

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na téma CNC výrobní stroje a jejich využití v souladu se zásadami a principy Průmyslu 4.0. První část je rešerše současného stavu v oblasti nejčastěji používaných CNC výrobních strojů ve strojírenství dle jejich konstrukce a aplikace. V druhé části jsou popsány zásady, základní atributy a klíčové technologie Průmyslu 4.0, je definováno názvosloví. Poslední část bakalářské práce je návrh projektu ideového pracoviště s CNC výrobními stroji v prostorách ÚVSSR FSI VUT v Brně, v souladu se zásadami a principy Průmyslu 4.0, včetně kritického vyhodnocení dosažených výsledků.

ABSTRACT

This Bachelor thesis is focused on the theme of CNC manufacturing machines and their use in accordance with the principles of Industry 4.0. The first part is a search of the current state in the field of the most frequently used CNC production machines in engineering according to their design and application. In the second part described principles, basic attributes and key technologies of Industry 4.0, defined concept. The last part is on top of the project conceptual workplace with CNC manufacturing machines in the premises of the technical high school VUTBR in accordance with the principles and tenets of Industry 4.0 and the evaluation of the results achieved.

KLÍČOVÁ SLOVA

CNC stroj, Automatizace, Řídicí systém, Průmysl 4.0, Průmyslová revoluce, Big data, Autonomní roboti, Simulace, Integrace IT systémů, Průmyslový internet věcí, Kybernetická bezpečnost, Cloud computing, Aditivní výroba, Rozšířená realita, Kyberneticko-fyzikální systémy, Výrobní buňka, Inteligentní senzory, Digitální dvojče, Obráběcí centrum.

KEYWORDS

CNC Machine, Automation, Control System, Industry 4.0, Industrial Revolution, Big Data, Autonomous Robots, Simulation, IT Systems Integration, Industrial Internet of Things, Cyber Security, Cloud Computing, Additive Production, Augmented Reality, Cyber-Physical Systems, Production Cell, Smart Sensors, Digital Twin, Machining Center.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SERYKH, Pavel. *Průmysl 4.0 v kontextu s konstrukcí a aplikací výrobních strojů*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116963>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za cenné a užitečné rady během mého studia a za jeho věnovaný čas. Dále také děkuji své rodině a přítelkyni za morální pomoc při studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25.5.2018

.....

Serykh Pavel

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	MOTIVACE.....	15
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	17
4	ČÍSLICOVÉ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE	19
4.1	Vývoj CNC strojů	20
4.2	Princip práce CNC obráběcích strojů	22
4.3	Řízení CNC obráběcích strojů	22
4.3.1	Obecné pojmy.....	22
4.3.2	CNC systémy. Klasifikace CNC systémů.	22
4.3.3	Otevřené systémy	23
4.3.4	Uzavřené systémy.....	23
4.3.5	Souřadné systémy u číslícově řízených strojů	25
4.3.6	Vztažné body u CNC strojů.....	27
4.3.7	Programovací jazyk	29
4.3.8	Rozdělení programování CNC strojů	29
4.3.9	Definice CNC programu.....	30
4.3.10	Struktura CNC programu.....	30
4.4	Výhody použití CNC strojů	31
4.5	Rozdělení CNC obráběcích strojů	31
4.5.1	Druh zpracování	32
4.5.2	Míra přesnosti	32
4.5.3	Stupeň univerzality	32
4.5.4	Úroveň automatizace	32
4.5.5	Účel.....	33
4.5.6	Způsob změny nástroje.	38
4.6	Konstrukční prvky CNC strojů	38
4.6.1	Rámy obráběcích strojů	38
4.6.2	Vodítka CNC strojů	39
4.6.3	Hlavní pohon	39
4.6.4	Vedlejší pohon.....	39
4.6.5	Vřetenno	39
4.6.6	Podsystém zpětné vazby	39
4.6.7	Systémy automatické výměny nástrojů	40
4.6.8	Pomocné prvky CNC strojů.....	40
5	PRŮMYSL 4.0	41
5.1	Průmysl 4.0: pojem a koncepty.....	41
5.2	První průmyslová revoluce	41
5.3	Druhá průmyslová revoluce.....	41
5.4	Třetí průmyslová revoluce	41

5.5	Čtvrtá průmyslová revoluce	42
5.6	Koncepce Průmyslu 4.0: pojem a základní atributy	42
5.6.1	Digitalizace a vertikální integrace	42
5.6.2	Digitalizace a horizontální integrace	43
5.6.3	Digitalizace produktů a služeb	43
5.6.4	Digitální obchodní modely a přístup zákazníků	43
5.6.5	Nové digitální obchodní modely	43
5.6.6	Rozvinutá technologická platforma	43
5.7	Klíčové technologie Průmyslu 4.0	43
5.7.1	Analýza velkých dat (Big data)	43
5.7.2	Autonomní roboty	43
5.7.3	Simulace	44
5.7.4	Integrace IT systémů	45
5.7.5	Průmyslový IOTí	45
5.7.6	Kybernetická bezpečnost	45
5.7.7	Cloud computing	45
5.7.8	Aditivní výroba (3D tisk)	45
5.7.9	Rozšířená realita	45
5.8	Kyberneticko-fyzikální systémy	46
6	PRŮMYSL 4.0 V ČESKÉ REPUBLICE	49
6.1	Cíle Průmyslu 4.0 v České republice	49
6.2	Silné stránky ČR:	50
6.3	Slabé stránky ČR:	50
6.4	Příležitosti	51
6.5	Hrozby	51
6.6	Proč zavádět Průmysl 4.0 do výroby	51
7	PROJEKT VÝROBNÍ BUŇKY SE ZOHLEDNĚNÍM PRINCIPŮ PRŮMYSLU 4.0	54
7.1	Bezpečnostní oplocení Quick-Guard	56
7.2	Systém sledování pohybu osob na pracovišti Sewio Networks RTLS TDoA Wi-Fi Kit	57
7.3	Platforma na bázi prostředí TOS Control. Komunikace.	57
7.3.1	Komunikace člověk-stroj	58
7.3.2	Komunikace stroj-stroj	58
7.4	Přesné měřicí stanice Equator	59
7.5	Průmyslová pračka WE40	60
7.6	Průmyslová 3D tiskárna ProX DMP 100	60
7.7	Inteligentní senzory	61
7.8	Digitální dvojče a virtuální realita výrobní buňky	61
8	VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	62
9	ZÁVĚR	63
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	65
11	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	68
11.1	Seznam tabulek	68

11.2 Seznam obrázků.....	68
12 SEZNAM PŘÍLOH	70
PŘÍLOHY.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.

1 ÚVOD

V mé bakalářské práci jsou zvažovány koncepty a pojmy Průmyslu 4.0, charakterizované zavedením CPS (Kyberneticko-fyzikálních systémů) do výrobních procesů.

Koncept čtvrté průmyslové revoluce byl poprvé formulován v německém městě Hannover v roce 2011. Předpokládá se, že tyto CPS se budou moci spojit do jedné sítě, vzájemně komunikovat v reálném čase, přizpůsobovat se a učit se novým vzorcům chování. Takové sítě budou schopny seřazovat výrobu s méně chybami, spolupracovat s výrobky a v případě potřeby se přizpůsobit novým potřebám zákazníků. Například ve výrobním procesu bude samotný výrobek schopen určit zařízení schopné ho vyrobit. Předpokládá se, že toto vše se uskuteční ve zcela autonomním režimu bez zásahu člověka.

Další významnou událostí v historii konceptu Průmyslu 4.0 byl Světový ekonomický fórum v Davosu v roce 2016. Zakladatel a předseda fóra Klaus Martin Schwab pojmenoval změny, které se dějí v ekonomice, Čtvrtou průmyslovou revoluci (Průmysl 4.0).

Základy průmyslu 4.0.: Kompatibilita, virtualizace, decentralizace a provoz v reálném čase, CPS, cloud computing, Big data technologie, internet věcí (IOT) jsou stále více populární v podnikání, spolu s virtualizací a digitalizací celého procesu.

Mnoho rozvinutých zemí a obchodních gigantů jsou aktivními účastníky ve čtvrté průmyslové revoluci, jejichž cílem je odstranit překážky vytváření Průmyslu 4.0. Ale ve své snaze o maximalizaci zisku, vstupují na trh s nejmodernějšími technologiemi, riskují nahradit člověka roboty a softwarem ve výrobě. Inflace diplomů a obecný pokles důležitosti člověka – to je jen částečný seznam problémů vyvolaných nadcházející čtvrtou revolucí.

Od okamžiku vzniku tohoto termínu se mnoho vědců zajímá o koncept Průmyslu 4.0, ale kritici říkají, že nedochází k žádné revoluci, že současná změna není nic jiného než hloubková automatizace.

Změny ve výrobních procesech by měly nastat již brzy, budou mít pozitivní i negativní charakter. Toto téma je tedy pro mě zajímavé a důležité, protože největší vliv bude mít Průmysl 4.0 na mladé profesionály.

2 MOTIVACE

Kombinace CNC obráběcích strojů a zařízení do sítě umožní vytvořit inteligentní výrobu, ve které inteligentní CNC stroje nezávisle vyměňují informace a neustále se přizpůsobují měnícím se výrobním požadavkům. Takový CNC obráběcí systém povede k urychlenému vývoji výroby a významným úsporám materiálů a energie.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Koncept průmyslu 4.0 byl nejprve představen německou federální vládou jako strategický plán rozvoje německého průmyslu založený na kombinaci průmyslových zařízení a informačních systémů v jediném informačním prostoru, který jim umožní vzájemnou interakci s vnějším prostředím bez lidské účasti.

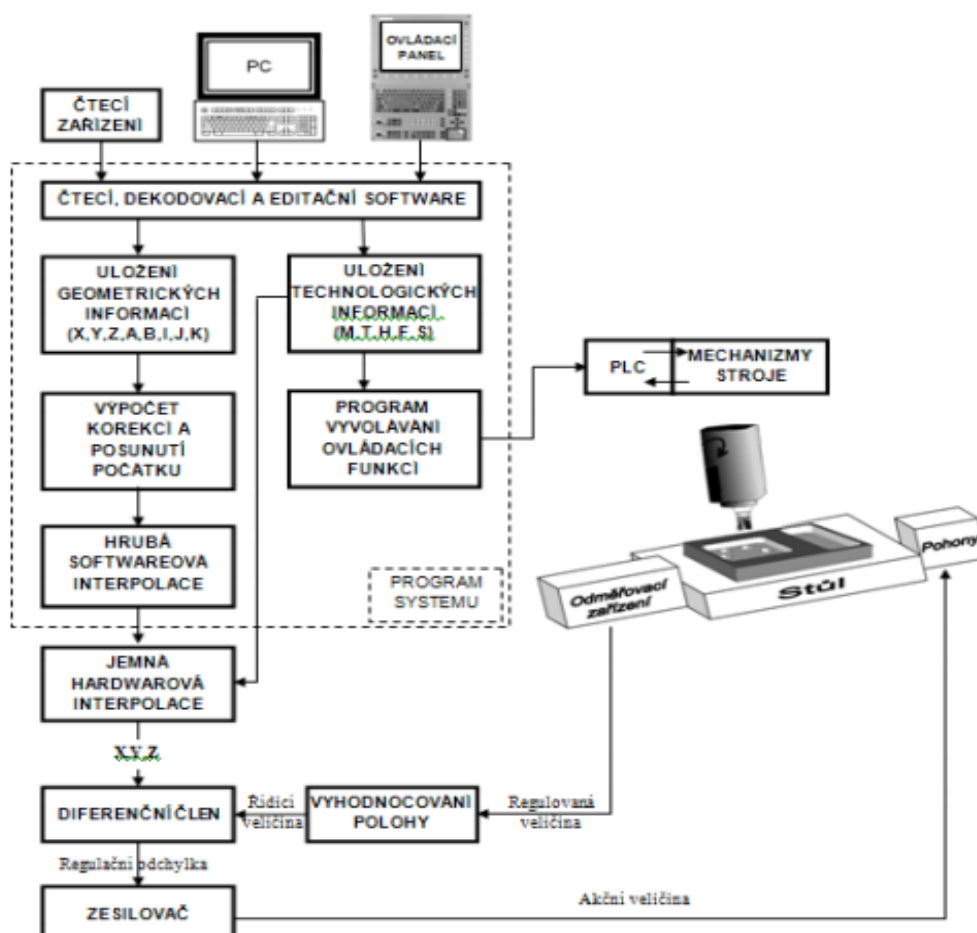
Průmysl 4.0 předpokládá počítačové propojení výrobních strojů, produktů, osob a všech dalších systémů průmyslového podniku s aktivním využitím internetu.

4 ČÍSLICOVÉ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE

Moderní historie přinesla nové požadavky pro firmy zabývající se výrobou. V současné době je těžké si představit továrnu, která by chtěla zvýšit objem produkce bez automatizace výroby a zavádění nových technologií.

Jedním z hlavních vynálezů v posledních letech se staly obráběcí stroje s numerickým řízením. S jejich příchodem se značně zvýšily výrobní kapacity podniků, kvalita vyráběných výrobků se zvýšila, náklady se snížily a zisk se mnohonásobně zvýšil.

Číslicově řízené obráběcí stroje jsou stroje, které opracovávají součástky některou z technologií obrábění jako je např. soustružení, frézování, vrtání, řezání závitů apod. Jejich činnosti jsou řízeny automaticky zadáváním povelů v číselné podobě z NC programu. Obrábění na číslicově řízeném obráběcím stroji má podobný sled výrobních činností jako při obrábění na konvenčním – univerzálním stroji. Součást – obrobek se musí ustavit do vhodné polohy, pevně upnout. Do vřetena se musí upnout příslušný nástroj, pak se spustí hlavní řezný pohyb – otáčky, které umožňují odebrání třísky a současně se pohybuje součástí či vřetenem stroje – jedná se o posuv tak, aby v interakci nástroj – obrobek bylo uskutečněno opracování požadovaných ploch (na žádaný rozměr a tvar). Tento postup, cyklus, se automaticky opakuje v různých obměnách, které se týkají nástrojů, řezných podmínek, poloh obrobků apod. [1]



Obr. 1) Blokové schéma řízení CNC stroje [8]

- **Počítač** – počítač, na kterém je zaveden řídicí systém CNC strojů.
- **Čtecí zařízení** – zařízení sloužící k nahrání program. Může být USB port nebo LAN.
- **Ovládací panel** – slouží pro komunikaci obsluhy a CNC systému. Pomocí tohoto dálkového ovladače můžete spustit nebo zastavit systém, přepnout provozní režim z automatického na ruční. Můžete také korigovat posuv a velikost nástrojů, měnit počáteční polohu nástroje ve všech nebo alespoň některých souřadnicích. Na tomto dálkovém ovladači se nachází světelný alarm a digitální indikace stavu systému.
- **Dekódovací člen** – má za úkol přeměnit signál v číslicovém kódu na hodnoty vstupních signálů pro řídicí prvky pohonů. Obsahuje kontrolní obvody pro kontrolu správnosti čtecích znaků.[9]
- **Program** – kombinace počítačových instrukcí a dat. Program řídí celý proces zpracování dílů.
- **Interpolátor** – analogové nebo digitální výpočetní zařízení pro určování souřadnic bodu, který se pohybuje kontinuálně podél analyticky dané křivky. Interpolátor se používá jako řídicí zařízení v CNC.
- **PLC část** – elektronická součást průmyslového regulátoru, která se používá v systému automatizace výroby. Úkolem takového logického regulátoru je shromažďovat data, zpracovávat a transformovat je, ukládat potřebné informace do paměti, vytvářet řídicí příkazy, které jsou přijímány přes vstupy a přenášeny přes výstupy.
- **Odměřovací zařízení** – zařízení, která se používají k odměřování dráhy vykonané nástrojem
- **Pohon vřetene** – je většinou realizován asynchronním třífázovým elektromotorem řízeným frekvenčním měničem napojeným přímo na PLC část. [9]
- **Pohony os** – sestávají z krokových motorů, které jsou propojeny zpětnou vazbou s CNC systémem.

Axiální pohyby CNC stroje řídí počítač, který čte řídicí program a vydává příkazy příslušným motorům. Motory způsobují pohyb výkonných orgánů stroje. Výsledkem je obrábění dílů.

Senzory namontované na vodítkách posílají informace o skutečné pozici výkonného orgánu zpět do počítače. Toto se nazývá zpětná vazba. Jakmile se počítač dozví, že výkonný orgán stroje je v požadované poloze, provede další pohyb. Takový proces pokračuje, dokud čtení řídicího programu neskončí.

Konstrukce a design CNC strojů je podobný běžným univerzálním strojům. Jediným vnějším rozdílem mezi těmito dvěma typy strojů je, že CNC stroj má numerické řídicí zařízení

4.1 Vývoj CNC strojů

Vyměnitelné programy, které byly vtištěny na děrných štítcích pomocí binárního kódu, byly již použity v "Jacquard loom", vytvořeném v roce 1804.

V 19. století byly vyvinuty mechanické pohony založené na vačkovém mechanismu, podobné těm, které byly použity v mechanickém klavíru.

Vynálezcem prvního stroje s numerickým (softwarovým) řízením je John T. Parsons, který pracoval jako inženýr ve společnosti svého otce Parsons Inc, která na konci druhé světové války vyráběla vrtulníkové vrtule. Nejprve navrhl použít pro obrábění vrtule stroje pracující na programu, která se prováděla čtením informací z děrovaných karet.

Na začátku roku 1949 letectvo Spojených Států začalo financování společnosti Parsons Inc pro vývoj stroje, který by měl být schopen provádět frézování dílů po obvodu, které jsou určeny pro vrtulníky, letadla a další letecké techniky. Ale na rozdíl od očekávání letectva Spojených Států byl Parsons Inc nucen požádat o pomoc Massachusetts Institute of Technology.

Společnost Parsons Inc spolupracovala s MIT až do 50. roku minulého století. Ve stejném roce Massachusetts Institute koupil společnost zabývající se výrobou frézovacích zařízení značky HydroTel a přestal spolupracovat se společností Parsons Inc. Bezprostředně po přerušení smlouvy institut uzavřel smlouvu o vývoji prvního frézovacího stroje, který je řízen programem s letectvem Spojených států.

Už v září 1952 byla na výstavě vystavena frézka HydroTel a o něco později se o ní dozvěděl celý svět díky článku z časopisu Scientific American. Jednalo se o první automatické zařízení, které bylo řízeno pomocí perforované pásky.

První CNC stroj byl vyvinut a vyroben společností Bendix Corp. v roce 1954. Tato zařízení začala být používána v průmyslu obráběcích strojů a ve zdokonalování starých zařízení ve výrobě.

Po krátké době, byl v roce 1958 vyvinut první znakový programovací jazyk nazvaný APT (Automatically Programmed Tools).

V roce 1960 společnost Kearney & Trecker vytvořila první frézovací obráběcí centrum na nerotační součásti. NC systém fungoval s použitím tranzistorů. První aplikovali integrované obvody objevili se v USA koncem 60. let. V 70. letech firma Herbert představila První soustružnické centrum s rotačními nástroji. NC systém fungoval s použitím tranzistorů.

V 70. letech na se trhu objevila první soustružnická centra s rotačními nástroji pro frézování a vrtání. Také došlo k transformaci NC systémů, které umožňovaly editovat programy a byly doplňovány pamětí. Tento krok přiblížil průmysl k vytvoření prvních CNC systémů.

Společnost FANUC v roce 1972 založila první obráběcí centrum CNC FANUC ROBODRILL. Hlavním rysem obráběcího centra je technologie po počítačového číslicového řízení.

Rozvoj počítačové techniky se ve vývoji CNC obrábění dále významně promítal. V 80. letech již byly řídicí systémy opatřeny multiprocesorovými mikropočítačovými strukturami na bázi CNC/PLC a frézovací a soustružnická centra se v technologii třískového obrábění významně prosazovala. Do strojů se začínají aplikovat speciální senzory pro rozpoznání a sledování pohybu objektů. V roce 1984 uvádí firma HEIDENHEIN číslicové souvislé řízení s grafickou simulací obrábění obrobku. [10]

Devadesátá léta se nesla ve znamení zpřesňování výroby, ale také rostoucí otevřenosti a pružnosti CNC systémů. Rostoucí odlišnost používaných dílů ostatně učinila používání pružných výrobních systémů nezbytným. V roce 1996 uvedla firma Siemens na trh dosud nevídaný produkt Sinumerik – první CNC systém se zabudovanými bezpečnostními funkcemi. Rok na to představila nástroje ShopMill a ShopTurn, které umožnily sestavovat programy pro výrobu obrobků za použití grafického uživatelského rozhraní. HEIDENHEIN v polovině 90. let přichází se synchronně-sériovým rozhraním EnDat pro absolutní snímače polohy. [11]

V 21. století se objevila nová generace obráběcích center. Jejich hlavním rysem je sjednocování HW a SW (Hardware, Software). Dalším rysem je integrace do CNC obráběcích

strojů CAD/CAM systémů. V moderních řídicích systémech je doba programování spolu s délkou složitých programů mnohem menší než u dříve používaných protějšků.

Například použitím vysokorychlostního 64bitového procesu namísto 32bitového procesu se čas strávený zpracováním informací výrazně snížil. Navíc se zvyšuje řezná rychlost. Rychlost vřeten se automaticky vypočítá. Zvyšuje se možnost podrobnějšího řízení obrábění podle hodnot řezné síly.

4.2 Princip práce CNC obráběcích strojů

Řídicí systém CNC stroje vyšle ke stroji příkaz (například „zapni otáčení nástroje“). Může být zadán například stiskem tlačítka na řídicím panelu stroje nebo přímo z programu. Mechanismus CNC stroje příkaz vykoná a zašle zpětnou vazbu – informaci o jeho dokončení.

Pro zajištění automatického chodu musí být stroje vybaveny zařízením zajišťujícím pohyb nástroje vůči obrobku v jednotlivých souřadných osách. Pohony jsou motory ve spojení s posuvovými kuličkovými šrouby. Každý pohon ovládá pohyb v jedné souřadné ose. V rámci programu lze souřadnicový systém posouvat. K posunu dochází na bodu špičky nástroje, jehož pohyb se teoreticky programuje. Pohyb je nutný k určování poloměru zaoblení ostří soustruhu. Stejně tak na vztažném bodu suportu nebo vřeten, k němuž se vztahuje délková korekce nástroje. Posun je možný i v bodě nastavení nástroje. Ten leží na držáku nástroje. Bod při upnutí stroje splyne s vztažným bodem suportu nebo vřeten.

Podstatnou veličinou je skutečná poloha nástroje vůči obrobku. K tomu slouží odměřovací mechanismus. Odměřování je schopno zjistit hodnotu změny souřadnice nástroje vůči obrobku a umožňuje změnu převést do zobrazované hodnoty na monitoru řídicího systému.

Výběrem správného CNC stroje lze výrazně usnadnit a zlevnit výrobu. Zároveň s nákupem obráběcího stroje je ale potřeba odborně proškolit personál, který bude stroje programovat a ovládat. [12]

4.3 Řízení CNC obráběcích strojů

4.3.1 Obecné pojmy

Číslicové řízení (NC) slouží k automatizaci obráběcích a jiných strojů, které jsou, na rozdíl od klasických strojů, ovládaných ručně přes ruční kola nebo páky, či mechanicky automatizované vačky, obsluhované abstraktně programovanými příkazy nahranými na paměťovém médiu. První číslicově řízené stroje byly vytvořeny ve 40. a 50. letech 20. století, a to na základě stávajících nástrojů, které byly vybaveny motory řízenými instrukcemi na děrované pásce. Tyto rané servomechanismy byly rapidně vylepšeny analogovými či digitálními počítači, vytvářejícími tak moderní počítačově číslicově řízené (CNC) obráběcí stroje, které přinesly revoluci ve výrobních procesech. [2]

4.3.2 CNC systémy. Klasifikace CNC systémů

Systém číslicového řízení je kombinací funkčně propojených technických a softwarových metod a nástrojů, které poskytují numerické řízení stroje.

Podle počtu informačních toků jsou číslicové řídicí systémy rozděleny na otevřené a uzavřené.

4.3.3 Otevřené systémy

V otevřených systémech se používá jeden proud informací a není kontrola nad prováděním daného programu a zpětná vazba.

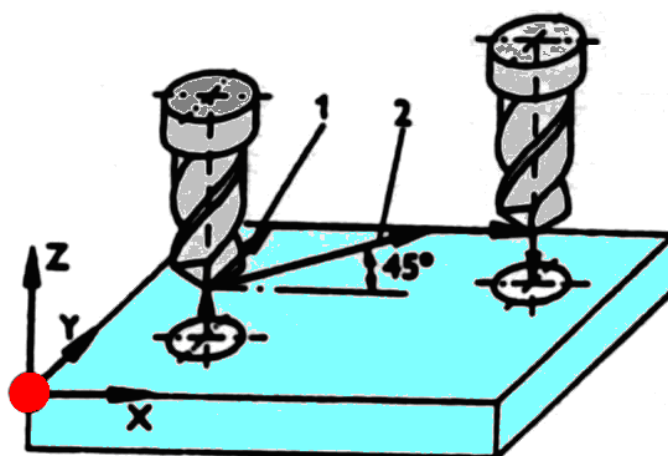
4.3.4 Uzavřené systémy

Uzavřené systémy pracují na základě sdílení informací o nastavení a zpětnovazebních informací obsahujících údaje o skutečné poloze pracovních orgánů stroje, rychlosti pohybu atd.

V závislosti na způsobu řízení výkonného orgánu existují: polohové, pravoúhlé a se souvislým řízením.

4.3.4.1 Systémy stavění souřadnic (polohové)

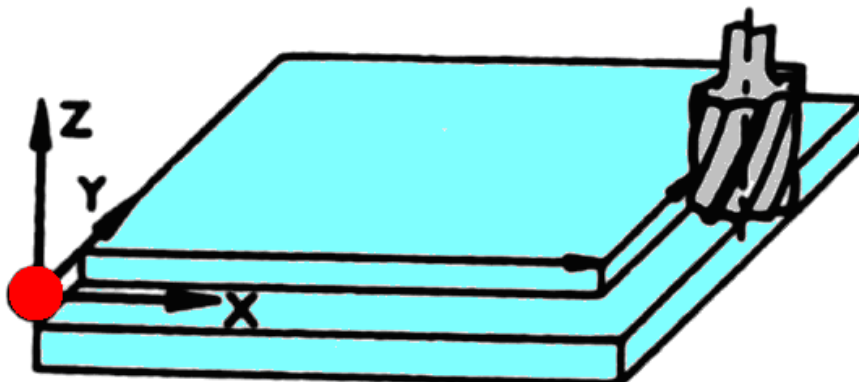
Polohové řídicí systémy umožňují automatické nastavení pracovních orgánů do polohy určené programem řízení stroje a během pohybu pracovního orgánu se neprovádí žádné zpracování. Tyto systémy se používají ve vrtacích a vyvrtávacích strojích.



Obr. 2) Polohové řízení [13]

4.3.4.2 Pravoúhlé řídicí systémy

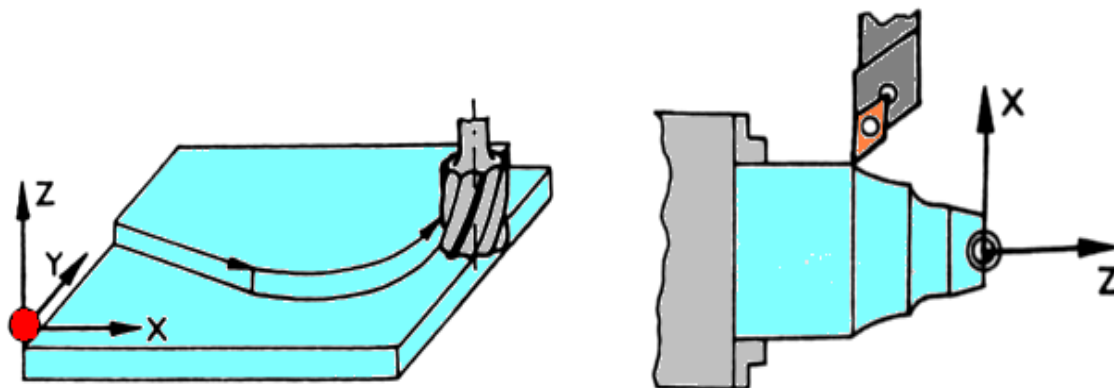
Při pravoúhlém řízení je přestavování nástroje prováděno rovnoběžně se souřadnými osami. V momentě, kdy je dokončen pohyb v jedné souřadnici, může nastat obrábění také v souřadnici druhé. Pravoúhlé řízení je vhodné pro soustružení válcových ploch nebo pro frézování pravoúhlých obrobků. Bývá využíváno u jednoduchých strojů, jako jsou vrtačky, soustruhy nebo pily. [3]



Obr. 3) Pravoúhlé řízení [13]

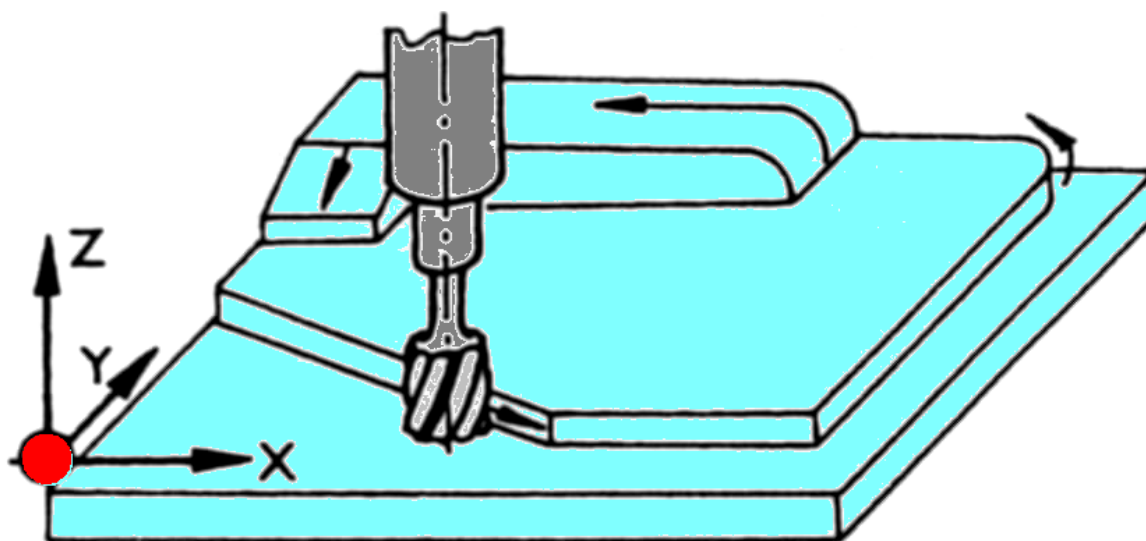
4.3.4.3 Systémy se souvislým řízením

Souvislá řízení – umožňují výpočet korekce a výpočet geometrie. Např. souvislé ř. soustruhu umožňuje pohyb nástroje v rovině Z–X (ve dvou dimenzích) po libovolných úkosech a kruhových obloucích.



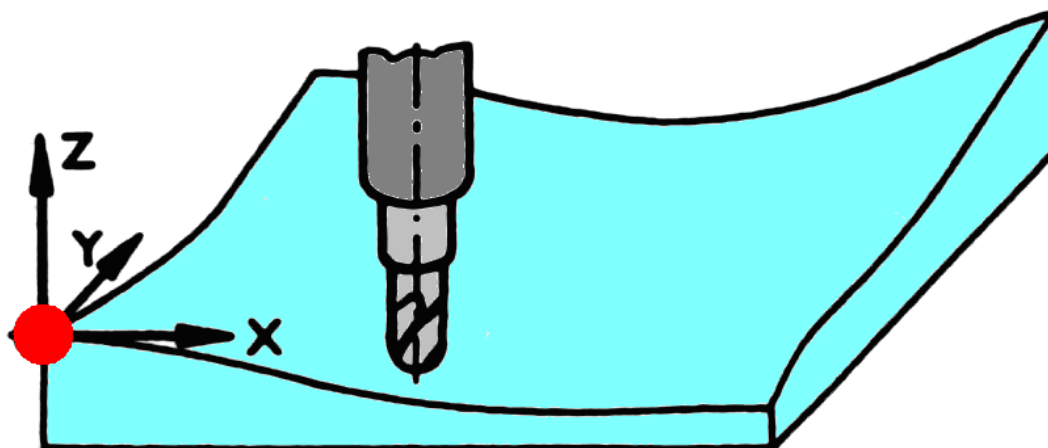
Obr. 4) Souvislé řízení 2D [13]

Souvislá řízení – u mnohých frézek se může provádět lineární interpolace volitelně vždy jen v jedné rovině (X–Y, Z–X nebo Y–Z).



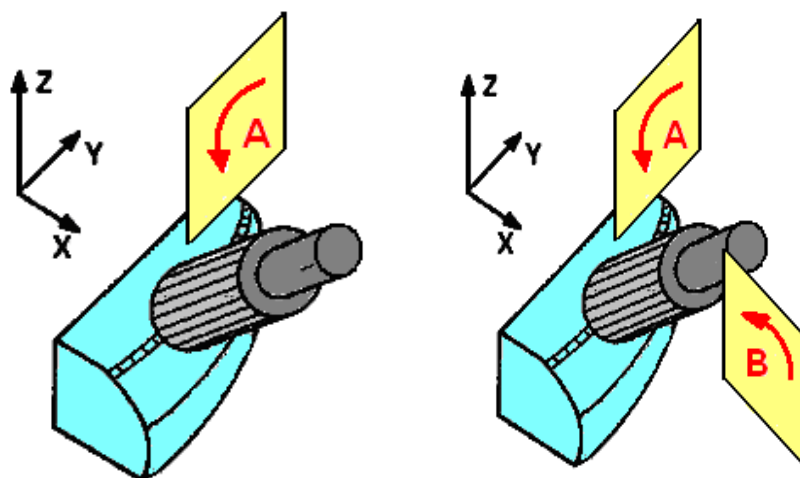
Obr. 5) Souvislé řízení 2.5 D [13]

Souvislá řízení – pomocí souvislého řízení 3D lze u frézek obrábět libovolné obrysy a prostorové plochy. Přitom musí interpolátor vypočítávat pohyb ve dvou osách v závislosti na třetí ose. Zde je zapotřebí více výpočetních operací než u řízení 2D. Je nutný mikroprocesor s vysokým výkonem.



Obr. 6) Souvislé řízení 3D [13]

Jestliže jsou vedle pohybu v osách X, Y a Z možné ještě další současné pohyby (např. otočný pohyb kolem osy X=osa A), mluvíme pak o řízení 4D popřípadě 5D. [4]



Obr. 7) a) Souvislé řízení 4D [13], b) Souvislé řízení 5D [13]

4.3.5 Souřadné systémy u číslicově řízených strojů

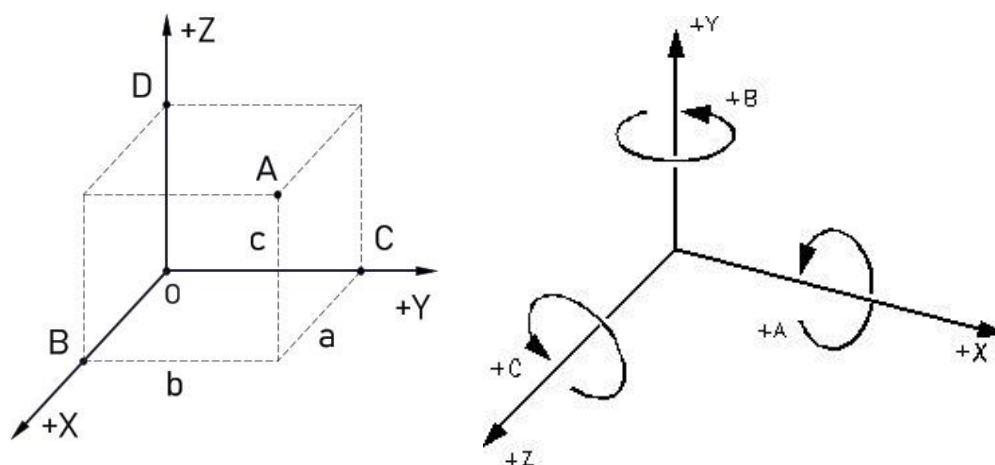
Programování a zpracování CNC strojů je úzce spojeno se souřadnicovými systémy. Souřadnicové osy jsou rovnoběžné s vodítky stroje a umožňují programování a uvádějí směr a velikost pohybu pracovních těles.

4.3.5.1 Kartézský souřadný systém

Pohyb pracovních orgánů CNC stroje v prostoru je specifikován v pravoúhlém kartézském souřadném systému.

Pro zajištění jednotného přístupu k programování CNC strojů je použit standardní (pravý) kartézský souřadný systém, ve kterém osy X, Y, Z definují lineární posuny nástrojů vzhledem k pohyblivým částem stroje.

Pokud existují další orgány, nástroj nebo obrobek mohou provádět kruhové pohyby, takové pohyby jsou označeny písmeny A (kolem osy X), B (kolem osy Y), C (kolem osy Z)

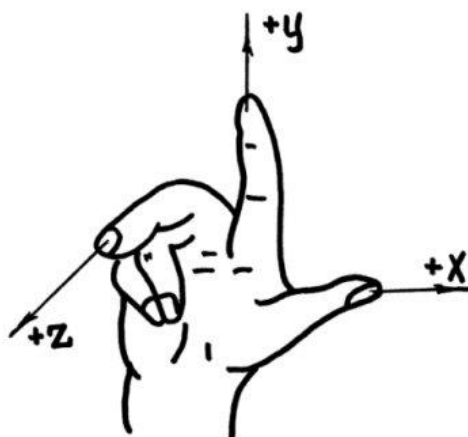


Obr. 8) Kartézský souřadný systém [14]

Ve většině případů jsou osy souřadnic stroje vedeny podél vodítek, což umožňuje při programování zpracování nastavovat směr a velikost pohybu pracovních těles.

Vývojáři vždy uvádějí v technické dokumentaci stroje směr os podél pracovních těles a limit pohybu podél nich, jakož i začátek souřadného systému.

Kladný směr os souřadného systému je určen pravidlem pravé ruky. Palec ukazuje kladný směr osy (X), ukazováček označuje osu (Y) a prostředníček označuje osu (Z). Kladný směr otáčení kolem těchto os je určen následujícím způsobem: pokud umístíte palec ve směru osy, ostatní ohnuté prsty indikují kladný směr otáčení.



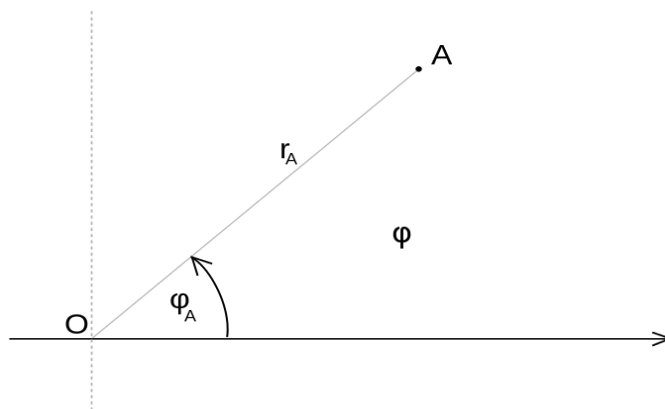
Obr. 9) Pravidlo pravé ruky [14]

4.3.5.2 Polární souřadný systém

V některých případech se používá polární souřadný systém.

Polární souřadnicový systém je dvourozměrný souřadný systém, ve kterém je každý bod roviny jednoznačně určen dvěma čísly – polárním úhlem a polárním poloměrem. Polární souřadnicový systém je zvláště užitečný v případech, kdy je vztah mezi body snazší znázornit ve formě poloměrů a úhlů.

Polární souřadnicový systém je definován paprskem, který se nazývá nulový paprsek nebo polární osa. Bod, ze kterého tento paprsek vystupuje, se nazývá počátek neboli pole. Jakýkoliv bod na rovině je definován dvěma polárními souřadnicemi: radiálními a úhlovými.



Obr. 10) Bod v polární soustavě souřadnic [15]

4.3.6 Vztažné body u CNC strojů

Řídicí program musí obsahovat hodnoty souřadnic vztažných bodů, které byly popsány při vývoji dráhy nástroje.

R – referenční bod – bod stroje R se používá k řízení pohybu výkonných těles stroje. Je pevně stanovený výrobcem. Souřadnice bodu R mají konstantní hodnotu vzhledem k bodu M, zatímco poloha bodu R podél každé osy souřadnic je pevně stanovena senzorem a je zohledněna řídicím programem. Pomocí bodu R je navázáno spojení mezi nulovým bodem stroje M a bodem automatického nulování následných pohonů po každém zapnutí a vypnutí stroje.

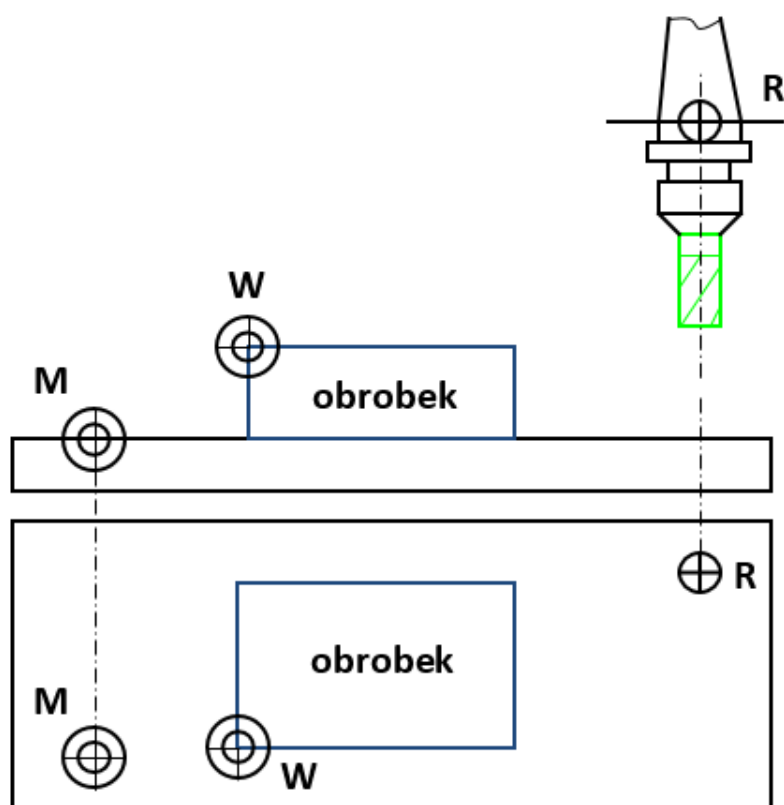
M – nulový bod stroje – jedná se o fyzickou polohu nastavenou výrobcem stroje pomocí koncových spínačů nebo senzorů. Po zapnutí stroje je nutné přesunout výkonné orgány do nulového bodu za účelem synchronizace řídicího systému a stroje.

W – nulový bod obrobku – nulový bod obrobku W je počátek souřadného systému obrobku. Jeho umístění v souřadném systému stroje je přiřazeno volně, na základě vlastností zpracování tohoto obrobku.

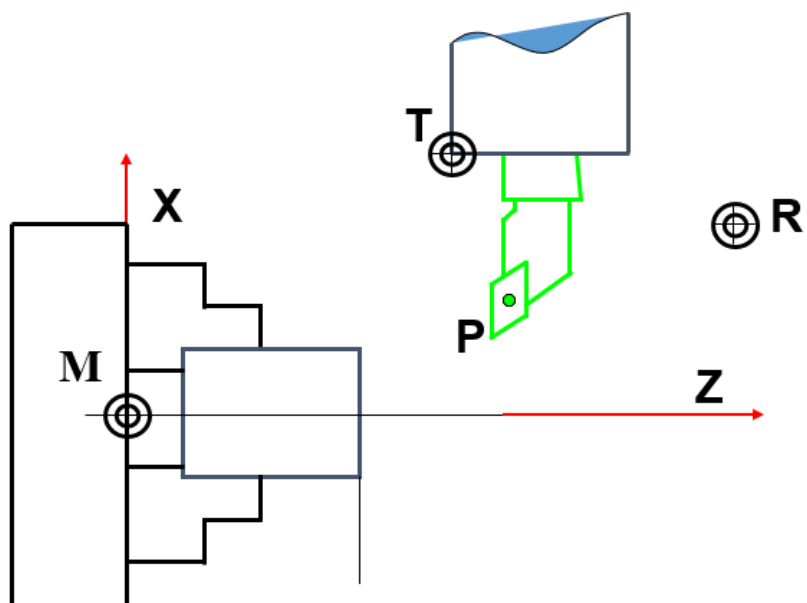
N – nulový bod nástrojového drátku stroje – je základním bodem prvku stroje, který nese držák s nástrojem. Poloha tohoto bodu na stroji je nastavena výrobcem a nesmí být změněna.

T – nulový bod výměny nástroje – určuje polohou nulového bodu upínače nástrojů

P – nulový bod nástroje – určuje polohu špičky nástroje v souřadném systému soustruhu



Obr. 11) Rozmístění vztažných bodů na CNC frézce [16]



Obr. 12) Rozmístění vztažných bodů na soustruhu [17]

4.3.7 Programovací jazyk

Zpracování programování na CNC strojích je prováděno v jazyce, který se nazývá ISO jazyk 7 bitů nebo jazyk G a M kódů.

Výrobci CNC systémů dodržují tyto standardy, aby popsali základní funkce, ale umožňují změny, pokud jde o speciální možnosti jejich systémů.

Japonské FANUC CNC systémy (FANUC CORPORATION) patřily mezi první, které byly přizpůsobeny pro práci s G a M kódy a využívaly tento standard co nejúplněji.

CNC systémy jiných známých výrobců, jako jsou SINUMERIK (SIEMENS AG) a HEIDENHAIN, mají také schopnost pracovat s G a M kódy, nicméně některé specifické kódy se mohou lišit. Rozdíl v programování specifických funkcí je uveden v dokumentaci k příslušnému CNC systému.

G kód (ISO kód) je programovací jazyk obráběcího stroje, kterým se vykonávají pohybové a pomocné instrukce pro obráběcí stroj. Základní princip programování pomocí G kódu je společný pro soustruhy i frézky. Programování soustružnických a frézovacích operací se liší na úrovni specifických příkazů pro jednotlivé operace. [5]

M kódy se používají v CNC programu jako pomocné a přípravné funkce, které slouží k ovládání periferií stroje. Ovládají například čerpadla pro chlazení nástrojů, vzduchové ventily nebo způsobují zpevnění nebo uvolnění hydraulicky upínaných mechanismů (otočné stoly, palety nebo soustružnická sklíčidla). Pomocí M kódu je možné spustit otáčky vřetene nebo provést automatickou výměnu nástroje. Také M-kódy jsou často společné pro Soustružnická a frézovací centra. [5]

4.3.8 Rozdělení programování CNC strojů

Pro CNC stroje existují tři metody programování:

4.3.8.1 Ruční programování

Při ručním psaní softwaru pro CNC stroj je nejlepší používat osobní počítač s textovým editorem nainstalovaným v operačním systému. Metoda ručního programování je založena na záznamu potřebných dat ve formě kódů G a M a souřadnic pohybu zpracovatelského nástroje pomocí počítačové klávesnice nebo listu papíru.

Ruční programování je velmi dlouhé. Provozovatel CNC stroje však musí dobře porozumět technikám ručního programování.

Metoda ručního programování se používá v případě zpracování jednoduchých částí nebo v důsledku nedostatku potřebných vývojových nástrojů.

4.3.8.2 Programování na ovládacím panelu CNC

Moderní CNC stroje jsou zpravidla vybaveny možností tvorby pracovních řídicích programů přímo na konzole, vybavených klávesnicí a displejem. Pro programování na dálkovém ovladači lze použít jak interaktivní režim, tak i zadání kódů G a M. V tomto případě lze již vytvořený program otestovat pomocí grafického imitačního zpracování na displeji.

4.3.8.3 CAD/CAM systémy

Systém CAM automaticky vypočítává cestu pohybu obráběcího nástroje a používá se v programování pro CNC stroje v případě zpracování složitých dílů, kdy je nutné použít mnoho různých operací a režimů zpracování.

CAD je počítačově podporovaný návrhový systém, který poskytuje schopnost modelovat produkty a minimalizuje čas strávený při realizaci projektové dokumentace.

Vývoj řídicích programů pomocí systémů CAD/CAM výrazně zjednodušuje a urychluje proces programování. Při použití systému CAD/CAM nemusí obsluha provádět časově náročné matematické výpočty, což urychluje proces vytváření součástí.

4.3.9 Definice CNC programu

Program je uspořádaný rozpis jednotlivých geometrických a technologických příkazů a dat v takové formě a posloupnosti, jak jej vyžaduje software NC stroje. [6]

4.3.10 Struktura CNC programu

Řídicí program se skládá ze sledu snímků a obvykle začíná symbolem začátku programu (%) a končí M02 nebo M30.

4.3.10.1 Programové funkce pomocné M – význam některých z nich

- M00 Programový stop
- M03 Start vřetene doprava
- M04 Start vřetene doleva
- M05 Zastavení vřetene
- M08 Spuštění chlazení
- M09 Zastavení chlazení
- M17 Konec podprogramu nebo cyklu
- M30 Konec informace (konec programu)
- M40 Zapnutí kontinuálního navazování bloků
- M99 Konec informace a návrat [7]

4.3.10.2 Programové funkce přípravné G – význam nejdůležitějších

- G00 Rychloposuv
- G01 Přímková interpolace (posuv po přímce)
- G02 Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
- G03 Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
- G40 Zrušení korekce dráhy nástroje
- G41 Dráhová korekce nástroje zprava
- G42 Dráhová korekce nástroje zleva
- G90 Zadávání rozměrů absolutně
- G91 Zadávání rozměrů přírůstkově
- G98 Najetí na referenční body stroje [7]

Každý snímek programu představuje jeden krok zpracování a může začít s číslem snímku (N1...N10 atd.), a končí se symbolem “konec snímku” (;).

Snímek řídicího programu se skládá z operátorů ve formě slov (G91, M30, X10 atd.). Slovo se skládá ze symbolu a čísla představujícího aritmetický význam.

Adresy X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C, D, E jsou rozměrové posuny používané k označení souřadnicových os, podél kterých se provádí posuny.

Slova popisující pohyby mohou mít znak (+) nebo (-). Je-li znak chybí pohyb je považován za kladný.

4.3.10.3 Význam adres DIN 66 003

- A, B, C – úhlové rozměry kolem os X, Y, Z (otáčení)
- D – průměr díry, čepu, kružnice
- E – čas
- F – posuvová funkce
- G – přípravné funkce
- I, J, K – interpolační parametry v řízených osách X, Y, Z
- L – adresa bloku podprogramu
- M – pomocné funkce
- N – číslo bloku (věty)
- – číslo podmínky
- P – číslo parametru
- R – poloměr kruhového oblouku
- S – funkce otáček vřetene
- T – nástrojová funkce
- U, V, W – pomocné rozměry v základních osách
- X, Y, Z – primární pohyby v řízených osách. [7]

4.4 Výhody použití CNC strojů

První zřejmou výhodou použití CNC strojů je vyšší úroveň automatizace výroby. Případy zásahu obsluhy stroje do procesu výroby dílů jsou minimalizovány. CNC stroje mohou pracovat téměř autonomně a vyrábět produkty s trvale vysokou kvalitou. V tomto případě je hlavním úkolem provozovatele především tyto operace: instalace a demontáž dílů, nastavení nástrojů atd. V důsledku toho může jeden pracovník obsluhovat několik strojů najednou.

Druhou výhodou je flexibilita výroby. To znamená, že pro zpracování různých dílů stačí jen vyměnit program. A již osvědčený a testovaný program lze použít kdykoliv a kolikrát.

Třetí výhodou je vysoce přesné obrábění. Podle stejného programu můžeme vyrobit tisíce téměř identických dílů s požadovanou kvalitou.

A konečně, software pro číselné řízení vám umožní manipulovat s takovými součástmi, které nelze vyrobit na běžných zařízeních. Jedná se o části se složitými prostorovými tvary, jako jsou matrice a formy.

Tímto způsobem, CNC stroj umožňuje rychle vytvořit počítačově navržený produkt, vyrábět mnohem rychleji a lépe než ručně

4.5 Rozdělení CNC obráběcích strojů

Existují stovky různých modelů CNC obráběcích strojů, každý z nich má svou vlastní funkci. Neexistuje žádná jednotná klasifikace pro jejich rozdělení.

Nejdůležitějšími faktory, na kterých závisí klasifikace, jsou:

- Druh zpracování;
- Míra přesnosti;
- Stupeň univerzálnosti;
- Úroveň automatizace;
- Účel;
- Metoda výměny nástroje.

4.5.1 Druh zpracování

Nejběžnějším typem klasifikace je rozdělení podle povahy práce, kterou provádí CNC obráběcích stroj. S ohledem na tento faktor se oddělení provádí v závislosti na tom, pro co se zařízení používá:

- Soustružnické práce;
- Frézování;
- Vrtání;
- Broušení;
- Děrování otvorů;
- Ohýbání listů.

4.5.2 Míra přesnosti

Agregáty s číselným řídicím systémem zajišťují vysokou přesnost zpracování. Ale i v tomto případě se míra přesnosti liší podle toho, který model se používá. Indikátor přesnosti je označen písmenem v označení modelu.

- Normální přesnost není označena;
- H — zvýšená přesnost;
- P — vysoká přesnost;
- SP — extrémně vysoká přesnost;
- UP — nejvyšší přesnost.

4.5.3 Stupeň univerzálnosti

Označuje, jak široká je funkce zařízení. Stupeň univerzálnosti a její vlastnosti určují, v jaké oblasti může být zařízení použito a pro co.

Existují tři typy strojů:

- univerzální – pro zpracování polotovarů, různých tvarů a materiálů;
- specializovaný – pro zpracování polotovarů obecné formy;
- speciální – pro zpracování konkrétního obrobku.

4.5.4 Úroveň automatizace

Existují stroje s nízkou, střední a vysokou úrovní automatizace.

4.5.4.1 Nízká úroveň automatizace

Ve strojích s nízkou úrovní automatizace jsou naprogramovány pouze pohyby výkonných jednotek řízených z CNC jednotky. Tyto stroje se vyznačují malým počtem technologických příkazů, které přicházejí z jednotky CNC do výkonných orgánů stroje. Tyto příkazy jsou uloženy v kódované podobě na CNC jednotce, nevyžadují zpracování a jsou přenášeny do výkonných orgánů přímo nebo prostřednictvím výkonových relé elektro-automatického zařízení stroje.

4.5.4.2 Střední úroveň automatizace

U strojů s průměrnou úrovní automatizace se používá velké množství technologických příkazů. Tyto příkazy vyžadují zpracování, které je zpravidla prováděno elektro-automatickým zařízením umístěným ve speciální skříni a sestávající z reléových nebo elektronických obvodů. Zpracování příkazů spočívá v jejich dešifrování, při které je příkazový kód přijatý CNC jednotkou převeden na signály, které ovládají výkonné orgány stroje. Kromě dešifrování elektro-automatika jednotka ovládá různé automatické cykly (výměna nástroje, vrtání atd.)

4.5.4.3 Vysoká úroveň automatizace

Ve strojích s vysokou úrovní automatizace je zpracování technologických příkazů prováděno CNC jednotkou.

4.5.5 Účel

Technologické možnosti zařízení nám umožňují určit, který konkrétní model je nejvhodnější pro provedení konkrétního úkolu. Tento faktor umožňuje rozdělit stroje do šesti skupin:

- Frézování;
- Vrtání a vrtání;
- Soustružení;
- Broušení;
- Elektro fyzikální;
- Víceúčelové.

4.5.5.1 CNC frézka

Jedná se o stroj určený k provádění různých druhů řezání obrobků, kde se řízení provádí pomocí číselného řídicího systému. CNC frézovací stroje umožňují provádět následující technologické operace: frézování, vrtání, vyvrtávání, řezání závitů, vystružování, zahlubování atd. Nástroj upevněný ve vřetenu stroje provádí hlavní rotační pohyb a obrobek upevněný na stole provádí translační pohyb.

CNC frézovací stroje jsou vybaveny automatickým systémem výměny nástrojů. Potřebné zásoby nástrojů se nacházejí v revolverových hlavách nebo v zásobnících s bubnovým nebo řetězovým typem.

Pro zlepšení kvality zpracování jsou stroje vybaveny laserovými a kontaktními snímači poškození nástroje, snímači polohy nástroje a měření obrobků.

CNC frézky lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- Vertikální obráběcí centra;
- Horizontální obráběcí centra.

4.5.5.1.1 Vertikální obráběcí centra

Jedná se o nejběžnější CNC frézovací zařízení v moderní výrobě. Uspořádání vertikálního frézovacího obráběcího centra spočívá ve vertikálním uspořádání vřetena a s horizontálním uspořádáním pracovního stolu.

Vyšší produktivita je neoddělitelně spojena s vysokou rychlostí zpracování a v důsledku toho ohřevem obrobku a oblasti nástroje. Pro odstranění tepla proudí chladivo do místa obrábění prostřednictvím vnějších ohebných kanálů, nebo je přiváděno do řezné zóny přes vřeteno. V druhém případě je chlazení efektivnější, což umožňuje zvýšit rychlost a přesnost zpracování.

Většina vertikálních obráběcích centr má tři osy – X, Y a Z. Některé stroje mají rotační provedení vřetenové hlavy a stolu s možností pohybu po jedné, dvou nebo třech souřadnicích, což umožňuje manipulovat s nejsložitějšími povrchy s minimálním počtem instalací.

Vertikální obráběcí centra jsou vybavena automatickým systémem výměny nástrojů. Automatické systémy výměny nástrojů ve vertikálních obráběcích centrech mají zpravidla až 24-30 pozic. To je dáno tím, že jejich konstrukce je kruhový buben, jako revolver, jehož osa otáčení je vertikální nebo horizontální, zvětšení průměru bubnu měniče je omezeno hloubkou stroje.



Obr. 13) Vertikální obráběcí centrum Akira Seiki PC 500 [18]

4.5.5.1.2 Horizontální obráběcí centra

Uspořádání horizontálních obráběcích center umožňuje dosáhnout vysoké tuhosti strojů, což je velmi důležité při zpracování velkých těžkých obrobků. Charakteristickým znakem těchto strojů je horizontální uspořádání vřetena s horizontálním uspořádáním pracovní plochy. Plocha je zpravidla otočná, což umožňuje zpracovávat obrobek upevněný na ní ze čtyř stran. Většina horizontálních obráběcích center je vybavena automatickými systémy výměny obrobků pásového typu.



Obr. 14) Horizontální obráběcí centrum Akira Seiki H3XP [19]

4.5.5.2 Vrtací a vyvrtávací stroje

Mají podobné schopnosti, ale jejich hlavním úkolem je soustředit se na zpracování otvorů.

4.5.5.3 CNC soustruhy

Jedná se o stroje určené k provádění různých typů obrábění obrobků typu rotačních těles, kde se řízení provádí pomocí numerického řídicího systému. CNC soustruhy umožňují provádět následující technologické operace: soustružení a vyvrtávání válcových, kuželových a tvarových ploch, ořezávání a obrábění konců, vrtání, řezání závitů atd. Rotační pohyb obrobku je hlavním pohybem a pohybem řezného nástroje je translační pohyb.

CNC soustruhy lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- Horizontální CNC soustruhy (s vodorovnou osou otáčení vřetena)
- Vertikální CNC soustruhy (s vertikální osou otáčení vřetena)

4.5.5.3.1 Horizontální CNC soustruhy

Jsou jedním z nejvyhledávanějších typů zařízení pro práci s kovem, tvoří většinu CNC strojů. Mají otočnou nástrojovou hlavu pro 12 nástrojů a manuální nebo programově řízený koník. Zvláštnost horizontálních CNC soustruhů je, že můžeme upínat naháněné rotační nástroje do nástrojové hlavy co nám umožňuje frézování drážek a osazení, mimostředné vrtání přírub apod.



Obr. 15) Horizontální soustruh Akira Seiki SL 15 [20]

4.5.5.3.2 Vertikální CNC soustruhy

Používají se především pro obrábění těžkých velkých dílů. Vertikální CNC soustruhy jsou určeny pro hrubování a konečnou úpravu kovů, ocelí, různých slitin, jakož i pro úpravu přístupných nekovových materiálů. Vertikální CNC soustruhy provádějí soustružení vnějších a vnitřních válcových ploch, zkosených a profilovaných povrchů, vrtání a rozkládání otvorů, vnitřních závitů, frézování, zahlubování a řady dalších operací.



Obr. 16) Vertikální soustruh CNC Verturn II VDM 1250 CNC [21]

4.5.5.4 CNC brusky

Jsou určeny pro broušení vnějších, vnitřních a koncových povrchů obrobků, které mají přímočarý a křivočarý tvar.

4.5.5.5 CNC elektro fyzikální stroje

Elektro fyzikální skupina zahrnuje tři typy strojů:

- Elektrojiskrové;
- Elektrochemické;
- Laserové.

Tyto typy strojů umožňují komplexní zpracování. Používají se, pokud není možné obrobek zpracovat jiným způsobem. Hlavním pracovním nástrojem zařízení je elektrodový vodič. Pro jeho výrobu se používají: mosaz, měď, molybden, wolfram. Přítomnost antikorozních přísad zajišťuje výrobu kvalitnějších děl.

4.5.5.6 Víceúčelové CNC stroje (obráběcí centra)

Víceúčelový CNC stroj (obráběcí centrum) je vysoce automatizovaný CNC obráběcí stroj, který je vybaven velkokapacitním zásobníkem nástrojů a automatickým měničem nástrojů namontovaným ve vřetenu. Při jedné montáži obrobku provádí mechanické zpracování velkého množství povrchů různými způsoby (frézováním, vrtáním, soustružením).

Obráběcí centra mohou pracovat s polotovary z jakýchkoli materiálů, včetně dřeva, dřevotřískových desek, překližek, kompozitních hliníkových panelů (např. "Alucobond", "Dibond"), plastů, organického skla, umělého a přírodního kamene, neželezných kovů, ocelí, hliníkové a duralové slitiny, titan atd.

Na takových strojích se obrobek automaticky pohybuje podél tří souřadnicových os a jeho otáčení je kolem osy otáčení.

Víceúčelové stroje mohou být s jedním vřetenem nebo s otočnými pět vřetenovými a osmi vřetenovými hlavami.

U víceúčelových strojů se provádí téměř všechny obráběcí procesy:

- Vrtání;
- Vystružování;
- Vyvrtávání;
- Řezání závitu;
- frézování rovin a složitých zakřivených ploch atd.

Produktivita víceúčelových strojů je 3–8krát vyšší než u univerzálních strojů.

Náklady na CNC obráběcí centra jsou poměrně vysoké, což je však kompenzováno výrobními možnostmi zařízení. Obráběcí centra umožňují vyrábět výrobky vysokým tempem, protože se snižuje čas strávený přenosem obrobků mezi stroji přizpůsobenými pro různé technologické operace. Použití takových zařízení je užitečné zejména tam, kde je vyžadováno komplexní zpracování se schopností kombinovat různé technologické postupy a získat hotový produkt.



Obr. 17) Vertikální portálové multifunkční centrum MCU 700 V[T]-5X [22]

4.5.6 Způsob změny nástroje.

Nástroj na stroji vyžaduje pravidelnou výměnu a seřízení. V tomto ohledu se rozlišuje jiný typ klasifikace – metodou změny mechanismu zpracování. Podle tohoto typu klasifikace existují tři způsoby změny:

- ruční výměna a ruční upevnění;
- ruční výměna a mechanické upevnění;
- automatická výměna.

Přístroje s automatickou výměnou nástroje nevyžadují zásah obsluhy během provozu. Patří do třídy moderních drahých zařízení a jsou kompatibilní s různými CNC systémy.

4.6 Konstrukční prvky CNC strojů

4.6.1 Rámy obráběcích strojů

Lože, stojan, příčník a pomocní prvky jsou základních částí rámu obráběcího stroje. Rámy jsou vyráběny se zvýšenou odolností proti tuhosti a vibracím. Hlavním požadavkem na rám je dlouhodobé zajištění správné vzájemné polohy uzlů a dílů na něm namontovaných, se všemi poskytnutými režimy provozu stroje za normálních provozních podmínek.

Hlavní části rámu jsou vodítka, na kterých jsou namontovány díly a sestavy stroje. Tyto části a sestavy se mohou pohybovat podél vodítek rámu, nebo mohou být s ním pevně spojeny.

Materiály pro rámy obráběcích strojů mohou být dalších typů:

- Odlitky z šedé nebo tvárné litiny;
- Svařence z oceli třídy 11;
- Přírodní žula (granit);
- Polymer-beton;
- Vláknové kompozity na bázi uhlíkových vláken;
- Keramika na bázi Al a Si;

- Vysokopevnostní beton HPC;
- Hybridní struktury a materiály.

4.6.2 Vodítka CNC strojů

Mají vysokou odolnost proti opotřebení a poskytují nízké tření, což umožňuje snížení výkonu servopohonu, což zvyšuje přesnost pohybu.

Jsou z několika typů:

- kluzná vedení;
- válečková vedení;
- kombinované.

Kluzná vedení vytvářejí ve formě dvojice dvou různých materiálů "ocel a plastový povlak", aby se snížil součinitel tření. Válcová vedení mají vysokou životnost a vyznačují se nízkým třením. V takových vodičkách se používají ocelové lišty, na kterých se pohybují válečkové podpěry.

4.6.3 Hlavní pohon

Musí být schopen plynule regulovat rychlost, vnímat velké přetížení a pracovat v znečištěném prostředí. Obvykle asynchronní elektromotory slouží jako pohony, méně často regulované elektromotory stejnosměrného proudu a elektromotory ve spojení s hydraulickými zesilovači.

4.6.4 Vedlejší pohon

Je jedním z nejdůležitějších prvků CNC obráběcího stroje, který určuje celkovou chybu zpracování. Vyznačuje se minimální možnými mezery, malým časem rozběhu a brzdění, malými silami tření, zvýšenou tuhostí kinematického řetězce a rozšířeným rozsahem regulace posuvu.

Jako pohon používají synchronní motory na permanentních magnetech, jsou vybaveny snímači zpětné vazby a brzdami. Méně často používané asynchronní motory.

4.6.5 Vřeteno

Vřetenem se obvykle rozumí motor, na kterém je upevněna speciální vložka nebo kleština určitého průměru, upevňující řezná zařízení (rytce, řezačky, nože, vrtáky) pro zpracování různých materiálů. Existují dvě hlavní podskupiny takových zařízení: amatérská vřetena a zařízení používaná v průmyslu. Zařízení, která se používají v továrnách a dalších velkých podnicích, jsou vždy určena pro velmi velké zatížení. Pro provoz těchto zařízení je nutný speciální vodní chladicí systém.

Konstrukce každého vřetena je uspořádána podle stejného principu. Hřídel rotoru je v pouzdru držen valivými ložisky. Rotační pohyby jsou zajištěny vestavěným asynchronním elektromotorem. Upínací kleštiny jsou upevněny na hřídeli, což umožňuje upevnění nástrojů s určitým průměrem dířku.

4.6.6 Podsystem zpětné vazby

Hlavním úkolem podsystemu zpětné vazby je dodávat řídicímu systému informace o rychlosti elektromotorů a skutečné poloze pracovních nástrojů. Podsystemy zpětné vazby mohou být uzavřené nebo otevřené.

- Uzavřené systémy se používají ke kontrole požadovaných parametrů vnější snímače zpětné vazby;
- Systémy otevřeného typu mohou zaznamenávat pouze přítomnost nebo nepřítomnost signálu z řídicího podsystemu. Tyto systémy nemohou poskytovat informace o skutečné poloze nástroje a nepoužívají se v moderních CNC strojích.

Snímače zpětné vazby jsou zařízení, která převádějí mechanické veličiny sledovaných parametrů na elektrické signály.

Systém CNC používá:

- snímače polohy – sledování polohy pracovního těla;
- snímače rychlosti;
- snímače stavu výkonných orgánů.

V současné době všechny CNC obráběcí stroje jsou uzavřené řídicí systémy a mají zpětné senzory. V CNC strojích se používají senzory různých provedení: magnetické, fotoelektrické, indukční, elektrické, optické, ultrazvukové atd.

4.6.7 Systémy automatické výměny nástrojů

Automatická výměna nástrojů je jednou z hlavních vlastností CNC obráběcích strojů. Ve všeobecném případě se pro automatizaci výměny nástrojů používá systém zařízení a mechanismů sestávající ze dvou hlavních prvků:

- zásobník, který se používá k vytvoření zásoby nástrojů dostatečných pro zpracování jednoho nebo několika polotovarů;
- automatické výměny nástrojů, které přenášejí nástroj ze zásobníku na vřeteno stroje a zpět.

4.6.8 Pomocné prvky CNC strojů

Zahrnuje mazací systém, nakládací zařízení, upínací zařízení, čističe třísek atd.

5 PRŮMYSL 4.0

Čtvrtá průmyslová revoluce, známá pod názvem Průmysl 4.0, se původně objevila v roce 2011 jako projekt zaměřený na zlepšení konkurenceschopnosti zpracovatelského průmyslu.

Specialisté navrhli integrovat do průmyslových procesů tzv. „Kyberneticko-fyzikální systémy“, nebo automatické stroje a obráběcí centra, které jsou připojeny k internetu. Cílem je vytvořit takové systémy, které by strojům umožnily nezávisle (autonomně) měnit výrobní procesy podle potřeby.

Digitální přístup zahrnuje všechny fáze životního cyklu výrobku, včetně návrhu a vytvoření prototypu, úpravy a údržby výrobní linky, kontroly a optimalizace výroby, jakož i údaje získané zpětnou vazbou od zákazníků a spotřebitelů.

Průmysl 4.0 mění nejen výrobní proces, ale i rozsah služeb souvisejících s vyrobenými výrobky. CPS změní tradiční logiku výroby, protože každý pracovní objekt sám určí, jakou práci potřebuje provést pro výrobu. Tato zcela nová architektura průmyslových systémů může být zavedena postupně prostřednictvím digitální modernizace stávajících výrobních zařízení. A to znamená, že tento koncept může být realizován nejen ve zcela nových podnicích, ale může být postupně nasazen do stávajících podniků v procesu evolučního vývoje.

5.1 Průmysl 4.0: pojem a koncepty

Koncept Průmyslu 4.0 byl poprvé představen německou federální vládou jako strategický plán rozvoje německého průmyslu, založený na kombinaci průmyslových zařízení a informačních systémů v jediném informačním prostoru, který jim umožní interakci mezi sebou a vnějším prostředím bez lidské účasti. Číslo „4.0“ znamená, že tento směr průmyslového rozvoje má tak velký potenciál, že nevyhnutelně povede ke čtvrté průmyslové revoluci.

5.2 První průmyslová revoluce

První průmyslová revoluce začala vynálezem parního stroje Jamesem Watem a během 18. - 19. století vytvořila primární industrializaci v Evropě. Tato klasická revoluce byla spojena s dalšími inovacemi – sprádkáním bavlněné příze a použitím koksu v metalurgii.

5.3 Druhá průmyslová revoluce

Druhá průmyslová revoluce nastala na počátku 20. století, s příchodem elektřiny, a také vynálezem Henry Fordem dopravníku, díky kterému se podařilo nejen vytvořit obrovský trh, ale také, aby auto bylo cenově dostupné pro lidi. Po asi 30 letech, díky této revoluci, životní úroveň začal růst rychleji než dříve.

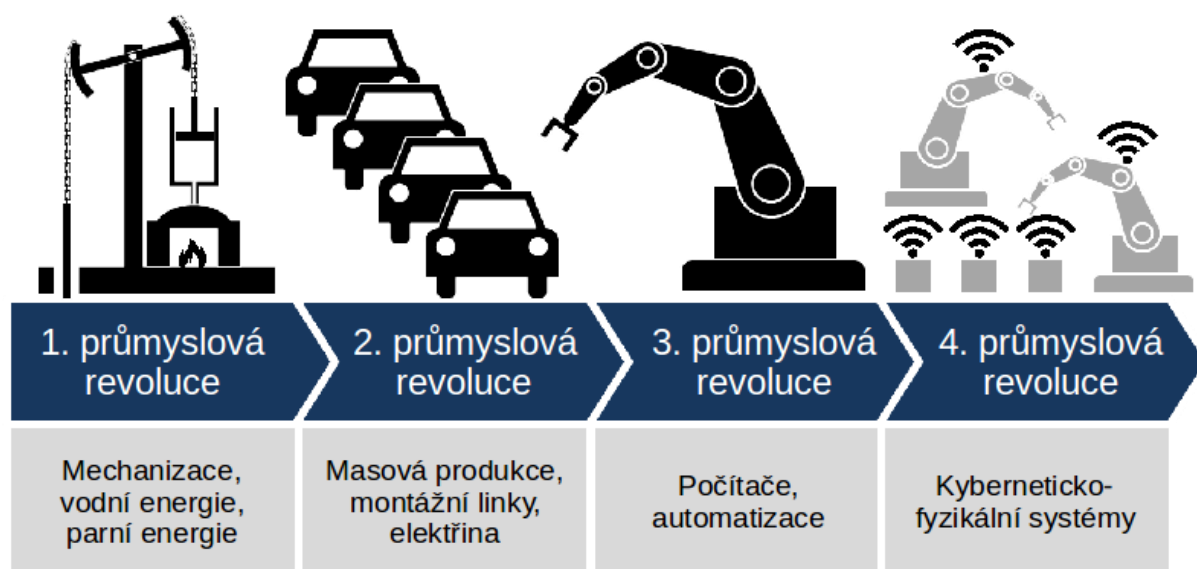
5.4 Třetí průmyslová revoluce

Třetí průmyslová revoluce začala v roce 1960, kdy evropské země začaly obnovovat svou ekonomiku po válce. V té době byl vynalezen počítač, dostala rozvoj numerické řízení a mikroprocesory, a později — průmyslové roboty.

5.5 Čtvrtá průmyslová revoluce

Čtvrtá etapa průmyslové revoluce se vyznačuje zavedením CPS do výrobních procesů. Předpokládá se, že tyto systémy se sjednotí v jedné síti, budou v reálném čase komunikovat, samočinně se přizpůsobovat a učit se novým chováním. Tyto sítě budou schopny budovat výrobu s menšími chybami, komunikovat s výrobkem a v případě potřeby se přizpůsobit novým požadavkům spotřebitelů. Například výrobek ve výrobním procesu bude schopen určit zařízení, které jej může vyrábět. A to vše v plně autonomním režimu bez lidského zásahu. Koncept čtvrté průmyslové revoluce je tedy založen na čtyřech principech:

- Lidská a strojová interoperabilita – schopnost kontaktovat přímo přes internet;
- Transparentnost informací a schopnost systémů vytvářet virtuální kopii fyzického světa;
- Technická pomoc strojům pro lidi – kombinování velkého množství dat a provádění řady nebezpečných úkolů pro člověka;
- Schopnost systémů nezávisle a autonomně rozhodovat.



Obr. 18) Diagram znázorňující 4 industriální revoluce včetně Průmyslu 4.0 [28]

5.6 Koncepte Průmyslu 4.0: pojem a základní atributy

Chcete-li dát odpověď na otázku, kde končí třetí průmyslová revoluce a začíná čtvrtá, je třeba jasně definovat hranice Průmyslu 4.0. Koncept intenzivně rozvíjel v průběhu posledních let, teď je možnost na základě řady studií prozkoumat požadované atributy a klíčové technologie Průmyslu 4.0. Následující povinné znaky rozlišují čtvrtou průmyslovou revoluci od předchozích revolucí:

5.6.1 Digitalizace a vertikální integrace

Průmysl 4.0 zajišťuje digitalizaci a vertikální integraci procesů řízení v rámci celé organizace, od vývoje produktů až po výrobu, logistiku a poprodejní servis. Všechna data o provozních procesech, jejich efektivitě, řízení kvality a operativním plánování jsou k dispozici v reálném čase v jediném informačním prostoru, optimalizovaném pro různé platformy.

5.6.2 Digitalizace a horizontální integrace

Horizontální integrace přesahuje činnost jednoho podniku a zahrnuje dodavatele, spotřebitele a všech klíčových partnerů zapojených do tvorby ceny.

5.6.3 Digitalizace produktů a služeb

Digitalizace zboží zahrnuje doplnění stávajících produktů inteligentními senzory nebo komunikačními zařízeními, kompatibilními s nástroji pro analýzu dat. Díky zavedení nových metod analytici společnosti jsou schopny získávat údaje o používání výrobků a tyto výrobky vylepšovat v souladu s novými požadavky koncových uživatelů

5.6.4 Digitální obchodní modely a přístup zákazníků

Přední průmyslové společnosti se také rozšiřuje spektrum jimi poskytovaných služeb, nabízí revoluční digitální řešení, jako je například komplexní personalizované služby na základě údajů a integrované platformy.

5.6.5 Nové digitální obchodní modely

Často se zaměřuje na získání dodatečných příjmů z digitálních řešení, optimalizaci komunikace se zákazníky a zlepšení přístupu k zákazníkům. Digitální produkty a služby jsou často určeny k tomu, aby zákazníkům poskytovaly integrovaná řešení v digitálním ekosystému.

5.6.6 Rozvinutá technologická platforma

Továrny se používají moderní stroje a zařízení, informační a komunikační řešení a CPS, které zajišťují digitalizaci a integraci. Bez rozvinutých technologií je problematické realizovat všechny předchozí atributy z praktického hlediska.

5.7 Klíčové technologie Průmyslu 4.0

Technologie je základem Průmyslu 4.0, bez nich není možná transformace průmyslovou výroby. Část klíčových technologií aktivně zavádí, část zatím probíhá předběžné testy ve výzkumných centrech, ale jejich účinnost byla spolehlivě dokázána v praxi.

5.7.1 Analýza velkých dat (Big data)

Účel použití: zlepšení kvality výrobků, úspora energie a zlepšení postupu údržby zařízení. Pro efektivní aplikaci je důležité integrovat data z několika informačních systémů, včetně řízení výroby, účetnictví zdrojů, řízení vztahů se zákazníky atd.

5.7.2 Autonomní roboty

Moderní roboty jsou konfigurovány a navrženy tak, aby spolupracovaly mezi sebou a se zaměstnanci, samostatně se učily a optimalizovaly své vlastní operace. Například Kuka vytváří autonomní roboty, které mohou modifikovat a upravovat svůj provoz v závislosti na dalším produktu na lince.

Senzory a ovládací panely jim umožňují komunikovat s osobou. ABB uvádí na trh robot YuMi se dvěma manipulátory určenými pro montáž výrobků (například elektroniky). Manipulátory a počítačové vidění umožňují robotovi bezpečně spolupracovat s lidmi a rozpoznávat díly.



Obr. 19) Robot YuMi [26]

5.7.3 Simulace

Virtuální modelování výrobků, materiálů a procesů je již aplikováno ve fázi vývoje techniky, v budoucnu její použití bude se rozšiřovat tak, aby simulovalo celý cyklus provozních a výrobních procesů. Tyto modely budou extrahovat data v reálném čase, aby vytvořily virtuální kopii skutečného výrobního procesu zahrnující stroje, produkty a zaměstnance. To umožní operátorům testovat a optimalizovat nastavení zařízení pro další produkt na lince pomocí virtuálního modelu před provedením změn přímo ve fyzické výrobě.

Tecnomatix od společnosti Siemens PLM Software je příkladem softwarových produktů určených k automatizaci řešení problémů v oblasti přípravy a optimalizace výroby společnosti Siemens PLM Software. Seznam obsahuje produkty pro simulaci procesů v trojrozměrném prostoru, simulační modelování, programování průmyslových robotů v režimu off-line a virtuální uvedení linek do provozu.



Obr. 20) Tecnomatix Plant Simulation Student [27]

5.7.4 Integrace IT systémů

V mnoha společnostech, včetně České republiky, nejsou informační systémy vzájemně integrovány nebo jsou částečně integrovány. Také velmi zřídka mezi sebou patří integrovaní výrobci, dodavatelé a zákazníci. Průmysl 4.0 předpokládá, že funkční jednotky v rámci jedné společnosti a celé společnosti tvoří společný univerzální informační prostor s cílem automatizovat několik hodnotových řetězců najednou. Například Dassault Systemes a Boost AeroSpace spustily jednotnou platformu pro interakci mezi členy evropského vesmírného a obranného průmyslu. Platforma AirDesign je společný pracovní prostor pro návrh při tvorbě letadel. Platforma je k dispozici jako služba v privátním informačním prostoru „cloud“. Platforma umožňuje více partnerům řídit výrobní procesy a sdílet data.

5.7.5 Průmyslový IOT

V současné době pouze některá zařízení se používá ve výrobě spojení mezi stroji a využívá vestavěný výpočetní výkon. Průmyslový IOT předpokládá instalaci vestavěnými senzory rostoucího počtu výrobních zařízení, a dokonce i nedokončených výrobků. To umožní přenášet mezi stroji velké množství dat. Centralizované řídicí systémy budou schopny decentralizovat analytické systémy, čímž zajistí provoz v reálném čase. Společnost BoschRexroth vybavila zařízení pro výrobu ventilů (a samotné ventily) speciálními vysokofrekvenčními štítky (radiofrekvenční identifikace, RFID), aby pracovní zařízení mohlo „pochopit“, jaké kroky musí splnit a jak přizpůsobit jednotlivé operace.

5.7.6 Kybernetická bezpečnost

V oblasti řízení a výroby se mnoho společností stále spoléhá na IT řešení, který jsou uzavřené a nejsou propojené s okolím. S rostoucím připojením a používáním standardních protokolů připojení, které předpokládá Průmysl 4.0, je zřejmá potřeba ochrany klíčových systémů a linek proti kybernetickým hrozbám. Proto jsou bezpečné připojení a spolehlivé metody řízení přístupu k systémům jsou nezbytnou podmínkou rozvoje korporativních informačních systémů

5.7.7 Cloud computing

Cloud computing je poskytování počítačových služeb (servery, databáze, síťová zařízení, software, analytika, těžba atd.) přes internet (tzv. "Cloud"). Tyto služby urychlují inovace, zvyšují flexibilitu zdrojů a poskytují úsporu nákladů díky vysoké škálovatelnosti. Cloudové služby mohou snížit provozní náklady, zlepšit řízení infrastruktury v závislosti na změnách v obchodních potřebách.

5.7.8 Aditivní výroba (3D tisk)

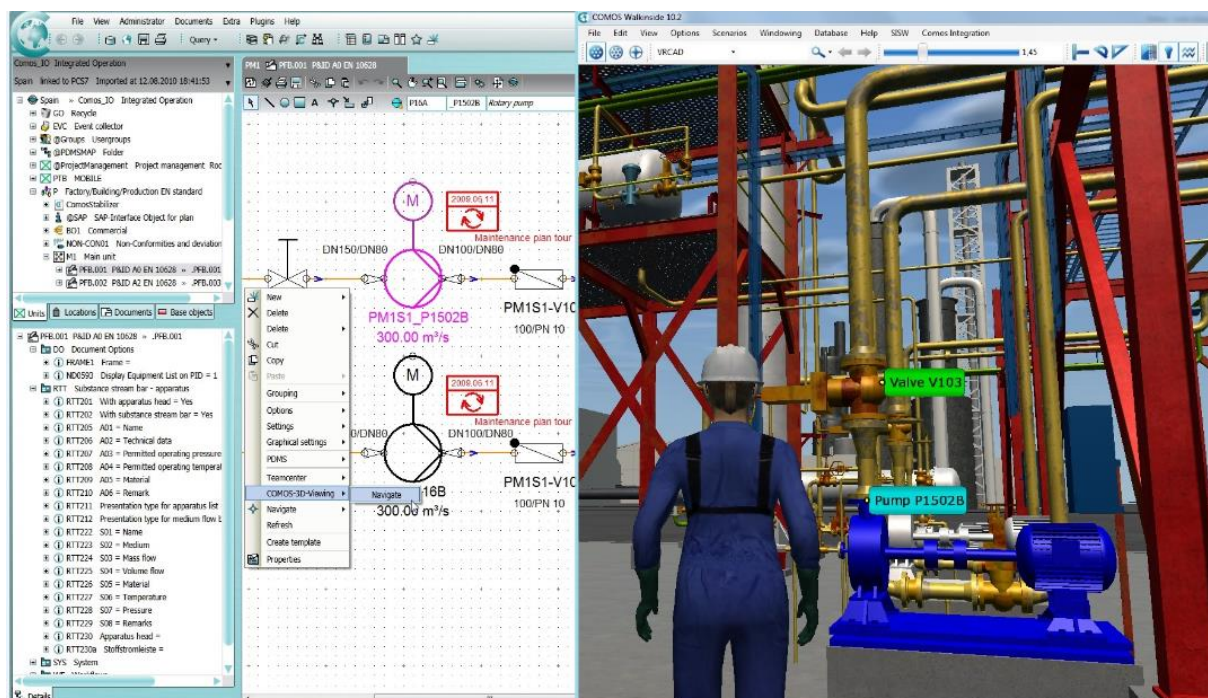
Firmy postupně začínají používat aditivní výrobní nástroje, jako je 3D tisk. Hlavní oblastí aplikace je nyní prototypování a tvorba jednotlivých komponent. V průmyslu 4.0 mohou být nástroje pro aditivní výrobu aplikovány širší, například pro výrobu menších sérií výrobků.

5.7.9 Rozšířená realita

Systémy rozšířené reality optimalizují práci na skladě a výběr komponentů, zasílají pokyny do mobilních zařízení personálu během opravy zařízení. V rámci Průmyslu 4.0 bude jejich sféra použití rozšířena s cílem zjednodušit práci personálu a poskytnout podporu rozhodování.

Například pomocí brýlí virtuální reality pokyny k opravě budou promítány v reálném čase přímo na konkrétní výrobní zařízení. Zaměstnanec obdrží návod – postup při výměně určitých částí

Pomocí 3D modelu a brýlí s rozšířenou realitou modul pomáhá zaměstnancům zvládat nepředvídané situace v režimu virtuální simulace. V tomto virtuálním prostoru operátoři se učí komunikovat se zařízením pomocí digitální prezentace, měnit parametry zařízení a zobrazovat provozní indikatory a pokyny k opravám.

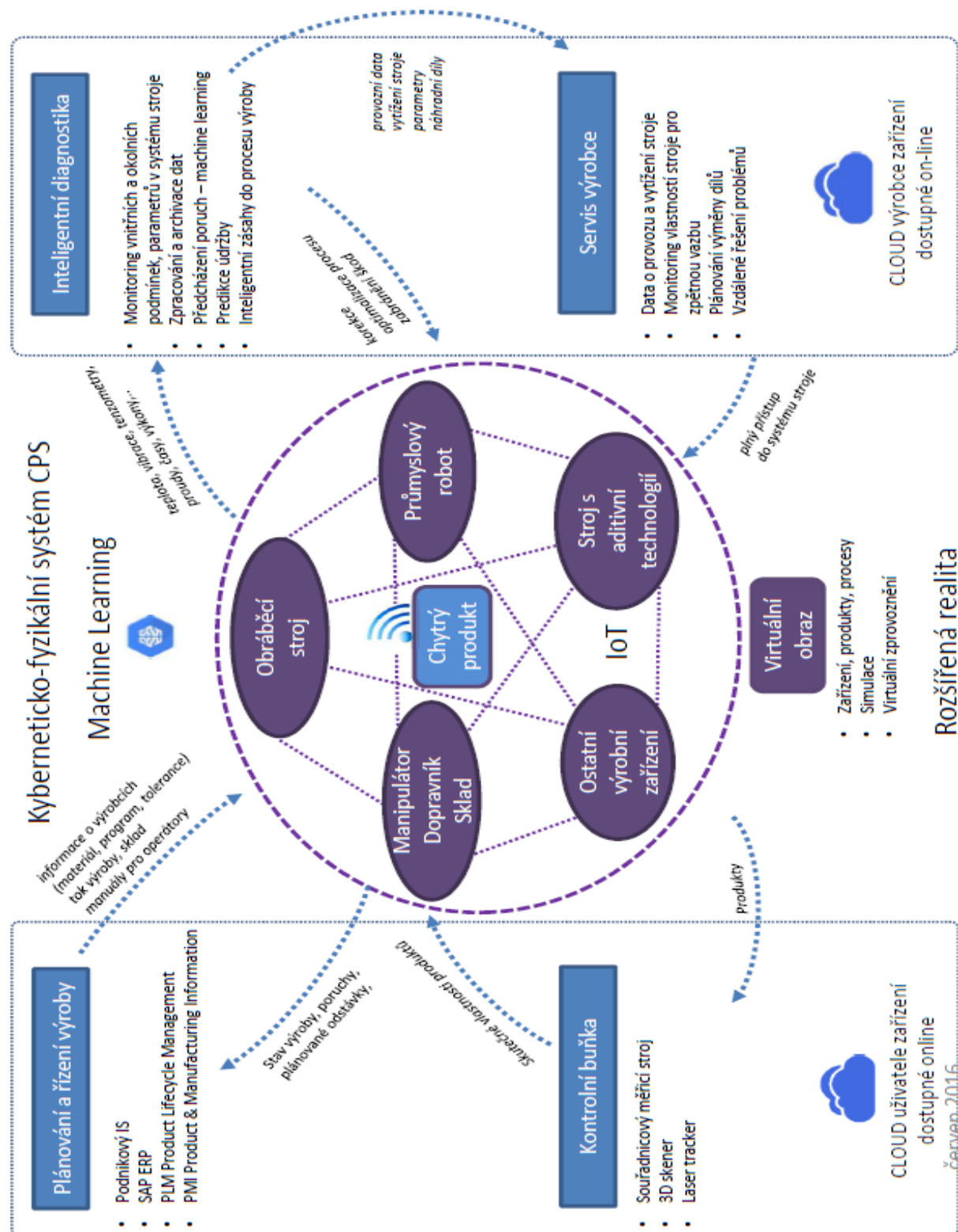


Obr. 21) 3D simulátor digitální továrny Siemens Comos Walkinside [23]

5.8 Kyberneticko-fyzikální systémy (CPS)

V souvislosti s nástupem Průmyslu 4.0 se často zmiňuje pojem „kyberneticko-fyzikální systémy“ případně také CPS (Cyber-Physical System).

Toto označení se poprvé objevuje před deseti lety v USA a označuje systém, který se skládá z fyzických entit řízených počítačovými algoritmy. CPS vyžaduje transdisciplinární přístup – spojuje v sobě teorii kybernetiky, mechatroniky, konstrukční a výrobní vědy. Základem je tedy spolupráce samostatných řídicích (výpočetních) jednotek, které jsou schopny se autonomně rozhodovat, řídit svěřený technologický celek a zejména se stát samostatným a plnohodnotným členem komplexních výrobních celků. Příklady takových systémů můžeme spatřovat například v řízení dopravy, autonomních automobilových systémech, smart gridech, senzorových sítích, letectví, koordinovaných skupinách robotů, vojenství, automatických výrobních linkách a skladech či systémech údržby. [24]



Obr. 22) Kyberneticko-fyzikální systém CPS [25]

CPS jsou často zaměřeny na řízení prostředí nějakým způsobem. CPS kombinují informace z inteligentních senzorů distribuovaných ve fyzickém prostředí, aby lépe porozuměly prostředí a prováděly přesnější provoz. Ve fyzickém prostoru výkonné prvky provádějí na základě přijatých dat změny v prostředí uživatelů. Ve virtuálním prostoru CPS se používají ke shromažďování dat o virtuálních činnostech uživatelů, zařízení a strojů.

Moderní technologie jsou v procesu neustálého vývoje, podniky různých průmyslových odvětví dávají přednost rozvoji různých technologií. Seznam takových technologií může zahrnovat kvantové počítače, nanotechnologie, kompozitní materiály atd. Všechny jsou důležitými kroky ve vývoji moderního průmyslu.

6 PRŮMYSL 4.0 V ČESKÉ REPUBLICE

Řada vyspělých zemí se již několik let zabývá nástupem čtvrté průmyslové revoluce, která zásadním způsobem mění povahu průmyslu, energetiky, obchodu, logistiky a dalších částí hospodářství i celé společnosti. Stranou tohoto dění nemůže zůstat ani Česká republika. [30]

Vývoj průmyslové výroby v České republice je od roku 2013 doprovázen stabilním růstem, přičemž dynamika se ve vybraných odvětvích v letech 2014 a 2015 zvyšuje. [29]

Hlavní myšlenkou Iniciativy Průmysl 4.0 je podchytit impulsy, které průmyslu přináší tato zcela nová filosofie systémového využívání, integrace a propojování nejrozličnějších technologií při uvažování jejich trvalého, velice rychlého rozvoje, a připravit pro průmyslovou výrobní i nevýrobní sféru podmínky k realizaci nové (tzv. čtvrté) průmyslové revoluce v ČR. Dlouhodobým cílem této iniciativy je udržet a posílit konkurenceschopnost ČR v době masového nástupu uvedené filosofie ve světě. [30]

Digitalizace ekonomiky probíhá v široké škále odvětví. Lze jmenovat sektory jako elektronika, elektrotechnika, konstrukce a výroba strojů a zařízení, výroba nástrojů, automobilový průmysl, energetika, chemická a farmaceutická výroba, hutnictví a ocelářství, informační technologie a telekomunikace, průmyslová automatizace, radiokomunikace, ale i údržba, bankovníctví, finanční a marketingové služby, obchodní činnost, poradenské služby, reklamní činnost, vývoj software, zemědělství, životní prostředí, zdravotnictví, výživa a další. [30]

Ruku v ruce s nárůstem nových zakázek, u nichž je velmi často kladen důraz na flexibilitu výrobců a dodavatelů, roste také český export, přičemž podíl automobilového, strojírenského, elektrotechnického a elektronického průmyslu tvoří cca 70 %. Vysoká flexibilita je jednou ze základních konkurenčních výhod většiny odvětví českého průmyslu. V produkci „katalogového zboží“ je český průmysl na zahraničním i domácím trhu ohrožován nejen asijskými výrobci, ale i výrobci evropskými. [29]

6.1 Cíle Průmyslu 4.0 v České republice

Lze tedy konstatovat, že cílem Průmyslu 4.0 je přinést úplné digitální propojení všech úrovní tvorby přidané hodnoty — od vývoje výrobku až po logistiku. To znamená radikální změnu a prozíravé plánování investic ve velkých i malých firmách. Inovace, flexibilita i produktivita, to vše by v pojetí Průmyslu 4.0 mělo být nově definováno Cílem Iniciativy Průmysl 4.0 je ukázat možné směry vývoje a nastítnit opatření, která by mohla nejen podpořit ekonomiku a průmyslovou základnu ČR, ale též pomoci připravit celou společnost na absorbování této technologické změny. Iniciativa obsahuje základní informaci o nutnosti neodkladných změn vyvolaných nástupem 4. průmyslové revoluce a mapuje opatření na podporu investic, aplikovaného výzkumu a standardizace, zpracovává otázky spojené s kybernetickou bezpečností, logistikou i legislativou. Iniciativa Průmysl 4.0 si současně klade za cíl zmobilizovat podnikatelskou sféru i výše uvedené zainteresované strany k aktivnímu zapojení při její implementaci a realizaci v podmínkách ČR. [30]

6.2 Silné stránky ČR:

- Dlouhá tradice průmyslové výroby, solidní technické schopnosti a vyspělost zaměstnanců;
- Relativně příznivá úroveň inovační výkonnosti české ekonomiky mezi zeměmi střední a východní Evropy;
- Otevřenost ekonomiky;
- Působení nadnárodních společností disponujících odpovídající expertízou a již existujícími řešeními pro oblast Průmyslu 4.0 a silné napojení na německý i celosvětově respektovaný průmysl a výzkum;
- Vzdělání, zejména vysokoškolské, je českou populací oceňováno jako vysoká hodnota;
- Kvalitní úroveň výuky technických předmětů na technických vysokých školách;
- Zájem státu investovat do podpory výzkumu a vývoje;
- Rychlý růst zaměstnanosti v relevantních sektorech. [31]

6.3 Slabé stránky ČR:

- Nízké povědomí o Průmyslu 4.0, časté zaměňování za pouhou digitalizaci;
- Dosud neexistující představa o ekonomické efektivnosti zavedení Průmyslu 4.0 umožňující představu o financování základních kroků (Bílá kniha, akční plán a další rozvojové aktivity) včetně analýzy pokrytí zdroji;
- Poměrně velká dosavadní vázanost pracovních sil ve výrobních a profesích méně kvalifikačně náročných;
- Dosavadní přílišná specializace technických i netechnických oborů neodpovídá potřebám vize Průmyslu 4.0;
- Současný vzdělávací systém včetně vysokého školství zaostává za potřebami Průmyslu 4.0;
- Malá připravenost institucí dalšího vzdělávání, univerzit i populace na podstatně větší rozsah vzdělávání dospělých a nový koncept celoživotního učení;
- Roztříštěnost výzkumu, nedostatečná koncentrace směrem k cílenému dlouhodobému budování expertízy a výzkumně-vývojových kapacit;
- Nedostatečné a stále odkládané pokrytí území státu rychlým internetem;
- Malá připravenost politiky trhu práce a sociální politiky na řešení nových situací;
- Nedostatečné investiční možnosti malých a středních podniků;
- Nedostatečná komunikační, i neformální, provázanost mezi vládními orgány, podnikovou sférou a technologickým vývojem / vzdělávacími systémy;
- Celospolečenská nepřipravenost na akceptaci čtvrté průmyslové revoluce. [31]

6.4 Příležitosti

- V obecné poloze – poznaná nutnost rychle napravovat slabé stránky;
- Včasné zachycení nástupu industrie 4.0;
- Prosazení přístup státu jako národní priority, místo individuálních izolovaných akcí;
- Zvýšení atraktivity ČR pro nové zahraniční investory, stimulace rozšíření investic zahraničních společností v ČR již působících;
- Možnost exportovat výsledky výzkumu, podílet se na exportu technických řešení;
- Cílenou podporou malých a středních podniků dosáhnout efektivního růstu konkurenceschopnosti;
- Využití „blízkosti“ německého průmyslu a prostředí k přebírání zkušeností a řešení;
- Zvýšení kvality vzdělávacího systému odpovídajícího na nové výzvy včetně otevření prostoru pro iniciativu a kreativitu učitelů, kteří jsou schopni tyto nové výzvy naplnit;
- Vznik nových pracovních příležitostí. [31]

6.5 Hrozby

- Zneužití tématu čtvrté průmyslové revoluce pro populistické nebo marketingové účely;
- Politické nepochopení Průmyslu 4.0 a roztříštěnost politik;
- Pozdní zavedení nebo nekvalitní a nedostačující obsah a rozsah základní komunikační a digitální infrastruktury nezbytné k zavedení konceptu Průmyslu 4.0;
- Dosud neexistující standardizace a kybernetická bezpečnost v souladu se světovými standardy;
- Nepřipravenost centralizované energetické soustavy na rozvoj decentralizovaných energetických zdrojů a rozvoj chytrých rozvodných sítí (Smart Grids);
- Nedostatečná a neprovázaná, případně neefektivní, struktura výzkumu, vývoje a inovací;
- Systém vzdělávání, doškolování a rekvalifikací nebude schopen realizovat změny požadované implementací Průmyslu 4.0;
- Negativní dopady na trh práce;
- Vznik sociálních bariér;
- Prohloubení závislosti na Německu. [31]

6.6 Proč zavádět Průmysl 4.0 do výroby

Průmysl 4.0 vytváří nová rizika pro ČR, jako je snížení počtu profesí a ztráta zaměstnání, sociální důsledky, potřeba rekvalifikace zaměstnanců, nedostatek finančních zdrojů nutných pro zavádění inovací ve výrobě, zavádění inovativních projektů a investic, hrozba kybernetické bezpečnosti atd. Ale zavedení Průmyslu 4.0 je užitečné, pokud poskytuje ekonomický efekt ve srovnání s přijatými formami výroby a podnikových procesů. Praxe řady společností ukazuje, že komplex nástrojů čtvrté průmyslové revoluce umožňuje dosáhnout ekonomicky významných výsledků. Tato zlepšení výroby významně ovlivňují finanční výkonnost podniků.

Příkladem je koncern Siemens AG (Německo), který vyvinul digitální kopii jedné ze svých továren sběrem dat ze senzorů na zařízení. Tato iniciativa zkrátila dobu potřebnou k nastavení zařízení o 80 %.

Změny ve výrobě významně ovlivní finanční výkonnost podniků. Hlavní dopady vyplývající z transformace řady průmyslových odvětví:

- Zvýšení rychlosti uvádění výrobků na trh urychlením výrobního cyklu;
- Růst kvality poskytování zboží a služeb v důsledku snižování zmetkových výrobků, dodací lhůty;
- Snižené náklady na údržbu díky prediktivní analýze;
- Snižování nákladů na pracovní sílu nahrazením lidské práce roboty;
- Snižování nákladů na spuštění výrobních linek díky výrobě jednotlivých dílů pomocí 3D tisku;
- Snižování nákladů na elektřinu v důsledku jejího správného rozložení atd.

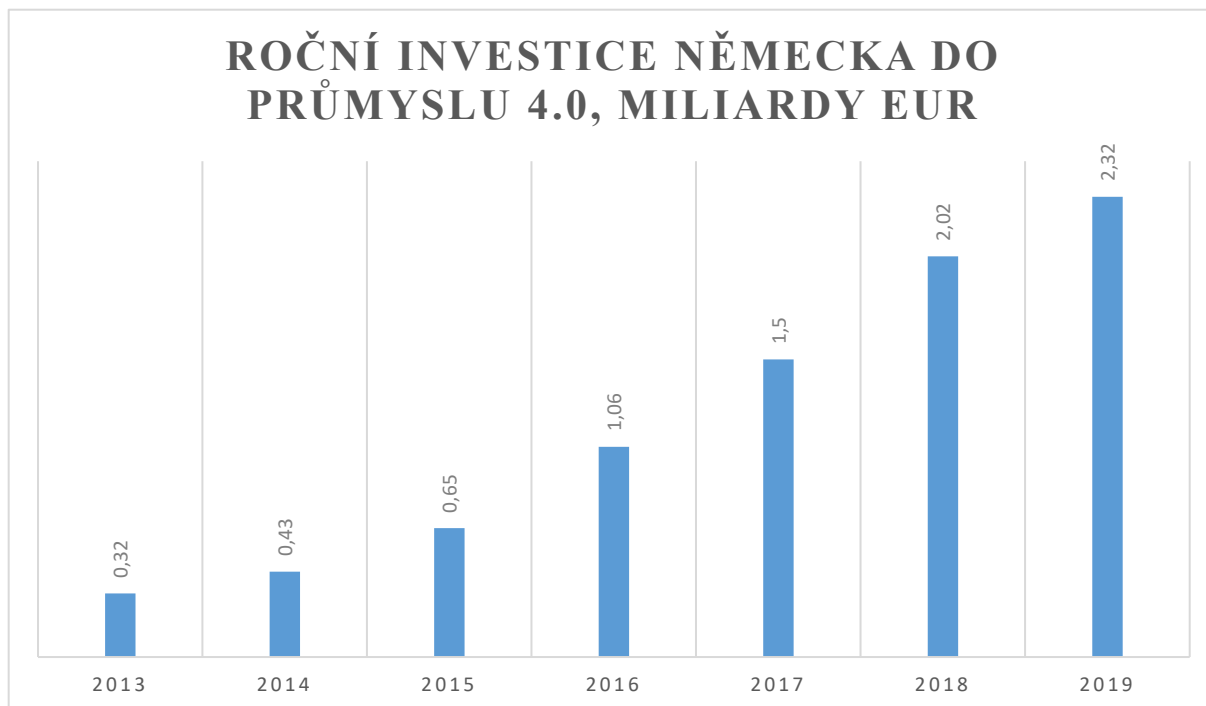
Také se zvýší produktivita podniků. Provozní náklady na výrobu bez nákladů na suroviny a materiály se sníží o cca 15-25 %. Celkové náklady na výrobky budou sníženy o 5-8 %. Tyto údaje se však mohou lišit podle toho, v jaké oblasti je společnost zaměstnána.

Zvýší se zaměstnanost. Podle provedených analýz míra zaměstnanosti pod vlivem zavedení průmyslu 4.0 se zvýší o 6 % za prvních 10 let. V oblasti vývoje mechanických a inženýrských řešení může růst poptávka zaměstnanců dosáhnout 10 %. Nicméně, budou požadovány odborníky s novými profesionálními dovednostmi. V krátkodobém horizontu trend zaměřený na větší automatizaci vytlačí pracovníky s nízkou kvalifikací, kteří většinou vykonávají jednoduché opakující se úkoly. Současně s rozšířeným využitím softwaru, různých komunikačních nástrojů a analýz se zvýší poptávka na personál se znalostmi v oblasti programování a IT technologií, například specialistů v oblasti mechatroniky.

Další výhodou je růst investic do nových technologií. Průmysl 4.0 navrhuje výrazné zvýšení investic do:

- Průmyslové roboty;
- 3D tiskárny;
- Serverový hardware;
- Software;
- Patenty atd.

Hlavním iniciátorem Průmyslu 4.0 je Německo, ale i zde nové technologie teprve začíná svůj rozvoj. V současné době bylo v Německu transformováno přibližně 10 % podniků. V některých případech to je jen část podniku, protože integrace nových systémů není možná v jednom kroku. V současné době existuje jen malá část podniků, které plně splňují principy průmyslu 4.0. Budeme potřebovat dalších 10 let, aby počet podniků využívajících technologii průmyslu 4.0 byl kolem 70 %.

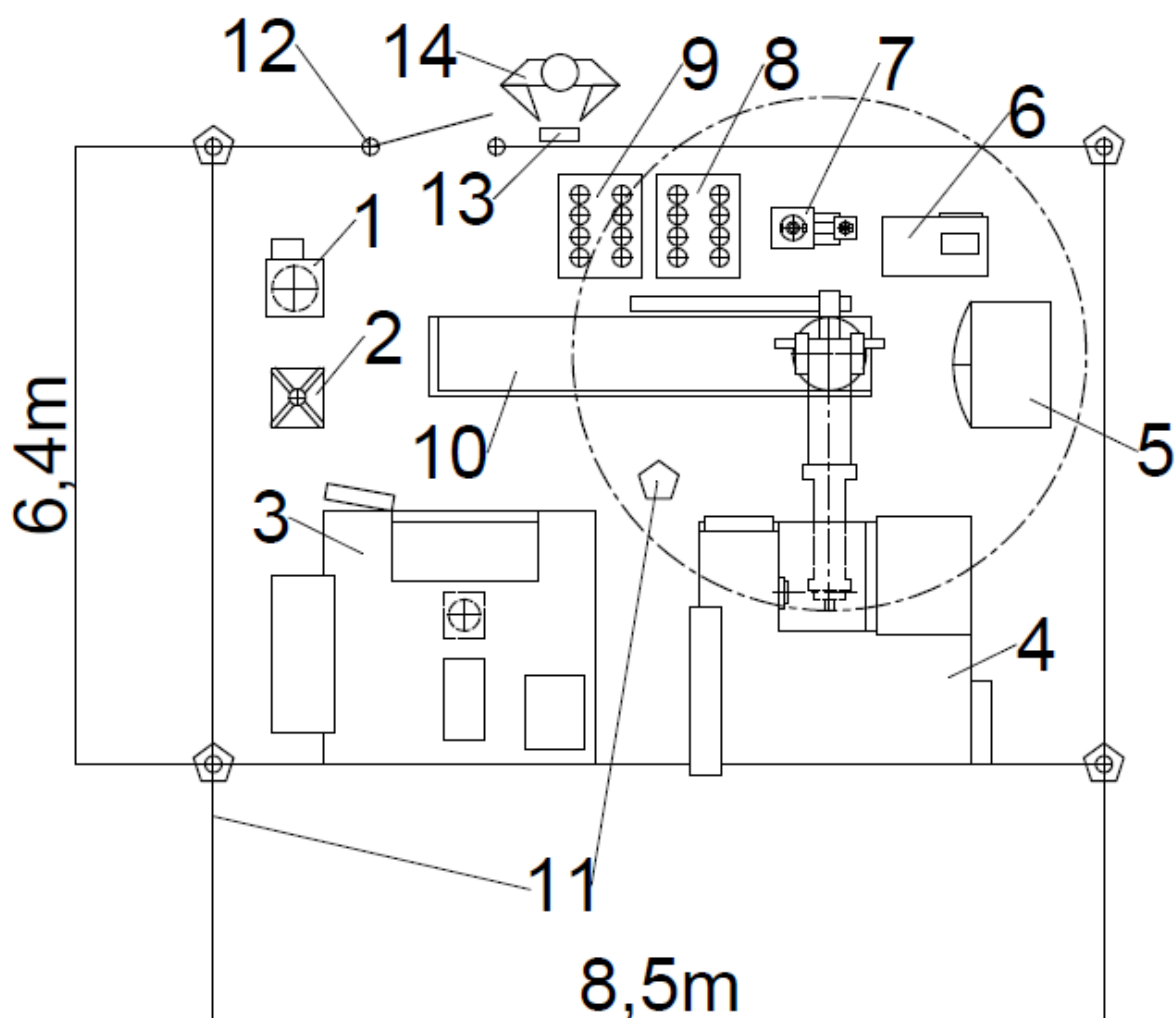


Obr. 23) Graf ročních investic Německa do průmyslu 4.0. [32]

Pokud se týká investic do výzkumu, orientační analýzou dat v Informačním systému VaV lze zjistit, že v pětiletém období 2010–2014 obdrželo přibližně 250 projektů veřejné prostředky na výzkum, který měl nějakou relevanci k tématům, která nyní nastoluje Průmysl 4.0. V těchto konkrétních letech tak bylo rozděleno přibližně 2.26 miliardy Kč z veřejných prostředků mezi zhruba 170 subjektů prostřednictvím 7 poskytovatelů. Lze konstatovat že veřejné prostředky do relevantního výzkumu proudily, avšak v podstatě nahodile v podobě malých a krátkodobých projektů a ve zdrcující převaze do výzkumu na vysokých školách, kde je však naprosto převažující výsledek publikované sdělení a nepatrný přesah do relevantní praxe. V oblasti lidských zdrojů by bylo možno podobně analyzovat například minulé operační programy OP VK (celková alokace 1.8 miliardy Kč, zde zejména prioritní osa 3 – Další vzdělávání) a OP LZZ (celková alokace přibližně 64 miliard Kč, zde zejména prioritní osa 2 – Aktivní politiky trhu práce). [29]

7 PROJEKT VÝROBNÍ BUŇKY SE ZOHLEDNĚNÍM PRINCIPŮ PRŮMYSLU 4.0

Můj projekt výrobní buňky obsahuje CNC soustruh KOVOSVIT SPM 16 (4), CNC vertikální obráběcí centrum KOVOSVIT MCV 754 QUICK (3), Průmyslový robot ABB 130/6 (10), který fungují jako obsluha zmíněných CNC strojů je umístěn na lineárním pojezdu, aby mohl dostat ke každému z obráběcích strojů. Operátor (14) je umístěn před centrálním dálkovým ovládacím pultem s monitorem (13) a platformou na bázi prostředí TOS Control. Pracovní prostor robota je omezen ochranným zařízením firmy ABB Quick-Guard (12). Spolu se stroji a roboty, buňka zahrnuje další zařízení a vybavení. Dalšími částmi výrobní buňky jsou řídicí jednotka robotu (6), zásobník na manipulační efektory (7), přesné měřicí stanice Equator společnosti Renishaw (2), systém sledování pohybu osob na pracovišti Sewio Networks RTLS TDoA Wi-Fi Kit (11), průmyslová pračka WE40 firmy QTS (1), průmyslová 3D tiskárna ProX DMP 100 (5), paleta s polotovary (8) a paleta se zpracovanými díly (9).



Obr. 24) Schéma výrobní buňky 4.0.

Výrobní buňka je komplex skládající se z CNC strojů vybraných a instalovaných v souladu s vykonávanými úkoly. Výrobní buňka je obsluhována průmyslovým robotem a také zahrnuje další zařízení a vybavení. Počítač plní funkce dohledu a plánování výroby pomocí řízení pohybu výrobků systémem a zajištění provozu výrobní buňky bez účasti obsluhy po požadovanou dobu.



Obr. 25) CNC stroje: soustruh KOVOSVIT SPM 16 a vertikální obráběcí centrum KOVOSVIT MCV 754 QUICK



Obr. 26) a) Průmyslový robot ABB 130/6 b) Řídicí jednotka robotu c) Zásobník na manipulační efekty

7.1 Bezpečnostní oplocení Quick-Guard

Pro vytvoření oplocení Quick-Guard stačí vytvořit v programu AutoCAD jednoduchý náčrtek. Společnost ABB vloží tento náčrtek do softwaru SafeCAD, což je nástavbou aplikace AutoCAD. Tím se vytvoří trojrozměrný návrh oplocení, který nám vygenerují seznamy přířezů a dalších komponent.

Základem oplocení Quick-Guard jsou hliníkové profily a panely v plném nebo zvukově izolačním provedení. Dalšími částmi oplocení jsou montážní součásti, zámky, mřížky.



Obr. 27) Příklad bezpečnostního oplocení Quick-Guard [35]

7.2 Systém sledování pohybu osob na pracovišti Sewio Networks RTLS TDoA Wi-Fi Kit

RTLS TDoA Wi-Fi Kit obsahuje vše potřebné k vytvoření inteligentního projektu, který vyžaduje přesné údaje o poloze v reálném čase. Sada je připravena k okamžitému použití a dodává se s předem nakonfigurovanými hardwarovými komponentami, kompletním příslušenstvím a softwarem RTLS Studio, který umožňuje rychlé nasazení, uvedení do provozu, nastavení bezdrátové sítě, monitorování služeb a poskytuje plný přístup ke všem sadám nástrojů. Sada RTLS Wi-Fi Kit umožňuje sledovat 4 objekty. Seznam zařízení:

- 5 x Anchor Wi-Fi
- 2 x Tag IMU
- 2 x Tag Piccolino OEM
- 2 x Enclosure for Tag Piccolino
- 1 x RTLS Studio Software License (covering 5 Anchors)
- 2 x Coin Battery
- 1 x Wireless Access Point (Cisco RV110W)
- 7 x Mini USB Cables
- 5 x Anchor Holder
- 5 x Anchor Wall Mount Bracket [40]



Obr. 28) Systém sledování pohybu osob na pracovišti Sewio Networks RTLS TDoA Wi-Fi Kit [33]

7.3 Platforma na bázi prostředí TOS Control. Komunikace.

Platforma na bázi prostředí TOS Control s instalovanými aplikacemi tak umožňuje plnou integraci v rámci konceptu Průmyslu 4.0 a napojení sledovaných a získaných dat na další články v řetězci výrobního procesu. Zejména se jedná o možnost vzdáleného řízení stroje, užití stroje pro kontrolu a měření obrobků a korekci technických parametrů pro optimalizaci při obrábění. [41]

7.3.1 Komunikace člověk-stroj

Rozhraní platformy je pro obsluhu poměrně jednoduché a srozumitelné. Některé aplikace, které jsou integrovány do systému jsou (obr. 26):

- Stav stroje;
- CNC systém;
- Čtení dokumentů;
- Kamerový systém;
- Kalkulačka;
- Kalendář;
- Inprocesní měření;
- Nastavení.



Obr. 29) a) Operátor a centrální dálkový ovládací pult s monitorem [37] b) Platforma na bázi prostředí TOS Control [38]

7.3.2 Komunikace stroj–stroj

Monitorování strojů dokáže odhalit a nahlásit řadu problémů ještě před vznikem nákladných závad. Poskytuje konkrétní čísla o dobách cyklů, čímž zároveň podporuje plánování a logistiku. Přesně v této oblasti se uplatňuje standard MTConnect: Podniku umožňuje vizualizovat a optimalizovat technologické procesy. Na základě takto získaných informací lze odhalit potenciál pro úspory a vyvodit potřebná opatření. Bezlicenční open-source standard využívá k převodu dat z výrobních zařízení do standardizovaného formátu osvědčené internetové protokoly. Data získaná ze strojů jsou poskytována příslušné aplikaci. Ta je převádí na čitelné naměřené údaje, na jejichž základě je možné vzdáleně monitorovat stav a aktivitu stroje. [44]

Standard MTConnect sestává ze tří komponent: adaptéru, agenta a aplikace. Adaptér zaznamenává strojní data, standardizuje je a přenáší je do agenta. Agent dodržuje předepsané XML schéma, které data organizuje do standardního formátu bez ohledu na typ monitorovaného stroje. Rovněž zajišťuje dočasné uložení těchto dat, která pak na vyžádání předává aplikaci. Aplikace poté data ukládá do databáze a zobrazuje je v podobě srozumitelné lidem. Adaptér a agent lze provozovat také nezávisle na sobě v „agent-only“ řešení. Ke znázornění výstupních dat strojů se používají diagramy a tabulky, které jsou pro uživatele snadno pochopitelné.

Na standard MTConnect lze pohlížet jako na univerzální digitální rozhraní. Protože je založeno na jednoduchém standardu Ethernet, lze ho bez přerušování výrobního procesu snadno integrovat do stávajících strojů. Řešení nabízí bezlicenční open-source standard, který zaznamenává informace a předává je analytickému softwaru. [44]

7.4 Přesné měřicí stanice Equator

U kontrolního systému Equator jsou tři lineární pohonné vzpěry namontovány na třech Hookových kloubech na horní straně konstrukce. Protěžší konec každé vzpěry je připojen přímo k plošině sondy, takže měřicí sonda není daleko od os, které ji pohání. Motory pohánějí vzpěry do požadované polohy a jejich zavěšení na otočném čepu znamená, že vzpěry zůstávají zatíženy čistě tahem a tlakem, zatímco ohyb je eliminován. [42]

Na hnací vzpěře jsou namontovány lineární snímače polohy, jejichž zpětná vazba je přivedena ze stejného místa, ve kterém pohon přenáší pohybovou sílu. Všechny tyto prvky přidávají systému v podstatě nulový „neviditelný“ pohyb konstrukce, což se projevuje v konzistentní opakovatelnosti porovnávání. Orientace tří lineárních vzpěr, označovaných osy P, Q a R, se převádí na konvenční osy X, Y a Z pomocí matematických algoritmů běžících na pozadí. To umožňuje programování pohybu v běžných osách X, Y a Z. [42]

Automatizační sada kontrolního systému Equator obsahuje interface EQ-IO a software EZ-IO. Umožňuje integraci systému Equator do výrobních buněk s automatickým zakládáním. EQ-IO a EZ-IO lze například použít pro spojení s jednoduchým manipulačním systémem nebo robotem, pro příjem příkazů k zahájení kontroly po založení součásti, přepínání kontrolních programů a pro sdělování robotu, které díly vyhověly či nevyhověly, aby je umístil na vhodná místa. [43]

Software EZ-IO integrátorům velice usnadňuje nastavení automatizovaných výrobních buněk pro konfiguraci mezi systémem Equator a řídicím systémem buňky. Například jedna funkce umožňuje integraci s manipulačními roboty pro nakládání a vykládání dílů v předdefinovaných sekvencích. Takové řízení je spolehlivé, odolné vůči rušení a umožňuje rychlý start kontrolních procesů. [43]



Obr. 30) Kontrolní systém Equator [34]

7.5 Průmyslová pračka WE40

Průmyslové mytí vyrobených dílů, se neprovádí ručně, ale za pomoci speciálního vysoce výkonného zařízení. Moderní průmyslové pračky pro díly fungují na základě různých fyzikálních principů, používají různé čisticí prostředky. Průmyslová pračka WE40 má nosnost 70 kg a objem náplně 25 litrů.



Obr. 31) Průmyslová pračka WE40 [36]

7.6 Průmyslová 3D tiskárna ProX DMP 100

Průmyslová 3D tiskárna ProX DMP 100 slouží pro výrobu malých, komplexních a jemných kovových dílů. Používá technologie přímého kovového tisku (Direct Metal Printing – DMP). Maximální velikost kovových dílů, které může 3D tiskárna vytvořit je 100 x 100 x 100 mm. Využívá materiály Stainless (nerez) 17- 4PH a CoCr (Chrom Cobalt).



Obr. 32) Průmyslová 3D tiskárna ProX DMP 100 [39]

7.7 Inteligentní senzory

Inteligentní senzory jsou důležitou součástí výrobní buňky. Jejich úkolem je generovat data, která obsahují informace o zařízeních a prostředí. Existuje obrovské množství senzorů.

K ochraně bezpečnosti zaměstnanců a strojů, nalézání úspor ve výrobě a skladování a vylepšování procesů v prostoru výrobní buňky 4.0 se používá systém sledování pohybu osob na pracovišti Sewio Networks RTLS TDoA Wi-Fi Kit.

Senzory environmentálních parametrů mohou být úspěšně využity ke sledování stavu průmyslových zařízení a jejich jednotlivých částí a dílů. To platí pro snímače tlaku, teploty a vlhkosti.

Mechanické senzory slouží k diagnostice stavu různých pohyblivých mechanismů (obrobku a nástroje, vřeten, ložisek, ozubených převodů, lineárních vedení.) Na základě údajů získaných z mechanických senzorů je možné zabránit poškození. Typy mechanických senzorů: akcelerometry, gyroskopy, magnetometry, elektronické kompas, inerciální moduly.

7.8 Digitální dvojče a virtuální realita výrobní buňky

Pomocí dat získaných z inteligentních senzorů je možné vytvořit digitální dvojče, které je přesným virtuálním modelem všech komponent, technologických procesů a zdrojů výrobní buňky. Takové digitální dvojče se chová podobně jako model reálné výrobní buňky. Digitální dvojče nám umožňuje sledovat stav CNC obráběcích strojů, robotů a dalších zařízení v reálném čase. Při změně uspořádání výrobní buňky nebo její modernizaci prostřednictvím nového zařízení, digitální dvojče se bude měnit automaticky díky získání informací ze senzorů.

Po vytvoření digitálního dvojče existuje možnost vytvořit platformu pro rozšířenou realitu. "Ponoření" do virtuální reality je možné pomocí brýlí virtuální reality.

Virtuální simulace provozu a opravy výrobků nám umožní zvýšit udržovatelnost výrobků a snížit náklady při provozu.

8 VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Realizace projektu ideového návrhu výrobní buňky v podmínkách technické vysoké školy v souladu se zásadami a principy Průmysl 4.0 je velmi drahá. Pro použití této výrobní buňky na univerzitě není nutné používat úplný seznam zařízení. Můžete například vyloučit 3D tiskárnu nebo snížit počet senzorů, což omezí sběr informací pouze z CNC obráběcích strojů a robotu. Tím se vytvoří jednodušší infrastruktura, která může být využita pro výuku, například vytváření digitálních dvojčat zařízení výrobní buňky, nastavování systémů sledování pohybu přesunutím zařízení nebo testování řídicích systémů a učení, jak s nimi pracovat.

9 ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo především seznámit se s konceptem čtvrté průmyslové revoluce a navrhnout ideový projekt pracoviště s CNC obráběcím strojem se zohledněním principů Průmyslu 4.0. Vzhledem k tomu, že základem moderní výroby jsou technologie, v práci je provedena rešerše současného stavu v oblasti nejčastěji používaných CNC výrobních strojů ve strojírenství, byl vytvořen přehled klíčových technologií, které zajišťují realizaci konceptu Průmyslu 4.0 v praxi a jsou uvedeny směry jejich použití. Poté byl vytvořen seznam strojů a zařízení, které jsem si vybral pro svůj projekt, a uvedena schéma jejich umístění spolu s CNC obráběcími stroji a robotem, které se nachází v prostorách univerzity.

Přechod podniků na práci v souladu s principy Průmyslu 4.0, které jsou zaměřeny na praktickou realizaci digitální výroby, je dnes aktuálním trendem rozvoje světového průmyslu, nehledě na to, že tento pojem se používá více než 10 let. Takový přechod by měl být prováděn ve stávajících podnicích postupně, zatímco v nových, které se teprve vytvářejí – hned. Myslím, že hlavním cílem transformace výroby je snaha o zvýšení efektivity podniku, zvýšení zisku a snížení nákladů na výrobu. Rozsáhlá transformace odvětví ekonomiky, která je zaměřena na realizaci Průmyslu 4.0, již nyní má významný vliv na související trhy. Příkladem je růst prodeje průmyslových robotů a automatizačních řešení, růst fúzí a akvizic společností, růst investic do Průmyslu 4.0.

Pro další rozvoj myšlenky Průmyslu 4.0 hlavním cílem je spojení výrobních buněk a jejich pomocí organizace továren různých typů. Automatizované továrny budou zaměřeny na sériovou výrobu levných výrobků. Zákaznický orientované továrny se budou snažit rychle reagovat na změny trhu a předpokládat vytvoření individuální nabídky pro zákazníka ve významných objemech a za dostupnou cenu. Mobilní továrny budou zaměřeny na teritoriálně vzdálené trhy. Budou mít relativně malé objemy výroby, nízké náklady a vysokou mobilitu. Takové továrny budou vyrábět omezený sortiment výrobků, ale budou mít možnost skládat se z modulů v krátké době a okamžitě začít svou práci.

Termín Průmysl 4.0 je stále poměrně mladý a není plně formulován, ale shrnuje závěry, je možné schematicky představit hlavní cesty rozvoje automatizovaného zařízení a jeho hlavní možnosti. Na základě výše uvedeného považuji myšlenku Průmyslu 4.0 za velmi důležitou a nezbytnou pro rozvoj současné výroby.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CNC stroje. *ELUC* [online]. Railsformers, c2014 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1354>
- [2] Číslicové řízení. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 20. 1. 2018 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Číslicové_řízení
- [3] SVOBODA, Rostislav. Řídicí systémy CNC strojů? Poznejte různé typy řízení: Pravoúhlé řízení. *Factory Automation* [online]. c2014-2019, 26. května 2015 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-řízení/>
- [4] Druhy řízení: Souvislá řízení. *ELUC* [online]. Railsformers, c2014 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1291>
- [5] K čemu slouží G kódy a M kódy?. *Macmatic: Váš dodavatel obráběcích strojů a příslušenství* [online]. Zlín: macmatic, c2015 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.macmatic.cz/component/content/article/40-technicke-clanky/66-k-cemu-slouzi-g-kody-a-m-kody?panels=show&module=technicke-clanky>
- [6] Postup při sestavování CNC programu. *ELUC* [online]. Railsformers, c2014 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1297>
- [7] Programové funkce a adresy ISO. *ELUC* [online]. Railsformers, c2014 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1298>
- [8] Blokové schéma NC řídicího systému. In: *Obecný úvod do problematiky CNC programování* [online]. s. 10 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
- [9] Blokové schéma CNC obráběcího stroje. *Obecný úvod do problematiky CNC programování* [online]. s. 10 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
- [10] 10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění?: Zdokonalování CNC systémů (80. léta). *Factory Automation: Magazín o průmyslové automatizaci a robotice* [online]. FANUC Czech, c2014-2019, 31. ledna 2016 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/10-dat-z-historie-obrabeni-na-cnc-strojich-kam-saha-historie-cnc-obrabeni/>
- [11] 10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění?: První CNC systém s bezpečnostními funkcemi (90. léta). *Factory Automation: Magazín o průmyslové automatizaci a robotice* [online]. FANUC Czech, c2014-2019, 31. ledna 2016 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-řízení/>
- [12] Jak funguje CNC stroj?: Jak CNC funguje?. *Factory Automation: Magazín o průmyslové automatizaci a robotice* [online]. FANUC Czech, c2014-2019, 22. ledna 2017 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/jak-funguje-cnc-stroj/>
- [13] Druhy číslicově řízených systémů. In: *SlidePlayer* [online]. SlidePlayer.cz, c2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz>
- [14] In: *Axispanel* [online]. c2010-2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://www.axispanel.ru/technology/cnc/coordinate.php>
- [15] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Polární_soustava_souřadnic#/media/File:Polární_soustava_souradnic.svg

- [16] Rozmístění vztažných bodů na CNC frézce. In: *ELUC* [online]. Railsformers, c2014 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1295>
- [17] Rozmístění vztažných bodů na soustruhu. In: *ELUC* [online]. Railsformers, c2014 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1295>
- [18] In: *Macmatic: Váš dodavatel obráběcích strojů a příslušenství* [online]. Zlín [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://www.macmatic.cz/stroje?view=mainmachines&virtuemart_category_id=322
- [19] In: *Macmatic: Váš dodavatel obráběcích strojů a příslušenství* [online]. Zlín [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://www.macmatic.cz/stroje?view=mainmachines&virtuemart_category_id=326
- [20] In: *Macmatic: Váš dodavatel obráběcích strojů a příslušenství* [online]. Zlín [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://www.macmatic.cz/stroje?view=mainmachines&virtuemart_category_id=340
- [21] Vertikální soustruh CNC - Verturn II VDM 1250 CNC. In: *Knuth: Machine tools* [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.knuth.cz/verturn-ii-vdm-1250-cnc-1.html>
- [22] MCU 700V[T]-5X. In: *Kovosvit Mas: Machine your future* [online]. c2016 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcu-700vt-5x-p39.html#zakladni-koncepce>
- [23] In: *Siemens: Ingenuity for life* [online]. c1996-2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/plant-engineering-software-comos.html>
- [24] Kyberfyzikální systémy. *IoT Portal: Brána do světa internetu věcí* [online]. c2019, 22.8.2016 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/08/22/kyberfyzikalni-systemy/>
- [25] ABSOLON, Čeněk. *INDUSTRY CLUSTER 4.0: Pracoviště budoucnosti 4.0*. Brno, 2016.
- [26] Robot YuMi. In: *ABB* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/yumi>
- [27] Tecnomatix Plant Simulation Student. In: *Siemens: Ingenuity for life* [online]. c1996-2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/plmapp/education/plant-simulation/en_us/free-software/student/
- [28] Diagram znázorňující 4 industriální revoluce včetně průmyslu 4.0. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Průmysl_4.0
- [29] Specifická situace průmyslu v ČR. In: *INICIATIVA PRŮMYSL 4.0* [online]. s. 28 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
- [30] Průmysl 4.0 má v Česku své místo. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha, c2005-2019, 2.9.2016 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/prumysl-4-0-ma-v-cesku-sve-misto--176055/>
- [31] *Národní iniciativa: Průmysl 4.0*. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. 2015.
- [32] (Graf ročních investic Německa do průmyslu 4.0) [SERYKH Pavel] [Brno university of technology] [cit. 2019-05-07].

- [33] RTLS TDoA Wi-Fi Kit. In: *Sewio: Real-time location system* [online]. Brno: Sewio Networks, c2018 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.sewio.net/product/rtls-tdoa-wi-fi-kit/>
- [34] Kontrolní systém Equator. In: *Renishaw: apply annovation* [online]. Renishaw, c2001-2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/hardware--14624>
- [35] Příklad bezpečnostního oplocení Quick-Guard. In: *ABB* [online]. c2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://new.abb.com/low-voltage/cs/nizke-napeti/produkty/bezpecnostni-systemy/systemy-oploceni/quick-guard>
- [36] Průmyslová pračka WE 40. In: *QTS: Quality technology system* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.qts.cz/prumyslova-pracka-we-40-d124.html>
- [37] Operátor a centrální dálkový ovládací pult s monitorem. In: *Intemac: innovative technologies for machine tools* [online]. Kuřim: Intemac Solutions, c2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.intemac.cz/cz/sluzby/prumysl-4-0/vyrobní-bunka-4-0/>
- [38] Platforma na bázi prostředí TOS Control. In: *MM Průmyslové spektrum: Odborně-vzdělávací a zpravodajský portál z oblasti strojírenství a navazujících oborů* [online]. Praha: Průmyslové spektrum, c2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeci-stroje-pro-industry-4-0.html>
- [39] ProX DMP 100. In: *ABC3D: NEJLEPŠÍ PRO 3D TISK* [online]. Praha: Elvira spol, c2014-2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.abc3d.cz/eshop/3d-tiskarny/3d-tiskarna-prox-dmp-100-a-dmp-200-detail>
- [40] RTLS TDoA Wi-Fi Kit. Sewio [online]. Praha: Sewio Networks, c2018 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.sewio.net/product/rtls-tdoa-wi-fi-kit/>
- [41] Obráběcí stroje pro Industry 4.0. In: *MM Průmyslové spektrum: Odborně-vzdělávací a zpravodajský portál z oblasti strojírenství a navazujících oborů* [online]. Praha: Průmyslové spektrum, c2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeci-stroje-pro-industry-4-0.html>
- [42] Hardware. In: *Renishaw: apply annovation* [online]. Renishaw, c2001-2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/hardware--14624>
- [43] Automatizační software EZ-IO. In: *Renishaw: apply annovation* [online]. Renishaw, c2001-2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/automatizacni-software-ez-io--32496>
- [44] Digitálně a nezávisle s rozhraním MTConnect. WAGO [online]. Praha: WAGO-Elektro spol, c2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.wago.com/cz/zpracovatelska-technika/zpracovatelsky-prumysl-4-0/mtconnect>

11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam zkratk:

CPS – Kyberneticko-fyzikální systémy;
IOT – Internet věcí;
PLM – Product Lifecycle Management;
CNC – Computer Numerical Control;
DMP – Direct Metal Printing;
ČR – Česká republika;
RFID – Radio Frequency Identification;
HPC – High-performance concrete;
CAD – Computer aided design;
CAM – Computer Aided Manufacturing;
USA – United States;
MIT – Massachusetts Institute of Technology;
PLC – Programmable Logic Controller.

11.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Blokové schéma řízení CNC stroje [8]	19
Obr. 2) Polohové řízení [13]	23
Obr. 3) Pravoúhlé řízení [13]	23
Obr. 4) Souvislé řízení 2D [13]	24
Obr. 5) Souvislé řízení 2.5 D [13]	24
Obr. 6) Souvislé řízení 3D [13]	25
Obr. 7) a) Souvislé řízení 4D [13], b) Souvislé řízení 5D [13]	25
Obr. 8) Kartézský souřadný systém [14]	26
Obr. 9) Pravidlo pravé ruky [14]	26
Obr. 10) Bod v polární soustavě souřadnic [15]	27
Obr. 11) Rozmístění vztažných bodů na CNC frézce [16]	28
Obr. 12) Rozmístění vztažných bodů na soustruhu [17]	28
Obr. 13) Vertikální obráběcí centr Akira Seiki PC 500 [18]	34
Obr. 14) Horizontální obráběcí centr Akira Seiki H3XP [19]	34
Obr. 15) Horizontální soustruh Akira Seiki SL 15 [20]	35
Obr. 16) Vertikální soustruh CNC Verturn II VDM 1250 CNC [21]	36
Obr. 17) Vertikální portálové multifunkční centrum MCU 700 V[T]-5X [22]	38
Obr. 18) Diagram znázorňující 4 industriální revoluce včetně Průmyslu 4.0 [28]	42
Obr. 19) Robot YuMi [26]	44
Obr. 20) Tecnomatix Plant Simulation Student [27]	44

Obr. 21) 3D simulátor digitální továrny Siemens Comos Walkinside [23].....	46
Obr. 22) Kyberneticko-fyzikální systém CPS [25].....	47
Obr. 23) Graf ročních investic Německa do průmyslu 4.0. [32].....	53
Obr. 24) Schéma výrobní buňky 4.0.	54
Obr. 25) CNC stroje: soustruh KOVOSVIT SPM 16 a vertikální obráběcí centrum KOVOSVIT MCV 754 QUICK	55
Obr. 26) a) Průmyslový robot ABB 130/6 b) Řídící jednotka robotu c) Zásobník na manipulační efektory	56
Obr. 27) Příklad bezpečnostního oplocení Quick-Guard [35]	56
Obr. 28) Systém sledování pohybu osob na pracovišti Sewio Networks RTLS TDoA Wi-Fi Kit [33]	57
Obr. 29) a) Operátor a centrální dálkový ovládací pult s monitorem [37] b) Platforma na bázi prostředí TOS Control [38]	58
Obr. 30) Kontrolní systém Equator [34]	59
Obr. 31) Průmyslová pračka WE40 [36].....	60
Obr. 32) Průmyslová 3D tiskárna ProX DMP 100 [39].....	60

12 SEZNAM PŘÍLOH

Schéma výrobní buňky 4.0