pomerne nový pojem, ktorý sa snaží si osvojiť stále viac a viac väčších ale aj menších spoločností. Ide o globálny rozvoj, ktorý sa skladá z mnohých častí a preto ho každý vníma z iného uhla pohľadu. Aj keď sa jednotlivé definície autorov zhodujú na tom, čo vlastne Industry 4.0 predstavuje, ich názory sa pomerne odlišujú v najhlavnejších cieľoch tejto revolúcie a v smere, ktorým by mala pokračovať.

Podľa Gilchrista (2016) je Industry 4.0 masívny rozvoj výroby produktov v továrňach, priemysloch a závodoch, ktorý vedie k efektivite, produktivite a flexibilitě celkového hodnotového reťazca. Ide o nepretržite rastúci potenciál starých ale predovšetkým nových technológií, ktorý neovplyvňuje len priemyselný faktor, ale aj mestá, firmy, inštitúcie, školstva či jednotlivé a samostatné domácnosti. Cieľom 4. priemyselnej revolúcie je spojiť priemysel ako taký do globálnych sietí, ktoré budú súčasťou kyberneticko-fyzikálnych systémov. Stroje, výrobné továrne a sklady pripojené k týmto systémom budú riadené inteligentne prostredníctvom navzájom zdieľaných informácií. Celý tento proces spojenia a zdieľania informácií vedie k vylepšeniu industriálnych procesov. Tieto procesy následne ovplyvňujú základy priemyslu ako je inžinierstvo, získavanie a využívanie materiálov, zásobovanie a riadenie životného cyklu produktu. Tieto základy sú tiež známe ako hodnotový reťazec a Industry 4.0 ho svojím vplyvom enormne zlepšuje. (Awan, Sroufe a Bozan, 2022; Strange a Zucchella, 2017)

Podstata Industry 4.0 nepriniesla len zdokonalenie výroby či technológií ako takých, ale aj nový pohľad na procesy vedúce k samotným výsledným produktom. To znamená, že súčasná priemyselná revolúcia sa nezameriava len na zlepšenie celej priemyselnej výroby, ale takisto sa snaží upresniť a zdokonaľiť samotný životný cyklus výsledných produktov a služieb.

Obrázok 1 ukazuje definíciu Industry 4.0 ako novú úroveň životného cyklu produktu, ktorý je zameraný na stále väčšie individuálne požiadavky zákazníkov. Tento cyklus sa začína nápadom produktu, pokračuje vývojom a výrobou, až po dodanie produktu koncovému zákazníkovi a čo je veľmi podstatné, zahŕňa finálne stavy produktu, do ktorých spadá recyklácia a likvidácia a všetky služby, ktorú sú s nimi spojené. (PWC, 2016).



Obrázok 1 Životný cyklus produktu

Industry 4.0, podobne ako veľa iných technológií v súčasnom storočí, nie je kompletne od základov založený na úplne novom kontexte, ale ide skôr o oživenie starších ideí, ktoré využívajú novo vzniknuté a navrhnuté technológie. Bližšie povedané, Industry 4.0 je v podstate opätovný prístup k výrobe, ktorá využíva najnovšie technologické postupy, nápady a vynálezy, konkrétne, spája systémové, informačné a komunikačné technológie. Tieto technológie silno podporujú pojmy ako sú automatizácia či digitalizácia v továrňach alebo výrobných závodoch. Primárnym cieľom je efektívne sledovať a dohliadať na celý hodnotový reťazec tak, že sa pozornosť zameria na efektívnosť procesu výroby a jej výsledkom budú produkty a služby najvyššej kvality (Gilchrist, 2016).

Spomenuté definície sa nakláňajú k názoru, že Industry 4.0 je zameraný prevažne na industriálny sektor, v ktorom ide o vytvorenie, nasadenie, prepojenie, riadenie a automatizovanie najnovších technológií za účelom zlepšenia celkového hodnotového reťazca. Hodnotový reťazec sa pritom zameriava prevažne na životný cyklus výrobného produktu a služieb, ktoré sú s ním spojené. To znamená, že Industry 4.0 vo výsledku posúva výrobné procesy dopredu a tým zvyšuje štandard výrobných spotrebiteľských produktov.

Z toho vyplýva, že nasadenie automatizácie a informačných systémov, ako sú plánovanie podnikových zdrojov (ang.: enterprise resource planning, ERP) alebo výrobný informačný systém (ang.: manufacturing execution system, MES) hrajú hlavnú

rolu pri zvyšovaní produktivity tovární. Napriek tomu súčasný stav industriálneho priemyslu čelí mnohým veľkým a závažným problémom (Wang a spol, 2016).

Koncový zákazníci a spotrebitelia sú čím ďalej, tým viac náročnejší a vytvárajú stále čo raz väčšie osobitné požiadavky na služby a produkty. Ďalej je tu otázka životného prostredia a neobnoviteľných prírodných zdrojov. Industriálna výroba má obrovský dopad na životné prostredie a jej následky môžeme vidieť na globálnom otepľovaní a znečistení životného prostredia. Spotreba neobnoviteľných prírodných zdrojov ako ropa, uhlie či zemný plyn sa stále zvyšuje a ľudská pracovná sila sa znižuje. Preto je nutné, aby industriálne procesy dosiahli vysoký stupeň flexibility a efektívnosti a zároveň zmenšili spotrebu energie a nákladov (Wang a spol, 2016). Podobnému konceptu sa prikláňajú aj (Mavkhot a spol. 2021), ktorý dodal: “Príchod štvrtej priemyselnej revolúcie z pokroku niekoľkých technológií je vnímaný nie len ako podpora ekonomického rastu, ale tiež ako možnosť zelenejšej budúcnosti.“

Ako sme mohli vidieť v spomenutých definíciách, pojem Industry 4.0 je naozaj chápaný rôznymi spôsobmi a každý má svoje predstavy o tom, aké ciele by mali byť preň prvoradé. Na základe týchto faktov môžeme povedať, že I4.0 sa skladá z viacerých technológií, kde každá z nich tvorí rovnako dôležitú časť. (Rupp a spol, 2021) vo svojej publikácii identifikovali na základe literárneho výskumu tieto kľúčové technológie:

- Internet vecí (ang.: Internet of Things, IoT),
- Kyberneticko-fyzikálne systémy (ang.: Cyber Physical Systems, CPS),
- Cloud Computing,
- Systém veľkých dát (ang.: Big Data System, BDS),
- Adaptívny robot (ang.: Adaptive Robot, AR),
- Umelá inteligencia (ang.: Artificial Intelligence, AI),
- Adaptívna výroba (ang.: Adaptive Manufacturing, AM),
- Virtuálna realita (ang.: Virtual Reality, VR).

Každá vyššie spomenutá časť Industry 4.0 má široké spektrum možností a využití, ako v súčasnej dobe, tak aj v budúcej. Osvojenie a kombinácia týchto technológií sú kľúčové pre dosiahnutie automatizovaných a inteligentne riadených systémov. Práve preto sa budeme v ďalších podkapitolách ďalej zaoberať definíciami a rozdelením niektorých značných častí ako je IoT, CPS a cloud computing.

1.3 INTERNET VECÍ

Internet vecí nepochybne patrí do trendov dnešnej doby. Niektorí si dokonca myslia, že ide o najväčší z nich. (Burrus, 2014) je jeden z týchto autorov, ako odkazuje v jednom zo svojich článkov: “Zo všetkých technologických vzorov, ktoré sú momentálne dostupné na trhu je IoT pravdepodobne ten najväčší. Práve IoT prinesie v niekoľkých nasledujúcich rokoch najviac zlomov, ako aj najviac príležitostí”.

Internet vecí sa ukázal ako dominantná technológia, ako vo svete ľudí, tak aj vo svete zariadení. Preto je veľmi dôležité, aby sa správne zadefinoval a bol pochopený. Nanešťastie v tomto modernom a rýchlom tempe, v ktorom sa nachádzame je pomerne ťažké sa zhodnúť na jednej určitej definícii tak rozsiahleho konceptu. Preto je vhodné uviesť niekoľko rôznych článkov, ktoré ukazujú na základné pojmy, ktoré patria do danej problematiky.

Internet vecí, tiež známy z anglického názvu Internet of Things alebo IoT reprezentuje integráciu internetového pripojenia, ktoré rozširuje samo-nastavovacie objekty vybavené senzormi. Tento koncept spája inteligentné zariadenia do jednej siete, v ktorej môžu navzájom komunikovať. Popularita IoT je v tom, že postupne zužuje hranice medzi fyzickým a virtuálnym svetom. Pritom sem nepatria len smartfóny a im podobné zariadenia, ale aj výroba autonómnych áut, stavba inteligentných miest, predmety na nosenie ako hodinky či okuliare alebo monitorovanie životných funkcií a zdravotného stavu (Mahmood, 2019).

Autor (Kiran, 2019) vo svojej knihe uviedol podobnú definíciu, no pridal k nej svoju myšlienku. IoT je sieťové pripojenie fyzických zariadení, vozidiel, tiež označované ako pripojené alebo inteligentné zariadenia, budov, miest a ďalších vecí ovplyvnených elektrotechnikou, softvérom, senzormi, akčnými členmi, vysokofrekvenčnou identifikáciou (ang.: Radio Frequency Identification, RFID) a internetovým pripojením za účelom zbierania a výmeny dát.

IoT je jeden z nosných pilierov, na ktorom je postavená moderná industriálna revolúcia. Ide pritom o ďalší široký pojem, ktorý sa člení na viac technológií a tým pádom má viac rôznych definícií. Autori, ktorí sa orientujú v prostredí IoT na dennej báze opísali tento pojem vlastnými slovami a myšlienkami, v ktorých sa často v úvodoch zhodujú, no v závere sú odlišné.

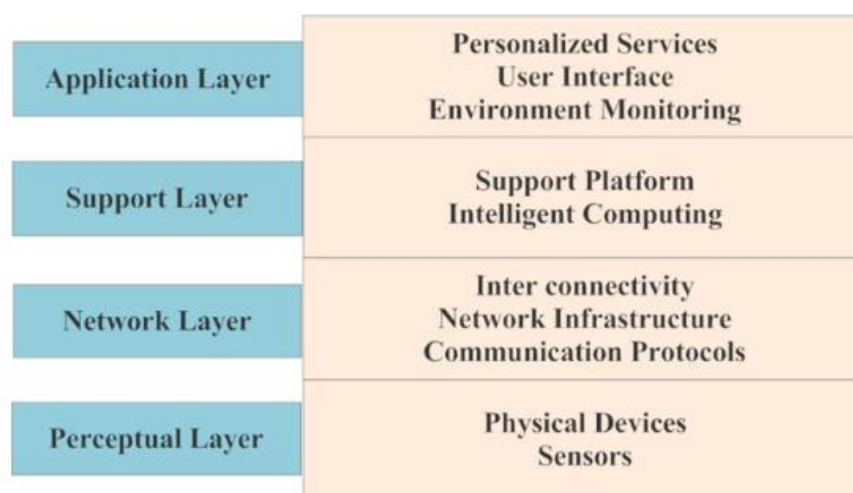
Rozdelenie IoT sa ukázalo byť ďalším širokým pojmom, v ktorom môžu nastať rozdiely. (Ray, 2015) rozdelil internet vecí do funkčných blokov, kde každý jeden blok

poskytuje určitý servis, ako napr.: identifikácia, vnímanie alebo komunikácia. Medzi tieto funkčné bloky patrí:

- Zariadenie: celý systém internetu vecí je založený na zariadeniach, ktoré poskytujú rôzne služby, ako sú kontrola, monitorovanie, ovládanie a pod. Pokiaľ sú zariadenia navzájom prepojené, môžu si vymieňať a zdieľať dáta. Taktiež môžu dáta zbierať, spracovávať alebo uchovávať. Všetko sa to deje lokálne alebo zariadenia posielajú tieto dáta na vzdialené servery a konečné cloud-ové aplikácie. Všetko to závisí od konkrétneho zariadenia a od určitých faktorov, ako sú dostupná pamäť zariadenia, rýchlosť spracovania úloh, kapacita, komunikácia a latencia. Zariadenie, ktoré je súčasťou internetu vecí, môže komunikovať drôtovo ale aj bezdrôtovo prostredníctvom rôznych vrstiev, ako vstupy/výstupy, internetové rozhranie alebo audio/video. Medzi takéto klasické zariadenia môžeme považovať inteligentné hodinky, ktoré majú v sebe zabudované veľké množstvo senzorov, LED svetlá ovládané na diaľku alebo továrenské výrobné stroje.
- Komunikácia: komunikačný blok zabezpečuje spojenie medzi zariadeniami alebo vzdialenými servermi. Táto komunikácia všeobecne prebieha na 4 vrstvách, spojová, sieťová, transportná a aplikačná.
- Služby: systém internetu vecí poskytuje značné množstvo služieb, ako je kontrola a modelovanie zariadení, dátová manipulácia (zbieranie, zdieľanie, spracovanie, analýza).
- Manažment: manažmentový blok zabezpečuje ovládanie a manipuláciu so zariadeniami.
- Ochrana: jeden z najdôležitejších funkčných blokov internetu vecí. Ochrana je zabezpečená autentifikáciou, autorizáciou, správou súkromia, integritou správ a dátovou ochranou.
- Aplikácia: najdôležitejšia časť internetu vecí z používateľského hľadiska, pretože má za úlohu predstavovať rozhranie, ktoré komunikuje s používateľom a poskytuje mu potrebné možnosti na ovládanie a monitorovanie systémov a zariadení.

Ďalší autori sa pozerajú na rozdelenie IoT z pohľadu všeobecnej architektúry, ktorá v sebe obsahuje vyššie spomenuté bloky. Architektúra IoT sa skladá z týchto

vrstiev. Senzorová alebo vnímavá, sieťová a aplikačná vrstva pričom každá z týchto vrstiev nie je zodpovedná len sama za seba, ale v určitých prípadoch sa môžu aj prekrývať (Gaikwad, Gabhane a Golait, 2015; Lin a spol., 2017). Publikácie autorov (Ali, Sabir a Ullah, 2016) a (Suo a spol., 2012) opisujú architektúru rovnakými vrstvami s jedným rozdielom, ktorý je zobrazený na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 2 4-vrstvová architektúra IoT

Značná časť ľudí, pracujúcich v tomto obore sa zhodla, že architektúra internetu vecí sa neskladá z troch ale štyroch vrstiev ako môžeme vidieť na obrázku 2. Vplyvom veľkých dát a zhromažďovaniu značného množstva informácií sa do systémov začali čoraz viac implementovať databázy, dátové sklady, cloud computing a s nimi spojená práca s dátami. To zapríčinilo zväčšovanie priepasti medzi sieťovou a aplikačnou vrstvou. Preto sa do architektúry zakomponovala podporná vrstva (ang.: Support Layer). Význam každej spomenutej vrstvy si uvedieme nižšie.

Senzorická vrstva

Senzorická vrstva, tiež známa ako vrstva vnímania (ang.: Perception Layer), je tvorená fyzickými vstupnými perifériami ako sú senzory, GPS, akčné členy alebo RFID. Úlohou týchto periférií je získavať, zbierať a spracovávať informácie zo svojho

okolía a poskytovať dáta vyšším vrstvám. Zariadenia na tejto vrstve majú kvôli nízkej spotrebe energie obmedzené zdroje, veľmi malú výpočtovú silu a kapacitu (Kumar, Vealey a Srivastava, 2016; Mahmoud a spol., 2016).

Sieťová vrstva

Sieťová vrstva (ang.: Network Layer) zodpovedá za bezpečnú komunikáciu a prepojenie medzi ostatnými vrstvami. Jej hlavným cieľom je preposielať informácie získané senzorickou vrstvou do vyšších vrstiev. Komunikácia sa pritom zabezpečuje rôznymi sieťami ako je internet, mobilné komunikačné siete, satelity, bezdrôtové siete a protokolmi. Ako komunikačné technológie sa používajú Bluetooth, WiFi, Zigbee, LTE a iné. Internet vecí je definovaný práve prvými dvoma vrstvami (Adat a Gupta, 2018; Lin a spol., 2017; Suo a spol., 2012).

Podporná vrstva

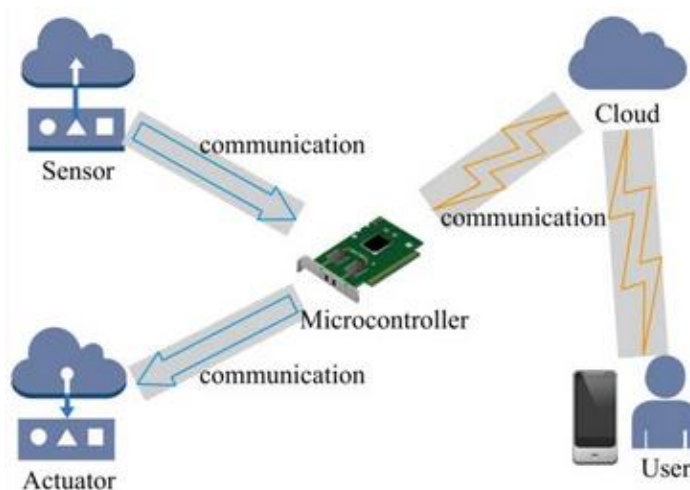
Mnohé publikácie vrátane autorov (Ali, Sabir a Ullah, 2016) a (Suo a spol., 2012) vnímajú veľkú medzeru medzi sieťovou a aplikačnou vrstvou. Dáta, ktoré sa zbierajú pomocou senzorov a posielajú cez internet, sa musia ukladať na určité miesto, kde k nim majú zariadenia aplikačnej vrstvy prístup a môžu ich spracovávať alebo interpretovať. Práve podporná vrstva sa stará o manipuláciu s veľkými dátami. Technológie ako cloud computing alebo fog computing zabezpečujú ukladanie nameraných dát, vykonávajú nad nimi inteligentné operácie, filtrujú ich a môžu vytvárať predikcie a rozhodovania. Technológie podpornej vrstvy musia byť veľkokapacitné, rýchle, presné a spoľahlivé (Adat a Gupta, 2018; Bonomi a spol., 2012).

Aplikačná vrstva

Vrchná časť architektúry a z pohľadu používateľa je najdôležitejšia. Autori (Mahmoud a spol., 2016) vo svojej publikácii hovoria, že: “aplikačná vrstva garantuje autentickosť, integritu a dôveryhodnosť dát. Význam IoT alebo tvorba inteligentného prostredia sa dosahuje na tejto úrovni.” Rozhranie pre koncových používateľov je

personalizované pre potreby zákazníka a tvorené rôznym počtom aplikácií, ktoré sú prístupné pomocou osobných počítačov, smartfónov, tabletov a iných zariadení využívajúcich systém internetu vecí. Pritom spomenuté zariadenia nemusia fungovať len ako výstup pre používateľa. Monitorovaním výstupu je možné následné riadenie systémov, čo môžeme chápať ako spätnú väzbu používateľa. Typickým príkladom, kde aplikačnú vrstvu je možné vidieť v praxi, sú inteligentné zariadenia, autá, domy, mestá či továrne (Adat a Gupta, 2018; Atzori, Iera a Morabito, 2010; Kumar, Vealey a Srivastava, 2016; Suo a spol., 2012).

Pokiaľ by sme sa však rozhodli použiť takúto architektúru v reálnom, komplexnom projekte, narazili by sme na niekoľko problémov. Ako sme spomenuli vyššie, minimálna definícia internetu vecí sa skladá zo senzorickej a sieťovej vrstvy. To znamená, že IoT sa skladá z fyzických objektov, ktoré by mali medzi sebou vzájomne komunikovať a spolu vytvárať sieť elektronických zariadení, využívajúcich automatický zber a prenos dát. Takáto vzájomná spolupráca sa tiež nazýva komunikácia stroja k stroju (ang.: Machine to Machine, M2M). Avšak kvôli nedostatkom štandardizovaných komunikačných protokolov je M2M náročné implementovať do reálnych prepojení (Wu, Qiu a Zhang, 2020).



Obrázok 3 Systém internetu vecí

Preto sa často používajú mikrokontroléry alebo mikropočítače ako prostredný element na komunikáciu medzi fyzickými zariadeniami, cloud technológiami a koncovými používateľmi. Na obrázku 3 je zobrazená 4-vrstvová architektúra internetu

vecí s využitím mikrokontroléra. Mikrokontrolér môžeme tiež chápať ako stred systému, ktorý spája všetky fyzické senzory, získava z nich dáta a na základe toho posiela signál do akčných členov (Wu, Qiu a Zhang, 2020). Mikrokontroléry a mikropočítače našli uplatnenie od jednoduchých domácich či školských projektov až po masívne závody a haly rôznych druhov. Za najznámejšie a najpoužívanejšie z nich sa považujú Arduino a Raspberry Pi (Hosny a aspol., 2023; Tukhtanazarovich, 2021).

Arduino

Arduino je voľne dostupná (ang.: open - source) elektronická platforma, ktorá sa stala populárna medzi každým, kto pracuje na interaktívnych hardvérových a softvérových projektoch. Na trhu je hneď niekoľko druhov Arduino dosiek ako napr. Uno, Due, Mega či Nano. Nedá sa presne určiť, ktoré Arduino je všeobecne najlepšie, pretože každý projekt je iný a vyžaduje rôzny počet funkcií, vstupov, výstupov a ďalších atribútov. (Kondaveeti a spol., 2021; Moharkar a spol., 2022).

Je nutné si uvedomiť, že arduino je mikrokontrolér a nie mikropočítač. Neobsahuje v sebe žiadny operačný systém. Arduino vykonáva pokyny, ktoré sa zvyčajne píše v programovacom prostredí Arduino IDE (ang.: integrated development environment) v jazyku C (Ravikiran, 2023). Súčasťou kódu sú 2 hlavné funkcie, setup() a loop(). Prvá funkcia sa vykoná len raz a to hneď po spustení a druhá funkcia má formu cyklu, ktorý sa deje stále dokola až kým neprerušíme napájanie (Kurniawan a spol., 2020).

Raspberry Pi

O Raspberry Pi sa hovorí ako o malých, cenovo dostupných počítačoch s vlastným procesorom, pamäťou, grafikou a operačným systémom. Konektory, umiestnené priamo na doske, sa pripájajú na monitor a klávesnicu, z ktorých je možné pristupovať k operačnému systému. Rovnako ako Arduino, aj Raspberry Pi má mnoho verzií hardvéru, kde určité verzie sa môžu ďalej rozdeľovať podľa veľkosti pamäte (ang.: random – access memory, RAM) (Hosny a aspol., 2023; Ravikiran, 2023).

Mikrokontroléry a mikropočítače disponujú veľkým množstvom atribútov, na ktoré by sa mali používatelia pri výbere vhodnej dosky pozerat'. Preto sme v tabuľke 1 uviedli niekoľko z nich na porovnanie, ako sú technické, fyzické a finančné parametre. Za porovnávané dosky sme zvolili pomerne nové a známe Arduino UNO WiFi REV2 a Raspberry pi 4 model B 2GB.

Tabuľka 1 Porovnanie atribútov modelov Arduina UNO a Raspberry pi 4

Atribúty	Arduino UNO WiFi REV2	Raspberry pi 4 model B 2GB
Licencia	Open - source	Open - source
Konektor	USB - B	USB – C, ethernet
Komerčná cena (€)	56,60	63,90
Originálna cena (€)	46,70	52,25
Dostupnosť	Veľká	Malá
WiFi	Áno	Áno
Bluetooth	Áno	Áno
GPIO	-	40
I/O piny - PWM	14 - 5	-
Digitálne piny	14	-
Analógové piny	6	-
Napájanie (V)	3,3 - 5	3,3 - 5
Procesor	ATmega4809	BCM2711
Výkon	16 MHz	1,8 GHz
Pamäť	48 KB	2 GB
Operačný systém	-	Raspberry Pi OS, Linux
Rozmer (mm)	68,6 x 53,4	85 x 56
Hmotnosť (g)	25	45

Ceny zariadení sme rozdelili na 2 časti. Komerčná cena predstavuje cenu, ktorá je uvedená vo voľne dostupnom e – obchode (<https://techfun.sk/>). Originálna cena je cenu, ktorú zaplatíme, ak sa zariadenie kúpi v oficiálnom e - obchode. V oboch prípadoch je na tom lepšie Arduino UNO. Pokiaľ sa však pozrieme na technické atribúty dosiek, Raspberry Pi vyniká v počte I/O, v celkovom výkone aj vo veľkosti pamäti.

Arduino je vďaka svojej cene a dostupnosti všeobecne vhodné na nenáročné projekty, pre ktoré je vyhradený rozpočet. Tak isto je veľmi ľahko programovateľné, a to prostredníctvom arduino programového rozhrania (ang.: Arduino Integrated

Development Environment, IDE), kde napísaný kód (ang.: Sketch) môžeme nahráť na dosku s pomocou USB-B prepojenia. Výhodou práve tohto modelu je rozhranie Bluetooth (ang.: Bluetooth Low Energy, BLE) a WiFi modul s integrovaným TCP/IP protokolom, takže dosku je možné napojiť na internetovú sieť alebo z nej spraviť prístupový bod bez použitia dodatočných modulov (Arduino.cc, 2021).

Za nevýhody arduina môžeme považovať jeho limitovanú pamäť a počet vstupných a výstupných pinov. Pokiaľ by sa používateľ zameral na komplexnejšie projekty, kde výkon, pamäť a počet pinov hrajú hlavnú rolu, Raspberry Pi by bolo vhodnejšou voľbou (Rpishop.cz, 2023).

1.4 SMART FACTORY

Za posledné 2 dekády prešiel industriálny sektor mnohými zmenami od zásobovania až po dodávanie. S prichádzajúcimi zmenami prišli aj nové výzvy, ktorým boli výrobné spoločnosti nutne čeliť, aby boli schopné udržať sa na trhu. Zmeny sa netýkali len pracovných postupov alebo nových technológií, ale aj výsledných produktov a požiadaviek zákazníkov (Gligor a Holcomb, 2012). Na jednej strane, spotrebitelia kladú čo raz konkrétnejšie a osobnejšie požiadavky na výsledný tovar. Na druhej strane sa množstvo žiadaných produktov stále znižuje. To oponuje masívnym výrobám rovnakých produktov (Gaub, 2016; Mabkhot a spol., 2018).

Na to, aby boli spoločnosti schopné konkurovať svojím oponentom, musia vyrábať produkty v malých dávkach a s konkrétnejšími parametrami. Spoločnosti si musia zachovať ponúkaný štandard, no zároveň musia vyrábať tovar za krátky čas a čo je hlavné, musia znížiť náklady. Na to, aby boli schopný splniť tieto požiadavky, mali by byť funkčný, presný, flexibilný a pravidelne komunikovať ako so zákazníkmi, tak aj s dodávateľmi. S narastajúcim počtom služieb sa môže stať štruktúra spoločnosti komplexná a neprehľadná (Mabkhot a spol., 2018; Schumacher, Erol a Sihni, 2016).

Práve preto sa za posledné roky zvýšil záujem o nové technológie ako *Cloud Computing*, *Internet of Things*, *Cloud Manufacturing*, *Big Data Systems*, *Cyber-Physical Systems*, *Digital Twin*, *Artificial Intelligence* alebo virtualizácia. Kombináciou týchto technológií je možné získať namerané dáta a efektívne s nimi zaobchádzať. Poskytnuté informácie sa ďalej môžu využiť na sledovanie stavu strojov, výroby či zamestnancov alebo predvídať potenciálne odchýlky, chyby a straty a podniknúť kroky

k ich prevencií (Adamson, Wang a Moore, 2017; Kajati a spol., 2019; Soori, Arezoo a Dastres, 2023).

Výrobné priemysle a spoločnosti, ktoré využívajú kombináciu spomenutých technológií, sa nazývajú inteligentnými továrňami (ang.: Smart Factory) a sú považované za srdce Industry 4.0 (Herrmann, 2018). Práve teraz prechádza veľké množstvo firiem a spoločností transformáciou, v ktorej menia tradičné metódy výroby na inteligentné tým, že pripájajú zariadenia do sietí, zbierajú informácie, ktoré následne analyzujú, vyhodnocujú a používajú na rozhodovanie, ovládanie a riadenie (Liao a Wang, 2019).

Na to, aby boli spoločnosti pripravené na túto transformáciu, je nevyhnutné aby pojmu *smart factory* správne porozumeli. Autori (Shi a spol., 2020) však vo svojej publikácii uviedli, že jednoznačná, konzistentná a zdieľaná definícia *smart factory* nebola určená a tým pádom neexistuje. Preto je vhodné pozrieť sa niekoľko rôznych článkov, kde autori opisujú inteligentnú továreň svojimi vlastnými slovami a snažia sa zdefinovať tento pojem.

(Strozzi a spol., 2017) hovoria o *smart factory* ako o kľúčovej časti Industry 4.0. Zavedením inteligentných technológií a zariadení, informačných a komunikačných technológií a sieťovej infraštruktúry sa výroba stáva rýchlejšia, efektívnejšia, bezpečnejšia, stabilnejšia a menej škodlivá pre životné prostredie. Inteligentné továrne dokážu lepšie spracovávať zdroje od dodávateľov, ponúkať lepšie produkty a služby a znížiť náklady prevádzky. *Smart factory* môže byť zložená s inteligentných zariadení ako mobilné zariadenia, stroje alebo senzory, ktoré sú súčasťou internetu vecí. Ďalej môže obsahovať *cloud computing* kde sa nazbierané dáta uchovávajú, spracúvajú a vyhodnocujú alebo *digital twin*, ktoré s pomocou dát a strojového učenia vytvárajú simulácie, ktoré môžu varovať pred potenciálnymi chybami (Friederich a spol., 2022).

Iné definície sú založené na myšlienke, že inteligentné továrne sú tvorené kyberneticko-fyzikálnymi systémami (ang.: Cyber Physical Systems, CPS) kde fyzické zariadenia ako senzory, stroje alebo akčné členy poskytujú informácie kybernetickým systémom ako sú databázy, simulácie alebo aplikácie. Inými slovami, inteligentné továrne spájajú kybernetické a fyzické technológie do jednej komplexnej, precíznejšej, kvalitnejšej a ovládateľnejšej technológie (Chen a spol., 2018; Shi a spol., 2020, Wang a spol., 2016).

(Park, 2016) definuje inteligentnú továreň ako hyper - prepojený sieťový integrovaný systém, ktorý s pomocou internetu čerpá všetky informácie zo svojho okolia v reálnom čase. Disponuje vysokým stupňom autonómie, ktorá umožňuje vykonávať bezproblémové zmeny výrobných procesov, substitúciu surových materiálov a implementáciu optimalizovaných dynamických produktívnych modelov.

Podľa spomenutých definícií môžeme za inteligentnú továreň považovať prepojenia tvorené zariadeniami na získavanie dát a modely vyhodnocujúce dáta. Je nutné dodať, že každá časť musí byť vzájomne prepojená, a to pomocou internetovej alebo inej siete. Systém by zároveň mal byť oslobodený od akéhokoľvek ľudského zásahu. Inteligentnú továreň je možné implementovať v každom priemysle, od ťažobného až po odpadový. V ďalšej podkapitole nadviažeme práve na odpadový priemysel, a ako je možné zrýchliť a zefektívniť triediace linky zamenením ľudskej pracovnej sily za nové technológie.

1.5 ODPADOVÝ PRIEMYSEL

Spracovanie odpadu v sebe zahŕňa komplexnú kontrolu nad zberom, prepravou, spracovaním, likvidáciou a dohľad nad vzniknutými odpadovými materiálmi. Termín spracovania odpadu sa najčastejšie vzťahuje na látky a materiály vytvorené ľudskou činnosťou. Celý proces odpadového managementu sa uskutočňuje predovšetkým s cieľom zmierniť jeho nechcený a nepriaznivý vplyv na životné prostredie, verejné zdravie a ďalšie etické aspekty. Nesprávne zaobchádzanie s akoukoľvek formou odpadu môže mať za následok kontamináciu vody, znečistenie pôdy a ovzdušia čo zvyšuje riziko pre ľudí, zvieratá a prírodné prostredie (Unissa a Rav, 2012).

Narastajúci dopyt po krátkodobých produktoch zvyšuje intenzitu konzumácie využívaných materiálov a to na globálnej úrovni. Toto zvyšovanie pretrváva aj napriek snahe orientovať ekonomiku na racionálnu výrobu produktov, technológií a poskytovanie služieb. Vzhľadom na rýchle vyčerpanie skladových priestorov a emisiám znečisťujúcich látok je hlavným cieľom minimalizovať vývoz či spaľovanie odpadu a zapojiť do procesov nové metódy spracovania odpadu ako je recyklácia (Pomázi a Szabó, 2020; Giel a Kierzkowski, 2022).

(Abis a spol., 2020) hovoria, že: “v roku 2018 dosiahla produkcia komunálneho odpadu v 28 krajinách Európskej Únie 250,6 ton, pričom boli použité rôzne metódy

spracovania ako recyklácia (48%), spaľovanie a tepelné zhodnocovanie (29%) a skládkovanie (23%). Recyklačná časť však mala dosahovať minimálne 50%.”

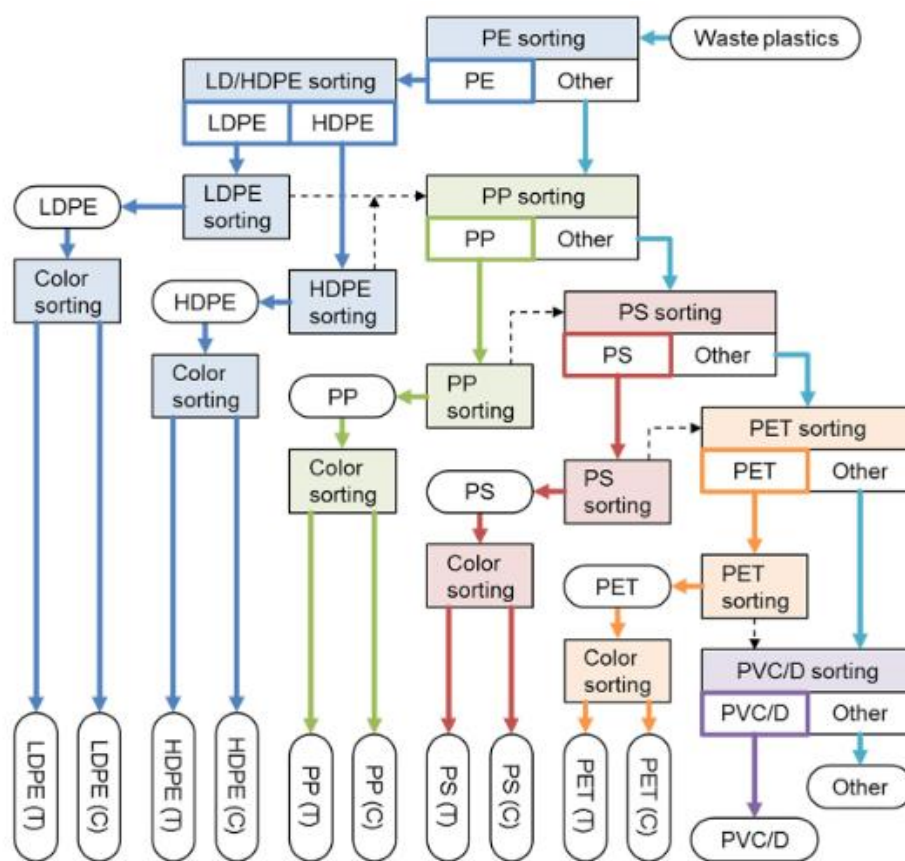
Narastajúce množstvá odpadu znamenajú v dnešnej dobe značné problémy, ktorým sa musíme venovať. Možností, ktorými sa dá nakladať s odpadom, je hneď niekoľko. Pre efektívne nakladanie s odpadom je však nutné odpad roztriediť efektívnym a rýchlym spôsobom. Na to sa používajú triediace linky, ktoré triedia materiál na základe vybraných vlastností.

1.5.1 Triediace linky

Nie všetky produkty sú recyklovateľné a znovu uvedené na trh. Preto je potrebné zahrnúť do procesov nakladania s odpadom aj likvidáciu. Odpadové produkty sa tým pádom musia prekontrolovať a následne rozdeliť do likvidácie alebo recyklácie. Zahrnutie likvidácie do procesov však nesie so sebou aj náročnejšie procesy kontroly a analýzy no zároveň vedie k zníženiu nákladov. Na rozhodnutie, ktoré produkty budú určené na likvidáciu a ktoré budú opätovne zavedené do obehu, sa používajú triediace linky. Je však nutné si uvedomiť, že na zavedenie triediacich liniek do procesov je potrebné zistiť celkové náklady spojené s týmto zavedením a porovnať ich s nákladmi pri samotnej likvidácii (Ferretti, 2020).

Triediace procesy tu však nekončia. V stále zvyšujúcom sa množstve odpadu tvorí najväčší problém plastový materiál. Plasty sú pritom vyrobené z neobnoviteľných zdrojov, preto je veľmi dôležitá jeho recyklácia a opätovné využitie, čo vedie k zameraniu sa na triediace linky. Pri obrovskom množstve plastového odpadu je dôležité aby triediace linky boli rýchle, efektívne, presné no zároveň nízko nákladové. Napriek tomu sa vo väčšine krajín používa na triedenie ľudská pracovná sila (Pluskal a spol., 2023).

Manuálne triedenie materiálu vyžaduje značné úsilie. Navyše je tento spôsob nákladný a časovo náročný. Štúdie autorov (Černá a spol., 2017) zároveň preukázali zvýšenú koncentráciu škodlivých látok a mikroorganizmov v prostrediach na triedenie a spracovanie plastových materiálov. Pojmy, ako internet vecí a inteligentná továreň, by mohli nájsť v tomto prostredí značné uplatnenie. Nahradenie takejto manuálnej práce za inteligentnú nielen že pozitívne ovplyvní celkové náklady spoločnosti ale aj presnosť a rýchlosť triediacich liniek (Vandana a spol., 2021).



Obrázok 4 Vývojový diagram triedenia plastov

Pojem plastový odpad je však veľmi široký. V rôznych priemysloch sa využíva značný počet druhov plastov, ktoré sa vo výsledku recyklujú alebo likvidujú iným spôsobom. Vývojový diagram na obrázku 4 ukazuje, aké druhy plastov sa separujú od seba a ako by sa mohlo zabrániť opakovanému a nadbytočnému triedeniu plastov. V každej časti triedenia sa vyseparuje určitý druh plastu, ktorý je ďalej triedený na základe určitých vlastností, napr. podľa farby (Nakatani, Konno a Moriguchi, 2017).

Pomerne najznámejší a najpoužívanější druh plastu je polyetyléntereftalát (PET), ktorý sa trhu uvádza najčastejšie vo forme plastových fliaš. Kvôli veľkému dopytu a spotrebe PET fliaš je hlavnou prioritou transformovať produkovaný odpad na opätovne použiteľný materiál, ktorý môže nájsť uplatnenie v rôznych častiach priemyslov. Jeden z týchto predmetov je PET vložka. Ide o finálny produkt tepelne praných a chemicky očistených PET fliaš, ktorý je pripravený na ďalšie spracovanie (Generalplastic.sk; Hassebuudin, Santhosh a Shandilya, 2020).

Záver podkapitoly

1.5.2 Dopravné pásy

(Bajda a Hardygóra, 2021) povedali, že: “dopravné pásy slúžia na transportáciu rôznych druhov materiálu vo všetkých odvetviach priemyslu, od ťažby ťažkých materiálov v baniach cez tvorbu produktov v továrňach až po nakladanie a vykladanie balíkov v lodných prístavoch. Hlavným komponentom pásových dopravníkov je pás, ktorý slúži ako na podporu prepravovaného materiálu tak na prenos pohonu.”

Autori (Woźniak a Hardygóra, 2021) sa vo svojej publikácii zhodujú s predchádzajúcim citátom a následne ho dopĺňajú: “keďže je pás pre efektívnu a spoľahlivú prevádzku dopravného pásu kľúčový, je tiež jeho najdrahšou, najviac opotrebovanou a najmenej odolnou časťou. Cena pásu predstavuje približne 50 – 60% celkovej ceny dopravníka no zároveň značne ovplyvňuje náklady na transport materiálu.”

1.6 RELATED WORKS

V podkapitole s názvom “related work” si predstavíme projekty, ktoré úzko súvisia s našou témou. Opíšeme základné časti ako postup vývoja projektu, metodiku, finálnu verziu, dosiahnuté výsledky a záver. Na koniec navrhujeme vylepšenia, ktoré by mohli byť vhodné pre daný projekt, a ktoré by sme mohli zakomponovať aj do našej práce.

Design and development of colour sorting robot

Autori (Shen a Hassan, 2015) sa v ich projekte pokúšali zostrojiť robota, ktorý by bol schopný za použitia nových technológií triediť objekty na základe farby a ukladať ich na vybrané miesta. Projekt je zameraný na triedenie materiálu v industriálnom sektore, v ktorom sa snažia ovplyvniť nasledujúce faktory:

- Rýchlosť,
- Presnosť,
- Cena.

Ciele projektu pritom zhrnuli v nasledujúcich bodoch:

- Napísať kód, ktorý bude slúžiť na detekciu farby objektu a následne aj jeho roztriedenie.
- Prepojiť kód na detekciu a triedenie, senzory a servo motor s mikrokontrolérom.
- Otestovať navrhnutý kód v projekte, identifikovať a vyriešiť vzniknuté problémy za účelom zefektívnenia systému.
- Roztriediť objekty podľa ich príslušnej farby na určené miesta.

Na vývoj projektu autori použili mikrokontrolér Arduino UNO, senzor farby TCS3200D a SG90 servo motor. Senzor farby pracuje na princípe RGB modelu. Senzor zachytáva vlnovú dĺžku svetla, ktorú následne posiela do arduina. Na základe napísaného kódu sa arduino rozhodne o akú farbu sa jedná a podľa toho vykoná ďalšie úkony.

2 CIELE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Analýzou súčasného stavu sme dosiahli prehľad o aktuálnej priemyselnej revolúcii a jej základnými prvkami. Preštudovaním a oboznámením sa so značným množstvom štúdií sme odhalili problémy, ktoré so sebou prináša a na základe toho sme stanovili nasledujúci cieľ práce. Cieľom diplomovej práce je navrhnúť triediacu linku s využitím mikrokontroléra, ktorá bude schopná identifikovať predmety na základe farby a bude súčasťou internetu vecí.

Podciele:

- Navrhnúť a zostaviť triediacu linku, ktorá bude schopná detegovať predmety na základe farby,
- Navrhnúť a implementovať dopravný pás, ktorý bude slúžiť na prepravu materiálu cez triediacu linku,
- Použiť vhodný mikrokontrolér na automatické riadenie linky a implementovať vhodné vstupné komponenty na zachytávanie dát,
- Vytvoriť vhodnú schému zapojenia mikrokontroléra a jednotlivých komponentov,
- Navrhnúť a vytvoriť databázový systém, ktorý bude ukladať namerané dáta,
- Vytvoriť mobilnú aplikáciu, ktorá bude schopná sledovať uložené dáta v databáze,
- Otestovať zostavenú triediacu linku,
- Štatisticky vyhodnotiť zozbierané dáta z databázy a na základe nich vyhodnotiť presnosť triedenia linky.

3 NÁVRH A METODIKA

Podrobným prehľadom a analýzou súčasného stavu sme získali aktuálny prehľad o priemyselnom vývoji internetu vecí. Z niekoľkých publikácií a internetových článkov a zdrojov sme zadefinovali prvky, ktoré tvoria IoT a jeho najhlavnejšie ciele. Zároveň sme sa oboznámili o aktuálnom stave priemyselnej revolúcie a priemyselných faktorov ako takých. Analýzou častí, ktoré úzko súvisia s priemyslom sme tiež objavili jeho slabé stránky a aktuálne problémy, ktorým čelí. Medzi tieto problémy patrí celosvetový odpad a to predovšetkým plasty.

Na základe uvedených faktov sme sa rozhodli vytvoriť model automatizovanej triediacej linky, ktorá bude triediť PET fľaše pomocou mikrokontroléra a s využitím senzorov zaznamenávať údaje do databázy, ktorú premietneme vo vytvorenej mobilnej aplikácii.

3.1 TRIEDIACA LINKA

3.1.1 Návrh triediacej linky

3.1.2 Návrh dopravného pásu

3.1.3 Vytvorenie triediacej linky

3.2 OPIS VYBRANÉHO HARDVÉRU

V tejto podkapitole sa zameriame na praktickú ale aj teoretickú časť pri výbere hardvéru. Pri výbere hardvérových zariadení sme mali na výber z niekoľkých pomerne rovnocenných možností ako z pohľadu ovládacej jednotky tak aj z pohľadu použiteľných technológií. V tejto práci sme sa zamerali na vytvorenie spomenutého modelu z cenovo dostupných a zároveň nenáročných technológií.

3.2.1 Arduino UNO WIFI Rev2

Pri výbere hlavnej ovládacej jednotky sme mali na výber z niekoľkých možných variant. Niektoré z nich sme dokonca opísali v analýze súčasného stavu, kde sme porovnávali dve pomerne známe zariadenia, Arduino UNO a Raspberry. Pri vývojových doskách typu Arduino sme mohli siahnuť po rôznych modeloch, ktoré sú momentálne

dostupné na trhu. Rovnako tak pri mikropočítačoch Raspberry. Pri týchto zariadeniach sme však narazili na celkom veľký problém a to je dostupnosť modelov v e-obchodoch. Ako ďalšie varianty sme zvažovali programovateľné logické automaty (ang.: Programmable logic Controller, PLC).

Po celkovej analýze veľkosti modelu linky, účelu a dostupnosti sme sa rozhodli použiť vývojovú dosku Arduino UNO. Konkrétne sme vybrali model Arduino UNO WIFI Rev2. Tento model má v sebe zabudované komunikačné rozhranie pre technológie Bluetooth a WiFi, takže celková komunikácia s inými zariadeniami alebo sieťou bola rýchlejšia a jednoduchšia.

3.2.2 Senzor farby TCS230

Odpad ako taký je možné triediť viacerými možnými spôsobmi a technológiami. Z uvedených štúdií, ktoré sme opísali v analýze súčasného stavu sme zistili, že v priemysle sa odpad najčastejšie začína triediť podľa druhu materiálu, z ktorého bol vyrobený. V tomto kroku sa materiál rozdelí na kovové a nekovové prvky kvôli následnej individuálnej recyklácii. Značná časť nekovového odpadu je tvorená plastmi. Plasty sa v praxi delia na niekoľko poddruhov, kde každý z nich je následne triedený podľa farby.

V našom prípade sme sa rozhodli triediť PET fľaše podľa vonkajšieho zafarbenia. Zafarbenie PET fliaš pritom môžeme rozdeliť na 4 primárne farby, priesvitná/biela, červená, zelená a modrá. To znamená, že náš model by mal byť schopný triediť PET fľaše podľa spomenutých 4 základných zafarbení. Podľa takto zadefinovaných podmienok triedenia a vybraného mikrokontroléra sme vybrali príslušné zariadenie.

Na detekciu zafarbenia materiálu s využitím mikrokontroléra Arduino je možné použiť senzory farby TCS230 a TCS3200. Pre náš model sme sa kvôli dostupnosti rozhodli vybrať model TCS230. Pre oboznámenie sa s vybraným senzorom a jeho používanie sme použili článok autorou (Rui a Sara, 2017) na internetovej stránke randomnerdtutorials.com a projekt (arduino.cc, 2019) z oficiálnej webovej stránky projecthub.arduino.cc. Tieto senzory obsahujú integrovaný RBG čip, ktorý je tvorený 64 farebnými filtrami na detekciu farby. Senzory štvorcového tvaru majú na každej hrane LED diódu, ktoré emitujú svetlo na predmet pred nimi. Svetlo je následne odrazené a zachytené farebnými filtrami na RGB čipe. Výstupom zachytenej vlnovej

dĺžky je frekvencia danej farby, ktorá je vyjadrená 3 primárnymi farbami, červenou, zelenou a modrou (ang.: red, green, blue, RGB). Týmto spôsobom dokáže senzor TCS230/TCS3200 poskytnúť potrebné hodnoty na zistenie zafarbenia predmetu.

3.2.2.1 Vstupno/výstupné periférie senzora TCS230

Pred tým, ako sme mohli použiť senzor TCS230 v našej práci, bolo nutné sa oboznámiť s jeho vstupno/výstupnými perifériami. Konkrétna podoba použitého senzora je zobrazená na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 5 Senzor farby TCS230

Ako je vidno na predchádzajúcom obrázku, senzor zafarbenia TCS230 má 8 pinov. Piny S0 a S1 ovládajú veľkosť výstupnej frekvencie v percentách. Výstupná hodnota senzora sa mení na základe privedeného signálu na daný pin. Pre zobrazenie všetkých možných nastavení senzora sme použili tabuľku autorov (Rui a Sara, 2017).

Tabuľka 2 Nastavenie pinov S0 a S1 senzora TCS230

S0	S1	Výstup
LOW	LOW	0%
LOW	HIGH	2%
HIGH	LOW	20%

HIGH	HIGH	100%
------	------	------

Pokiaľ privedieme na oba piny signál, veľkosť výstupnej frekvencie bude 100%. Takéto nastavenie senzora môže poslúžiť pri detekcii veľkého množstva farieb nakoľko výstupný vektor RGB môže obsahovať značné množstvo rôznych hodnôt. Najčastejšie sa senzor nastavuje na výstupných 20%. Je to z toho dôvodu, že výstupné hodnoty RGB sú dostatočne veľké nato, aby dokázali rozlišovať širokú paletu farieb a zároveň nie sú tak malé, aby dochádzalo k prekryvaniu hodnôt a tým pádom nesprávnemu určeniu farby. Takáto situácia môže nastať pri najmenšom nenulovom nastavení.

Piny S2 a S3 sú taktiež navzájom prepojené. Tieto piny slúžia na komunikáciu so spomenutými filtrami farby, ktoré tvoria základ senzora. Podobne ako pri pinoch S0 a S1, aj tu dokážeme rôznymi kombináciami meniť určité nastavenie senzora. Konkrétne sa privedením signálu na tieto piny aktivujú jednotlivé farebné filtre. Pre zobrazenie možných aktivačných nastavení opäť použijeme tabuľku autorov (Rui a Sara, 2017).

Tabuľka 3 Nastavenie pinov S2 a S3 senzora TCS230

S2	S3	Aktívne filtre
LOW	LOW	Červené
LOW	HIGH	Modré
HIGH	LOW	Žiadne
HIGH	HIGH	Zelené

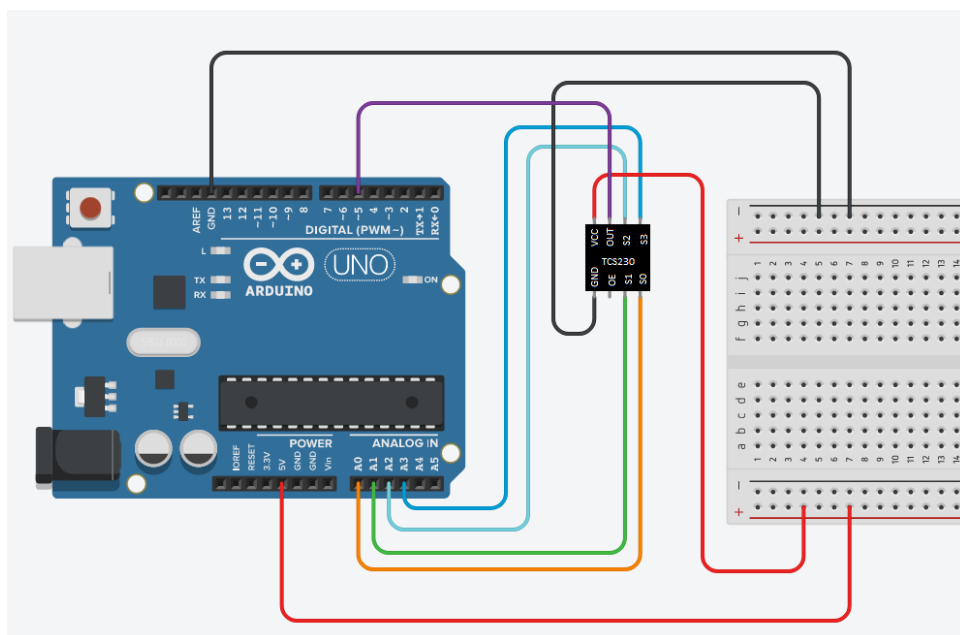
Pri zisťovaní frekvencie farby postupne privádzame a rušíme signál na jednotlivých pinoch. Tým postupne aktivujeme jednotlivé farebné filtre, aby nám senzor mohol poskytnúť potrebnú RGB hodnotu.

Pomocou pinu OE (ang.: Output Enable) dokážeme ovládať výstup senzora. Tento pin sa často vynecháva pri zapájaní senzora do mikrokontrolérov a tým pádom je primárne nastavený na hodnotu LOW. To znamená, že senzor je stále aktívny a namerané hodnoty frekvencie nám poskytne vždy, keď ju potrebujeme. Pokiaľ by sme potrebovali ovládať zapínanie a vypínanie výstupu senzora, pripojili by sme tento pin do mikrokontroléra a v kóde nastavili podľa potreby.

Zvyšné piny ako GND, VCC a OUT sú pomerne známe a nájdeme ich na takmer každých zariadeniach či senzoroach. Ich funkcie sú rovnaké ako pri ostatných zariadeniach, preto ich nebudeme v tejto časti opisovať.

3.2.2.2 Testovanie senzora TCS230

Ako prvé sme museli otestovať funkčnosť a správnosť vybraného senzora TCS230. Pri prvotných testoch sme sa inšpirovali návodom, ktorý autori (Rui a Sara, 2017) uviedli na spomenutej internetovej stránke. Prvý krok bol navrhnuť schému zapojenia senzora s vývojovou doskou Arduino. Pri zapájaní sme sa riadili predovšetkým vlastným návrhom, nakoľko sme v neskorších fázach návrhu modelu pridávali ďalšie potrebné komponenty.



Obrázok 6 Schéma zapojenia senzora farby TCS230

Na obrázku 6 je zobrazená aktuálna schéma zapojenia senzora farby TCS230. Ako môžeme vidieť, piny S0-S3 sme zapojili do analógových vstupov Arduina A0-A3, no vo výsledku ich používame ako digitálne piny, ktoré neskôr v kóde zdefinujeme. Výstupný pin senzora OUT sme pripojili na Arduino pin 5. Zvyšné piny senzora VCC a GND sme prepojili s doskou Arduino pomocou kontaktného poľa.

Keď sme navrhli schému zapojenia senzora, ďalším krokom bolo naprogramovať správanie senzora v príslušnom programovacom prostredí. Za týmto účelom sme zvolili Arduino IDE. Nasledujúce skripty zachytávajú postup pri programovaní senzora.

```
const int sensor = 5;
int frequencyRED= 0;
int frequencyGREEN = 0;
int frequencyBLUE = 0;
String color = "";
```

Ako prvé sme si museli zadať potrebné premenné, ktoré budeme ďalej v kóde využívať. Číselné premenné *frequencyRED*, *frequencyGREEN* a *frequencyBLUE* poslúžia na zachytávanie výstupnej frekvencie zo senzora a podľa nich sa bude na seriálovom monitore zobrazovať príslušná hodnota *color*.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, OUTPUT);
  pinMode(A1, OUTPUT);
  pinMode(A2, OUTPUT);
  pinMode(A3, OUTPUT);
  pinMode(sensor, INPUT);
  digitalWrite(A0, HIGH);
  digitalWrite(A1, LOW);
}
```

V metóde *setup()* sme zadefinovali príslušné piny. Ako zo skript vyplýva, výstupnú frekvenciu senzora sme nastavili na 20%. Pri prvotných testoch je bežné, že sa frekvencia nastaví na túto hodnotu. V našom prípade to znamená, že pri rozhodovaní farby predmetu máme pomerne veľkú flexibilitu.

Ako posledné bolo potrebné naprogramovať správanie senzora v metóde *loop()*. Ako je možné vidieť na schéme zapojenia senzora, pri návrhu sme sa rozhodli vynechať pin OE. Tým pádom je náš senzor neustále aktívny a nutné v programe určovať, kedy sa má zapnúť a vypnúť. Ako ďalšie sme museli nastaviť postupné zapínanie jednotlivých farebných filtrov na čipe senzora. Pri tomto kroku sme sa radili kombináciou zapojenia, ktorá vyplýva z tabuľky 3.

```
void loop() {
  digitalWrite(A2, LOW);
  digitalWrite(A3, LOW);
  frequencyRED = pulseIn(sensor, LOW);
```

```
frequencyRED = map(frequencyRED, 25,72,255,0);  
serial.print("R = ");  
serial.print(frequencyRED);  
serial.print(" ");  
delay(100);  
}
```

Na vysvetlenie funkcie programu sme zvolili časť kódu, ktorá opisuje postup pri zistení frekvencie červenej farby. Na začiatku sme museli aktivovať červené filtre senzora. Tie sme aktivovali tak, že sme nastavili piny A2 a A3 na hodnotu LOW. Ako ďalšie sme pre zistenie červenej hodnoty použili 2 funkcie, *pulseIn()* a *map()*. Nastavením senzorového pinu OUT na hodnotu LOW vo funkcií *pulseIn()* sme uložili červenú frekvenciu do premennej frequencyRED.

Hneď na to sme použili funkciu *map()*. Tu však musíme spomenúť postup, ako sme získali hodnoty, ktoré vstupujú do použitej funkcie. Do funkcie *map()* vstupuje predvolene 5 parametrov. Prvý parameter je hodnota, ktorú chceme transformovať. V našom prípade to je nameraná frekvencia uložená v premennej frequencyRED. Ďalšie dva parametre slúžia na definovanie množiny, v ktorej sa môže nameraná hodnota pohybovať. Tu sme museli použiť samostatný programový kód, ktorý má rovnaké časti ako sú vyššie uvedené s tým rozdielom, že neobsahuje funkciu *map()*. Takýto kód sme nahrali na mikrokontrolér Arduino a začali sme merať. Postupným posúvaním senzora od predmetu sme získali určitú množinu frekvencií farieb. Nakoľko sme si vybrali na opis červenú časť kódu, zaujímali sme sa len o červené frekvencie. Zo sériového monitora sme vybrali najmenšiu a najväčšiu hodnotu červenej frekvencie a tie sme následne vložili ako 2 parametre do funkcie *map()*. Posledné 2 parametre funkcie predstavujú hranice množiny, v ktorej chcem aby sa transformovaná hodnota nachádzala. V našom prípade sme zvolili množinu <0, 255>.

3.2.3 Senzor vzdialenosti HC-SR04

3.2.4 DC motor

3.3 SCHÉMA ZAPOJENIA

3.4 DATABÁZOVÝ SYSTÉM

3.4.1 Firebase

3.4.2 Vytvorenie databázy

3.4.3 Nastavenie databázy

3.5 MOBILNÁ APLIKÁCIA

3.5.1 MIT App Inventor 2

3.6 PREPOJENIE

3.6.1 Prepojenie mikrokontroléra s databázou

3.6.2 Prepojenie databázy s aplikáciou

3.7 VÝSLEDNÉ ZAPOJENIE

3.7.1 Hardvérová část

3.7.2 Softvérová časť

3.8 TESTOVANIE

4 VÝSLEDKY

ZÁVER

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- ABIS Marco a spol., 2020. Assessment of the synergy between recycling and thermal treatments in municipal solid waste management in europe. [cit. 27-10-2023]. Energies 13. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/en13236412](https://doi.org/10.3390/en13236412).
- ADAMSON Göran, WANG Lihue, MOORE Philip R., 2017. Feature-based control and information framework for adaptive and distributed manufacturing in cyber physical systems. Journal of Manufacturing Systems 43, s. 305-315. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.jmsy.2016.12.003](https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.12.003).
- ADAT Vipindev, GUPTA Brij Bhooshan, 2018. Security in Internet of Things: issues, challenges, taxonomy, and architecture. Telecommunication Systems 67, s. 423-441. Dostupné na internete: DOI: [10.1007/s11235-017-0345-9](https://doi.org/10.1007/s11235-017-0345-9).
- ALI Inayat, SABIR Sonia, ULLAH Zahid, 2016. Internet of Things Security, Device Authentication and Access Control: A Review. International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS) 14, s. 456-465. Dostupné na internete: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1901/1901.07309.pdf>.
- ARDUINO.CC, 2019. Color Detection Using TCS3200/230. Dostupné na internete: <https://projecthub.arduino.cc/SurtrTech/color-detection-using-tcs3200230-ale463>.
- ARDUINO.CC., 2021. ARDUINO UNO WiFi REV2. Dostupné na internete: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-wifi-rev2>.
- ATZORI Luigi, IERA Antonio, MORABITO Giacomo, 2010. The Internet of Things: A survey. Computer Networks 54, s. 2787-2805. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.comnet.2010.05.010](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010).
- AWAN Usama, SROUFE Robert, BOZAN Karoly, 2022. Designing Value Chains for Industry 4.0 and a Circular Economy: A Review of the Literature. Sustainability (Switzerland) 14. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/su14127084](https://doi.org/10.3390/su14127084).
- BAHRIN Mohd Aiman Kamarul, OTHMAN Mohd Fauzi Bin, AZLI Nor Hayati, TALIB Muhamad Farihin, 2016. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. Jurnal Teknologi 78, s. 137-143. Dostupné na internete: DOI: [10.11113/jt.v78.9285](https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285).

- BAJDA Mirosław, HARDYGÓRA Monika, 2021. Analysis of reasons for reduced strength of multiply conveyor belt splices. *Energies* 14. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/en14051512](https://doi.org/10.3390/en14051512).
- BONOMI Flavio, MILITO Rodolfo, ZHU Jiang, ADDEPALLI Sateesh, 2012. Fog computing and its role in the internet of things. *MCC'12 – Proceedings of the 1st ACM Mobile Cloud Computing Workshop*, s. 13-15. Dostupné na internete: DOI: [10.1145/2342509.2342513](https://doi.org/10.1145/2342509.2342513).
- BURRUS Daniel, 2014. The Internet of Things is Far Bigger than Anyone Realizes. [cit. 12.10.2023]. Dostupné na internete: <https://www.wired.com/insights/2014/11/the-internet-of-things-bigger/>.
- CHEN Baotong a spol., 2017. Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access* 6, s. 6505-6519. Dostupné na internete: DOI: [10.1109/ACCESS.2017.2783682](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682).
- ČERNÁ Kristýna, WITTLINGEROVÁ Zdeňka, ZIMOVÁ Magdaléna, JANOVSÝ Zdeněk, 2017. Exposure to airborne fungi during sorting of recyclable plastics in waste treatment facilities. *Medycyna Pracy* 68, s. 1–9. Dostupné na internete: DOI: [10.13075/mp.5893.00520](https://doi.org/10.13075/mp.5893.00520).
- FERRETTI Ivan, 2020. Multiproduct economic lot scheduling problem with returns and sorting line. *Systems* 8, s. 1–20. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/systems8020016](https://doi.org/10.3390/systems8020016).
- FRIEDERICH Jonas, FRANCIS Deena P., LAZAROVA-MOLNAR Sanja, MOHAMED Nader, 2022. A framework for data-driven digital twins for smart manufacturing. *Computers in Industry* 136. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.compind.2021.103586](https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103586).
- GAIKWAD Pranay P., GABHANE Jyotsna P., GOLAIT Snehal S., 2015. A survey based on Smart Homes system using Internet-of-Things. 4th IEEE Sponsored International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication, ICCPEIC 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., s. 330-335. Dostupné na internete: DOI: [10.1109/ICCPEIC.2015.7259486](https://doi.org/10.1109/ICCPEIC.2015.7259486).
- GAUB Heinz, 2016. Customization of mass-produced parts by combining injection molding and additive manufacturing with Industry 4.0 technologies. *Reinforced*

- Plastics 60, s. 401-404. Dostupné na internete: doi.org/10.1016/j.repl.2015.09.004.
- GENERALPLASTIC.SK. [neznámy rok]. Recyklácia a výkup PET fliaš. Dostupné na internete: <https://generalplastic.sk/recyklacia-a-vykup-pet-flias/>.
- GIEL Robert, KIERZKOWSKI Artur, 2022. A fuzzy multi-criteria model for municipal waste treatment systems evaluation including energy recovery. *Energies* 15. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/en15010031](https://doi.org/10.3390/en15010031).
- GILCHRIST Alasdair, 2016. *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Apress, Berkeley, CA. 2016. Dostupné na internete: DOI: 10.1007/978-1-4842-2047-4.
- GLIGOR David Marius, HOLCOMB Mary Collins, 2012. Understanding the role of logistics capabilities in achieving supply chain agility: a systematic literature review. *Supply Chain Management*, Vol. 17 No. 4, s. 438-453. Dostupné na internete: doi.org/10.1108/13598541211246594.
- HASEEBUDDI M. R., SANTHOSH, S., SHANDILYA Anirudh B., 2020. Development and characterization of PET flakes reinforced polyester resin composites. In *Materials Today: Proceedings* 46, s. 6075–6082. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.matpr.2021.05.462](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.462).
- HERRMANN Frank, 2018. The smart factory and its risks. *Systems* 6. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/systems6040038](https://doi.org/10.3390/systems6040038).
- HOSNY Khalid M., MAGDI Amal, SALAH Ahmad, EL-KOMY Osama, LASHIN Nabil A., 2023. Internet of things applications using Raspberry-Pi: a survey. *International Journal of Electrical and Computer Engineering* 13, s. 902–910. Dostupné na internete: DOI: [10.11591/ijece.v13i1.pp902-910](https://doi.org/10.11591/ijece.v13i1.pp902-910).
- IBM, [Neznámy rok]. From steam to sensor: historical context for Industry 4.0. Dostupné na internete: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>.
- KAJATI Erik a spol., 2019. Cloud based cyber-physical systems: Network evaluation study. *Advanced Engineering Informatics* 42. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.aei.2019.100988](https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100988).
- KIRAN D. R., 2019. *Production Planning and Control A Comprehensive Approach*. Dostupné na internete: DOI <https://doi.org/10.1016/C2018-0-03856-6>.
- KONDAVEETI Hari Kishan, KUMARAVELU Nandeesh Kumar, VANAMBATHINA Sunny Dayal, MATHE Sudha Ellison, VAPPANGI Suseela, 2021. A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges,

- advantages, and limitations. *Computer Science Review*. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.cosrev.2021.100364](https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100364).
- KUMAR Sathish Alampalayam, VEALEY Tyler, SRIVASTAVA Harshit, 2016. Security in internet of things: Challenges, solutions and future directions. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. IEEE Computer Society, s. 5772-5781. Dostupné na internete: DOI: [10.1109/HICSS.2016.714](https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.714).
- KURNIAWAN Stefanus, HALIM Dareen Kusuma, DICKY H., TANG, Chongming M., 2020. Multicore development environment for embedded processor in arduino IDE. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)* 18, s. 870–878. Dostupné na internete: DOI: [10.12928/TELKOMNIKA.V18I2.14873](https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.V18I2.14873).
- LIAO Wenzhu, WANG Tong, 2019. A novel collaborative optimization model for job shop production-delivery considering time window and carbon emission. *Sustainability (Switzerland)* 11. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/su11102781](https://doi.org/10.3390/su11102781).
- LIN Jie, YU Wei, ZHANG Nan, YANG Xinyu, ZHANG Hanlin, ZHAO Wei, (2017). A survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal* 4, s. 1125–1142. Dostupné na internete: <https://sci-hub.se/10.1109/JIOT.2017.2683200>.
- MABKHOT Mohammed M. a spol, 2021. Mapping Industry 4.0 enabling technologies into united nations sustainability development goals. [cit. 10.10.2023]. *Sustainability (Switzerland)* 13, s. 1–35. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/su13052560>.
- MABKHOT Mohammed M., AL-AHMARI Abdulrahman M., SALAH Bashir, ALKHALEFAH Hisham, 2018. Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective. *Machines*. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/MACHINES6020023](https://doi.org/10.3390/MACHINES6020023).
- MAHMOOD Zaigham, 2019. The Internet of Things in the Industrial Sector Security and Device Connectivity, Smart Environments, and Industry 4.0 Preface. Dostupné na internete: <https://www.mendeley.com/catalogue/24cc053b-89bc-3cf5-898f-a1cedde9055b/>.

- MAHMOUD Rwan, YOUSUF Tasneem, ALOUL Fadi, ZUALKERNAN Imran, 2016. The Internet of Things in the Industrial Sector Security and Device Connectivity, Smart Environments, and Industry 4.0 Preface. Internet of Things in the Industrial Sector: Security and Device Connectivity, Smart Environments, and Industry 4.0. [cit. 24.10.2023]. ISSN: [1617-7975](#).
- MOHARKAR Krunal A., TIWARI Ankita A., BHUYAR Pratik N., BEDRE Pradip K., BACHWANI Sudesh A., 2022. Review on Different Microcontroller Boards Used in IoT. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology 10, s. 234–242. Dostupné na internete: DOI: [10.22214/ijraset.2022.39778](#).
- NAKATANI Jun, KONNO Kiyoto, MORIGUCHI Yuichi, 2017. Variability-based optimal design for robust plastic recycling systems. Resources, Conservation and Recycling 116, s. 53–60. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.resconrec.2016.09.020](#).
- PARK Sungbum, 2016. Development of Innovative Strategies for the Korean Manufacturing Industry by Use of the Connected Smart Factory (CSF). Procedia Computer Science 91, s. 744-750. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.procs.2016.07.067](#).
- PLUSKAL, Jaroslav, ŠOMPLÁK, Radovan, SZÁSZIOVÁ Lenka, SUJA Jerguš, PAVLAS Martin, 2023. Post-consumer plastic sorting infrastructure improvements planning: Scenario-based modeling of greenhouse gas savings with sustainable costs. Journal of Environmental Management 325. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.jenvman.2022.116567](#).
- POMÁZI István, SZABÓ Elemér, 2020. Circular economy policy-related national initiatives in Visegrad countries. European Spatial Research and Policy 27, s. 131-154. Dostupné na internete: DOI: [10.18778/1231-1952.27.2.09](#).
- PWC, 2016. Industry 4.0: Building the digital enterprise. Dostupné na internete: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>.
- RAVIKIRAN A. S., 2023. Arduino Vs. Raspberry Pi: Which Is the Better Board?. Dostupné na internete: <https://www.simplilearn.com/tutorials/programming-tutorial/arduino-vs-raspberry-pi>.

- RAY P. P., 2018 A survey on Internet of Things architectures. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.jksuci.2016.10.003](https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.003).
- RPISHOP.CZ, 2023. Raspberry Pi 4 Model B – 2GB RAM. Dostupné na internete: <https://rpishop.cz/raspberry-pi-4/1599-raspberry-pi-4-model-b-2gb-ram-765756931175.html?src=raspberrypi>.
- RUI a SARA, 2017. Guide for TCS230/TCS3200 Color Sensor with Arduino. Dostupné na internete: <https://randomnerdtutorials.com/arduino-color-sensor-tcs230-tcs3200/>.
- RUPP Mario, SCHNECKENBURGER Max, MERKEL Markus, BÖRRET Rainer, HARRISON David K., 2021. Industry 4.0: A technological-oriented definition based on bibliometric analysis and literature review. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity 7, s. 1–20. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/joitmc7010068](https://doi.org/10.3390/joitmc7010068).
- SAJADIEH Seyed Mohammad Mehdi, SON Yoo Ho, NOH Sang Do, 2022. A Conceptual Definition and Future Directions of Urban Smart Factory for Sustainable Manufacturing. Sustainability (Switzerland). Dostupné na internete: DOI: [10.3390/su14031221](https://doi.org/10.3390/su14031221).
- SATO Duarte Adrana Yumi, SANCHES Regina Aparecida, DEDINI Franco Giuseppe, 2018. Assessment and technological forecasting in the textile industry: From first industrial revolution to the Industry 4.0. Strategic Design Research Journal 11, s. 193–202. Dostupné na internete: DOI: [10.4013/sdrj.2018.113.03](https://doi.org/10.4013/sdrj.2018.113.03).
- SCHUH Günther, POTENTE Till, VARANDANI Rawina, HAUSBERG Carlo, FRÄNKEN Bastian, 2014. Collaboration moves productivity to the next level, in: Procedia CIRP 17, s. 3–8. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.037>.
- SCHUMACHER Andreas, EROL Selim, SIHN Wilfried, 2016. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises, Procedia CIRP 52, s. 161–166. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.procir.2016.07.040](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040).
- SHEN Lim Jie, HASSAN Irda, 2015. Design and development of colour sorting robot. Journal of Engineering Science and Technology 10, s. 71–81. ISSN: [18234690](https://doi.org/10.18234690).

- SHI Zhan a spol., 2020. Smart factory in Industry 4.0. Systems Research and Behavioral Science 37, s. 607-617. Dostupné na internete: DOI: [10.1002/sres.2704](https://doi.org/10.1002/sres.2704).
- SOORI Mohsen, AREZOO Behrooz, DASTRES Roza, 2023. Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. Internet of Things and Cyber-Physical Systems. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.iotcps.2023.04.006](https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.006).
- STRANGE Roger, ZUCHELLA Antonella, 2017. Industry 4.0, global value chains and international business. Multinational Business Review 25, s. 174–184. Dostupné na internete: DOI: [10.1108/MBR-05-2017-0028](https://doi.org/10.1108/MBR-05-2017-0028).
- STROOZI Fernanda, COLICCHIA Claudia, CREAZZA Alessandro, NOÈ Carlo, 2017. Literature review on the 'smart factory' concept using bibliometric tools. International Journal of Production Research. Dostupné na internete: DOI: [10.1080/00207543.2017.1326643](https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1326643).
- SUO Hui, WAN Jiafu, ZOU Caifeng, LIU Jianqi, 2012. Security in the internet of things: A review. Proceedings – 2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering, ICCSEE 2012, s. 648-651. Dostupné na internete: DOI: [10.1109/ICCSEE.2012.373](https://doi.org/10.1109/ICCSEE.2012.373).
- TECHFUN. Arduino UNO WiFi REV2 originál. Dostupné na internete: https://techfun.sk/produkt/arduino-uno-wifi-rev2-original/?currency=EUR&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw4vKpBhCZARIsAOKH0WQ0Jan4ZcHfYLieSr-ip_2qkjh2cQcD6nmm7M2Ws5FRKHkEIINdjtgAAl0-EALw_wcB.
- TECHFUN. Raspberry pi 4 model B – RAM 2GB 64-bit. Dostupné na internete: <https://techfun.sk/produkt/raspberry-pi-4-model-b-ram-2gb-64-bit/>.
- TUKHTANAZAROVICH Jumabayev Abdulkhamid, 2021. Advantage of the Arduino Platform in Forming Creative Skills in Youth. JournalNX- A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal 7, s. 40–45. Dostupné na internete: <https://media.neliti.com/media/publications/347845-advantage-of-the-arduino-platform-in-for-95870798.pdf>.
- UNNISA Syeda Azeem, RAV S. Bhupatthi, 2012. Sustainable Solid Waste Management. Apple Academic Press, Waretown, New York, USA, 2012. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1201/b13116>.

- VANDANA S., SHAMUKHA SRI SAI K., ROHILA P., MANIDEEP V., 2021. PLC Operated Colour Based Product Sorting machine. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1119. Dostupné na internete: DOI: [10.1088/1757-899x/1119/1/012016](https://doi.org/10.1088/1757-899x/1119/1/012016).
- VINITHA K, AMBROSE PRABHU R, BHASKAR R, HARIHARAN R, 2020. Review on industrial mathematics and materials at Industry 1.0 to Industry 4.0, in: Materials Today: Proceedings, s. 3956–3960. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.331>.
- WANG Shiyang, WAN Jiafu, ZHANG Daqiang, LI Da, ZHANG Chunhua, 2016. Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. Computer Networks 101, s. 158–168. Dostupné na internete: DOI: [10.1016/j.comnet.2015.12.017](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017).
- WOŹNIAK Dariusz, HARDYGÓRA Monika, 2021. Aspects of selecting appropriate conveyor belt strength. Energies 14. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/en14196018](https://doi.org/10.3390/en14196018).
- WU Zhenyu, QIU Kai, ZHANG Jianguo, 2020. A smart microcontroller architecture for the internet of things. Sensors (Switzerland) 20. Dostupné na internete: DOI: [10.3390/s20071821](https://doi.org/10.3390/s20071821).

