



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

**Rozvoj lidských zdrojů TUL pro zvyšování relevance,
kvality a přístupu ke vzdělání v podmínkách Průmyslu 4.0**

CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_015/0002329

Automatizace a robotizace ve strojírenství

Strojírenství

Vlastimil Hotař



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
www.tul.cz



Automatizace a robotizace ve strojírenství

Trendy automatizace strojírenské výroby

Vlastimil Hotař, ZS 2023

Výuka v ZS

Skripta pro tento předmět jsou volně dostupná přes knihovnu TUL:

<https://etul.publi.cz/book/1275-uvod-do-automatizace-a-robotizace-ve-strojirenstvi>

K dispozici vám budou podklady (přednášky, cvičení, záznamy z přednášek a videa) na :

na e-learningovém portále Technické univerzity v Liberci

<https://elearning.tul.cz/>

Náplň předmětu

Přednášky:

1. Trendy automatizace strojírenské výroby.
2. Průmyslové roboty a manipulátory.
3. Přehled pohonů pro automatizační techniku.
4. Pneumatické pohony účelových manipulátorů.
5. Elektrické pohony a jejich vlastnosti.
6. Způsoby řízení výrobních strojů a robotů.
7. Efektory a periferní zařízení robotů.
8. Chapadla a technologické hlavice.
9. Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách.
10. Sensorika pro vizualizaci technologické scény.
11. Základní principy robot vision, bin-picking.
12. Analýza aplikačních oblastí průmyslových robotů.
13. Přehled a charakteristika mobilních a servisních robotů.
14. Trendy aplikací kolaborativních robotů.

Náplň předmětu

Cvičení:

1. Struktura mechanismů PR, typy struktur.
2. Polohovací a orientační ústrojí, pracovní prostor.
3. Konstrukční řešení pohybových jednotek.
4. Pneumatické pohony (laboratoř).
5. Základy elektropneumatických pohonů (laboratoř).
6. Elektrické pohony (laboratoř).
7. Programování PLC (laboratoř).
8. Test. Programování robotů off-line.
9. Programování robotů (laboratoř).
10. Chapadla s pneumatickým a elektrickým pohonem (laboratoř).
11. Funkce a charakteristiky snímačů (laboratoř).
12. Ukázky kamer pro průmyslové aplikace, ukázky průmyslového nasazení.
13. Interface a parametrizace kamer, jejich aplikace a robot vision (laboratoř).
14. Ukázky typických aplikací RTP a FMS. Zápočet.

Podmínky zápočtu a zkoušky

Cvičení spolu s laboratořemi je nutné absolvovat a jejich absolvování bude jednou z podmínek pro udělení zápočtu.

Na závěr semestru bude nutné absolvovat také test, který již bude ovlivňovat výslednou známku.

Úvodní test a Kahoot!

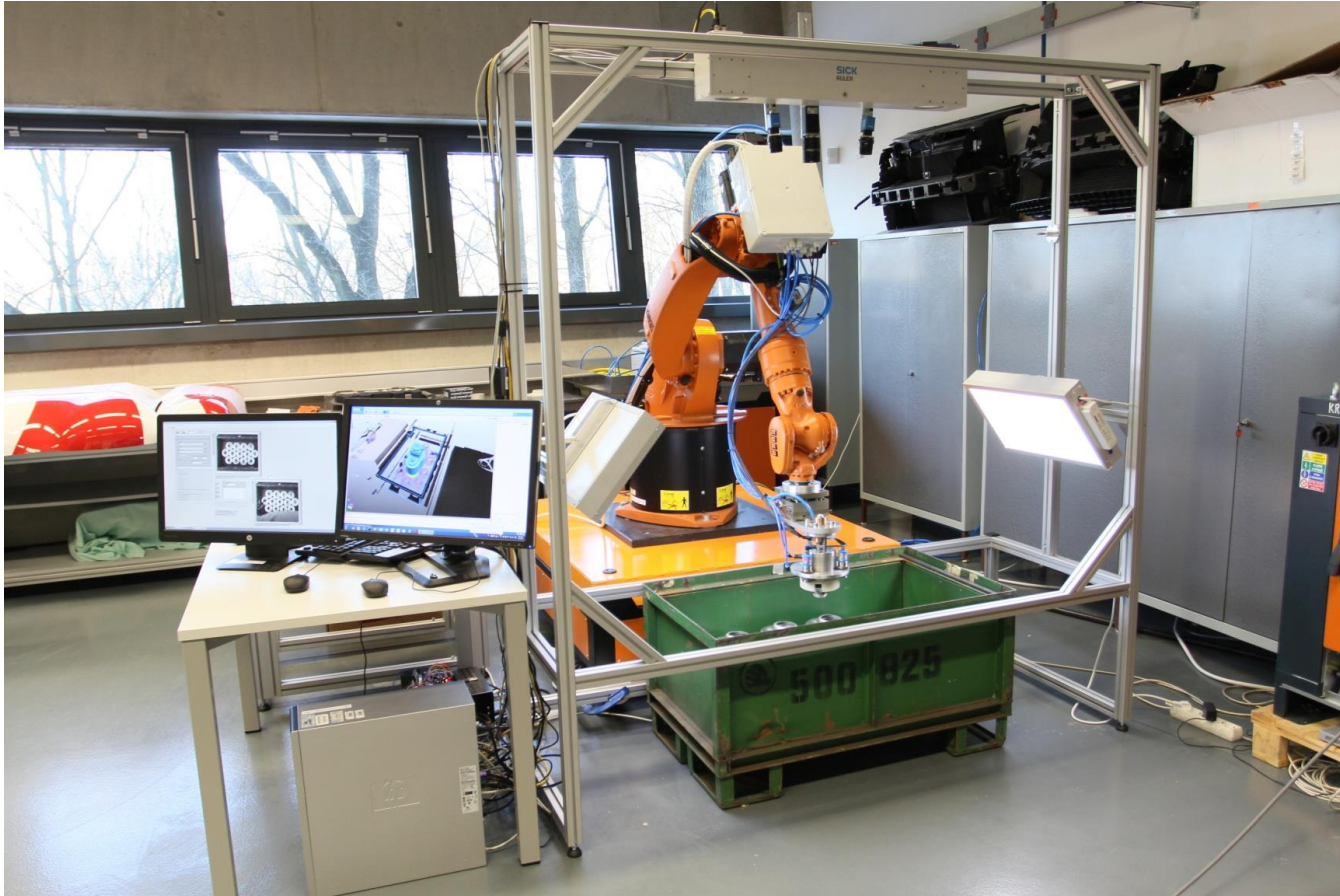
Test.

Kahoot! Jak na to:

1. Ve vyhledávači zadejte: **kahoot.it**
2. Zadejte PIN hry, který bude na plátně.
3. Zadejte svoje jméno, příjmení nebo přezdívku.
4. Hra bude spuštěna po přihlášení všech soutěžících.

Téma: Co nás čeká v robotice a automatizaci? Jaké jsou dnešní trendy?

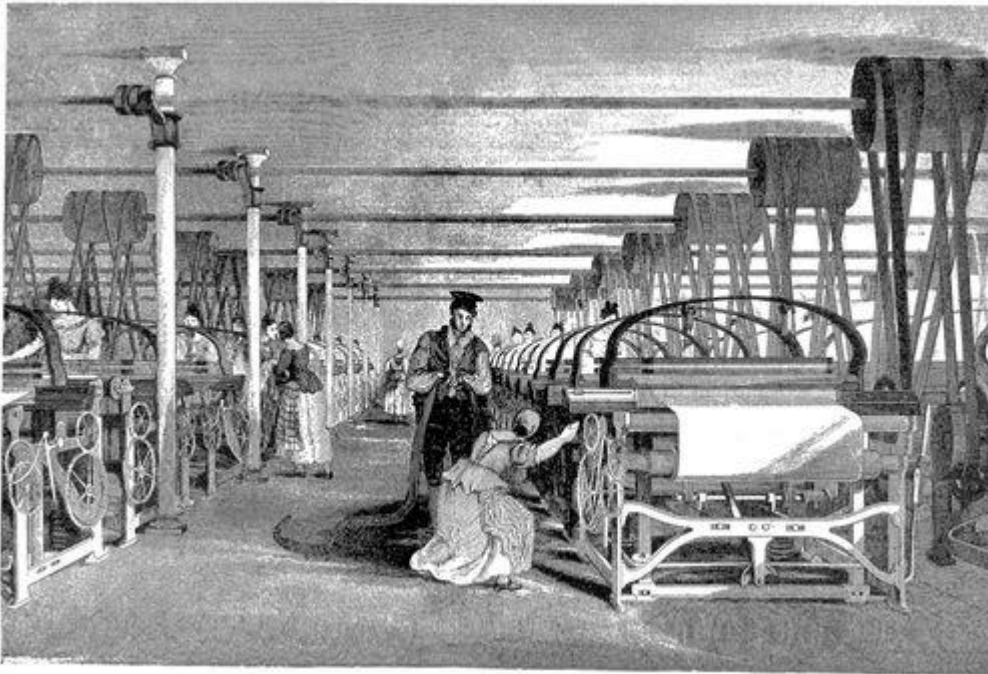
Průmysl 4.0, co, proč, jak?



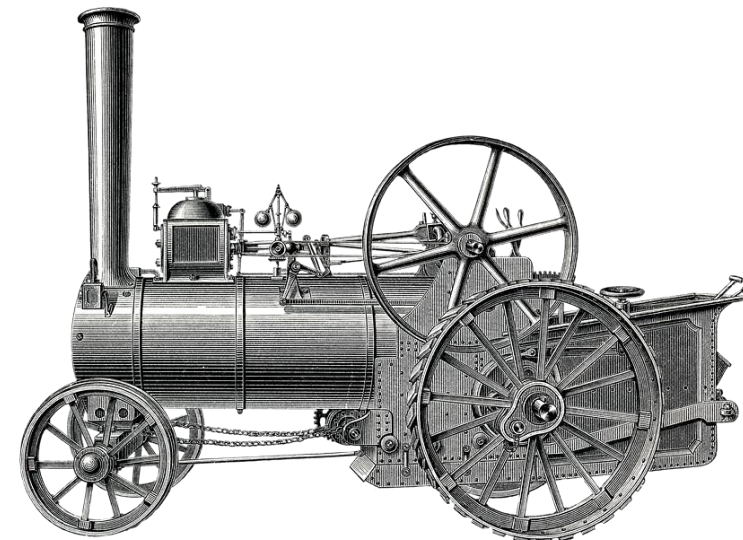
Bin picking na TUL, foto: KSR

Proč 4. průmyslová revoluce?

1. průmyslová revoluce: 1784, Edmund Cartwright vynalezl první mechanický tkací stav, symbol: parní stroj.



Tkalcovský stav v roce 1835, foto: Wikipedia



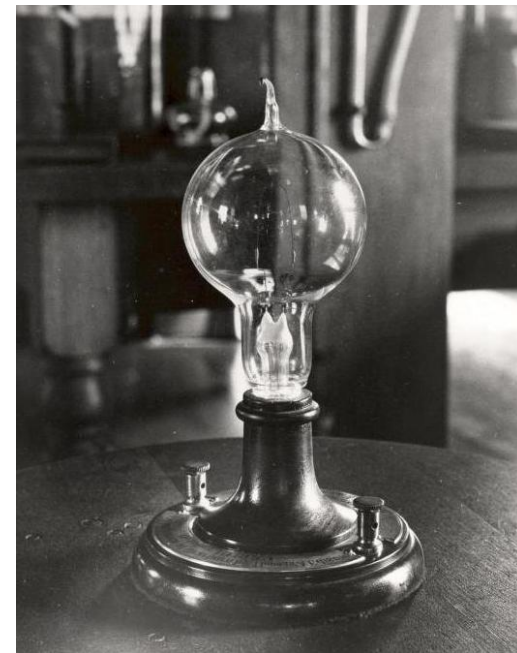
Parní stroj jako traktor, foto: <https://pixabay.com/>

Proč 4. průmyslová revoluce?

2. průmyslová revoluce: spojována s elektrifikací a se vznikem montážních linek; 1879, T. A. Edison zdokonalil (vynalezl) žárovku, nebo 1870, společnost v Cincinnati instalovala ve svém závodě první linku a začala s dělbu práce, symbol: montážní linky, elektrifikace.



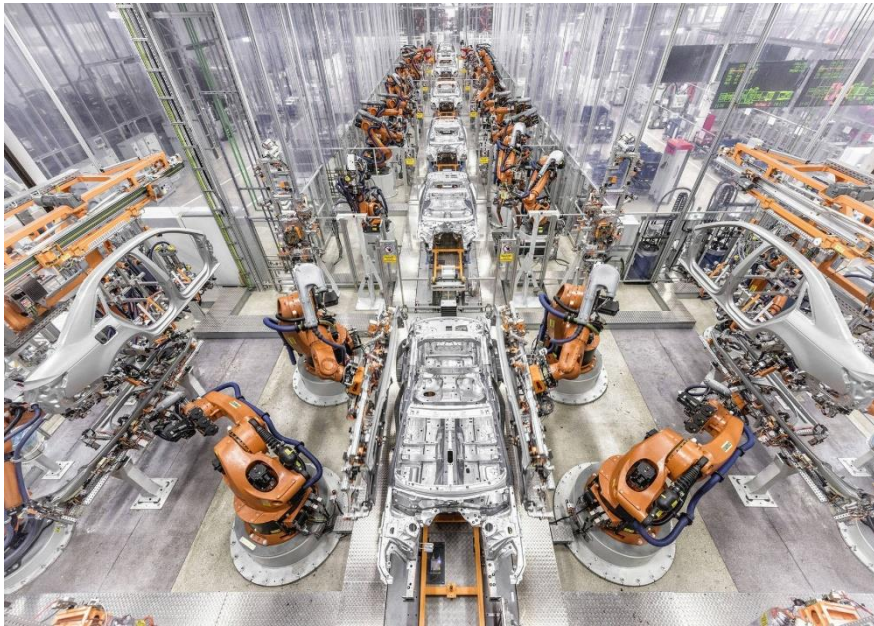
Výrobní linka automobilů, foto: <https://cz.pinterest.com/>



Historická žárovka, foto: <https://www.rent.cz/>

Proč 4. průmyslová revoluce?

3. průmyslová revoluce: spojována s automatizací, elektronikou a rozmachem informačních technologií, 1969, kdy byl vyroben první programovatelný logický automat čili PLC, symbol: automatické linky.



Linka na výrobu automobilů, roboty značky KUKA,
foto: <https://www.faz.net/>

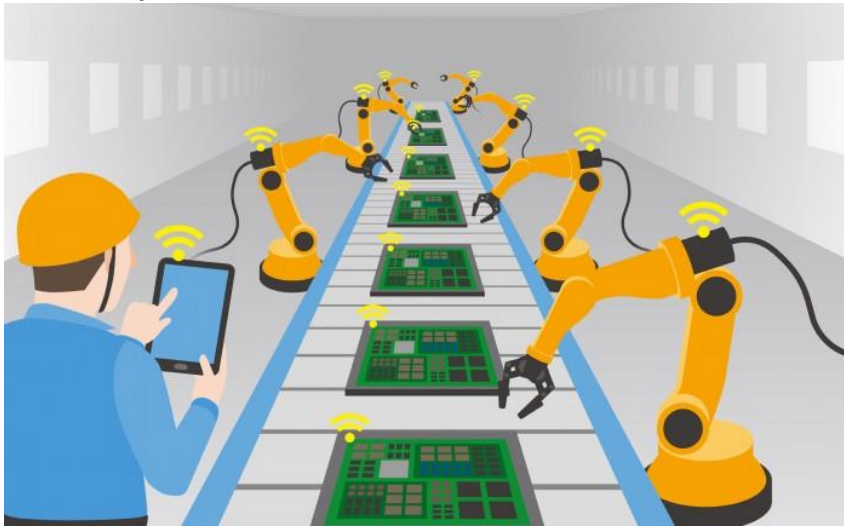


PLC Siemens SIMATIC S7-1500,
foto: <https://new.siemens.com/>

Proč 4. průmyslová revoluce?

4. průmyslová revoluce: masové rozšíření internetu a jeho průnikem do doslova všech oblastí lidské činnosti, pojem „Internet“ vznikl v roce 1987 a k jeho komercializaci došlo v roce 1994, symbol: Internet.

4. průmyslová (r)evoluce by měla zásadním způsobem změnit povahu průmyslu, energetiky, obchodu, logistiky a dalších částí hospodářství i celé společnosti.

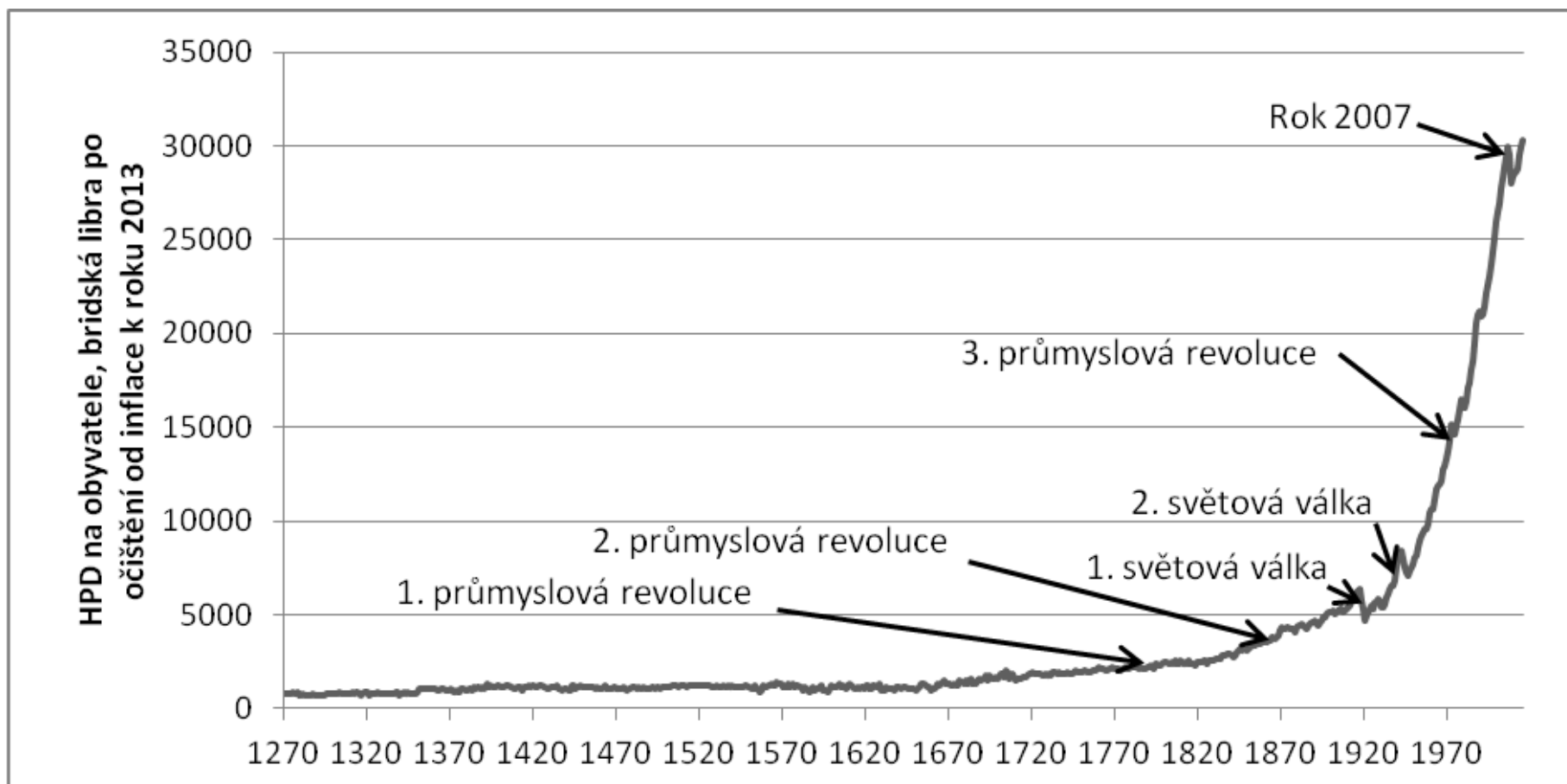


Průmysl 4.0, grafika: <https://www.operaicontro.it/>



Kolaborativní robot YuMi - IRB 14000, foto: <https://new.abb.com/>

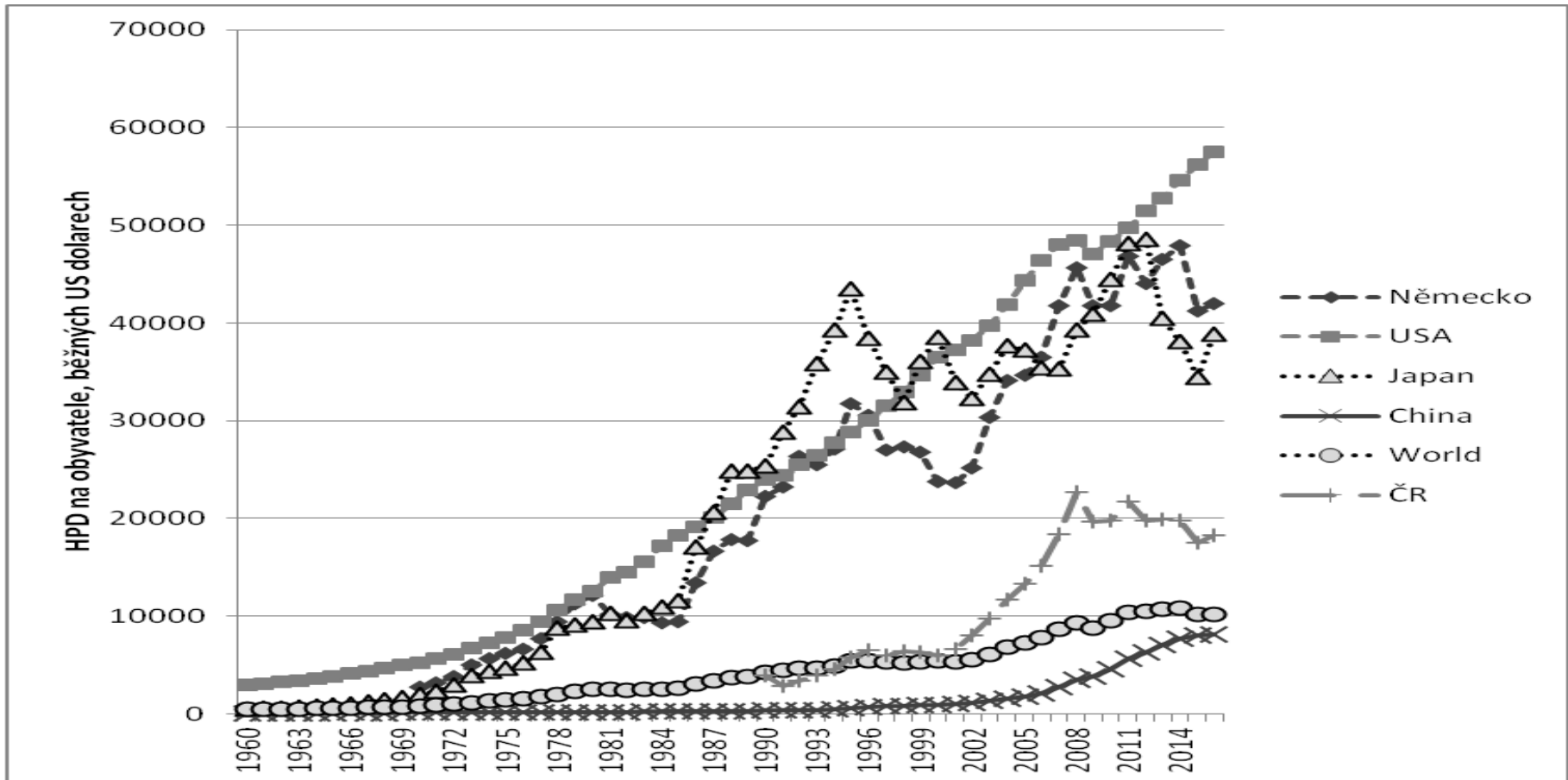
Kdy přijde 4. průmyslová revoluce?



Zdroj: veřejně dostupná data, vlastní zpracování



Kdy přijde 4. průmyslová revoluce?



Zdroj: veřejně dostupná data, vlastní zpracování



Pojmy které souvisí s (r)evolucí

Základní trendy současného vývoje automatizace strojírenské výroby lze shrnout do těchto bodů:

- Zvyšování flexibility a adaptivity zařízení a strojů
- Snadné nastavení a parametrizace strojů a zařízení
- Kolaborativní robotika
- Aditivní technologie (3D tisk)
- Pokročilá sensorika, zpracování a interpretace dat
- Infrastruktura pro ukládání a zpracování dat
- Průmyslový internet věcí
- Propojení reálného a virtuálního světa
- Masová výroba na zakázku (Mass customization)
- Využití umělé inteligence
- Interpretací dat se rozumí zpracování dat za účelem získání požadovaných informací.

Flexibilní a adaptivní výrobní zařízení

Výrobní zařízení a technologie budou získávat na:

- flexibilitě,
- schopnosti adaptace,
- sebe-nastavení a
- sebe-optimalizace.

Adaptivní výrobní systémy dokážou:

- lépe reagovat na dynamičnost poptávky na trhu,
- měnící se požadavky zákazníků,
- umožní minimalizaci nákladů na změnu sortimentu a
- budou méně citlivé na rušivé faktory.

Flexibilní a adaptivní výrobní zařízení

Změny ve výrobě budou odrážet změnu na trhu k tzv. **masové výrobě na zakázku**.

Nutnou podmínkou je propojení zařízení s řídicím systémem linky (nebo firmy), také mezi sebou, s dalšími logistickými, servisními, výrobními a dalšími systémy a také s produkovanými výrobky, pomocí **průmyslového internetu věcí**.

Důležitým prvkem podporující flexibilitu zařízení je také **senzorika**, která umožňuje lepší propojení s okolím (technologí, dalšími stroji, roboty a obsluhou).

Mění se i **koncepce robotů**, které jsou často osazeny dvěma rameny s více stupni volnosti (podobně jako člověk má dvě ruce) a kamerami, aby byly flexibilnější a mohly provádět širší okruh činností.

Flexibilní a adaptivní výrobní zařízení



Dvouramenný robot ABB YuMi - IRB 14000, *foto: <https://new.abb.com/>*



Dvouramenný robot Yaskawa SDA5F, *foto: <https://www.yaskawa.co.th/>*



Dvouramenný robot EPSON
<https://www.gtrobotique.fr/>

Flexibilní a adaptivní výrobní zařízení

Aditivní technologie, dělení laserem a vodním paprskem, obrábění robotem.

Flexibilní a adaptivní zařízení by se měli samy plnit konstrukčními daty, opravovat chyby a samostatně si určit všechny pohyby a akce.

Snadné nastavení strojů a zařízení

Zdlouhavé programování robotů, PLC, CNC a dalších zařízení ve formě procedurálních (imperativních) jazyků je stále v praxi hojně používáno.

Trendem je v současné době **parametrizace software**, tedy „naprogramování“ zařízení pomocí vybraných návazných operací v rozbalovacím menu, zadání hodnot do políček, posuvníkem v software, propojením ikonek, navedením rukou atd.

Nedalekou budoucností je ovládání/zadávání úloh hlasem. Zde je nutná již umělá inteligence zařízení.

Umělá inteligence také sama porozumí CAD modelům, technologii výroby, možným změnám se schopností se poučit z chyb vlastních, tak i sdílených s dalšími obdobnými stroji a zařízeními i mimo samotné firmy.

Kolaborativní robotika

Roboty ***přebírají těžkou monotónní práci*** a lidé díky tomu mohou věnovat svůj čas komplikovanějším, více kvalifikovaným a žádaným úkonům.

Roboty jsou ***v bezprostřední blízkosti člověka*** a nejsou, jako doposud u běžných průmyslových robotů, odděleny mechanickými zábranami nebo optickými závory.

Bezpečnost je zajišťována pomocí:

- konstrukce s minimalizací hmotnosti a
- zaoblenými hranami,
- pryžovým obložení.
- pokročilou sensorikou uvnitř a vně robotu.

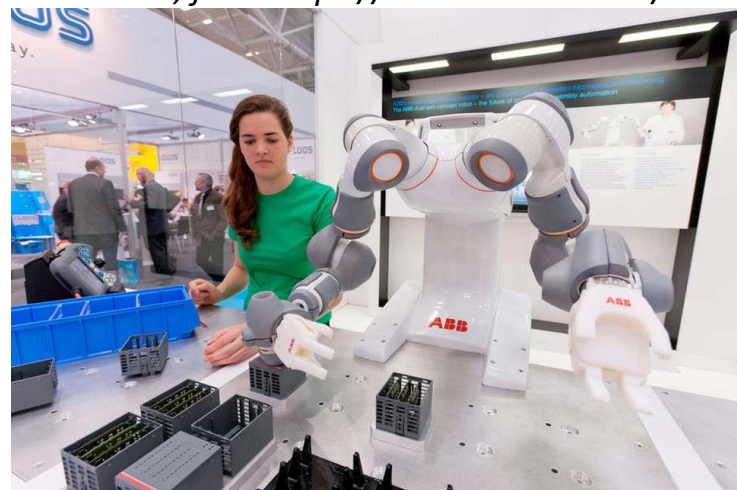
Kolaborativní robotika



Robot UR5, foto: <https://www.industr.com/>



Roboty z rodiny FANUC, foto: <https://www.fanuc.eu/>



Robot ABB, foto: <https://www.industr.com/>



Robot KUKA LBR iiwa, foto: <https://ifr.org/>

Aditivní technologie - 3D tisk obecně

- progresivní a flexibilní technologie,
- komerčně využíván od konce 80. let minulého století,
- v roce 2021 je odhadován celosvětový prodej 3D tiskáren, materiálů pro tisk, software a náhradních dílů za 21 miliard dolarů (2020 17,5),
- v roce 2028 se předpokládá prodej za 63 miliard dolarů.
- optimistické prognózy pak hovoří o 100 milionech prodaných 3D tiskáren ve světě za rok v roce 2030,
- využití 3D tisku v průmyslové výrobě:
 - design,
 - vývoj nových výrobků a zařízení,
 - příprava výroby,
 - tisk náhradních dílů,
 - tisk přípravků, měřidel a upínačů

3D tisk obecně – základní principy

- tisk pomocí tavné struny (FFF, Fused Filament Fabrication),
- vytvrzování materiálu v definované vrstvě – např. stereo litografie,
- pojení prášku pomocí laseru nebo lepidla – např. sintrace SLS,
- princip oddělování materiálu v každé vrstvě – LOM.

Materiály pro 3D tisk

- plasty: PLA, ABS, nylon, PET(G), CPE,
- kovy,
- keramické materiály,
- potraviny,
- kompozity (např. nylon+karbon),
- biologický materiál pro tisk orgánů (např. namnožené buňky od pacienta).

Pokročilá senzorika, zpracování a interpretace dat

Senzory:

- jednoduché, jednoúčelové a levné senzory
- multisenzory se schopností získávat a následně dále interpretovat data, za účelem získání potřebné informace.

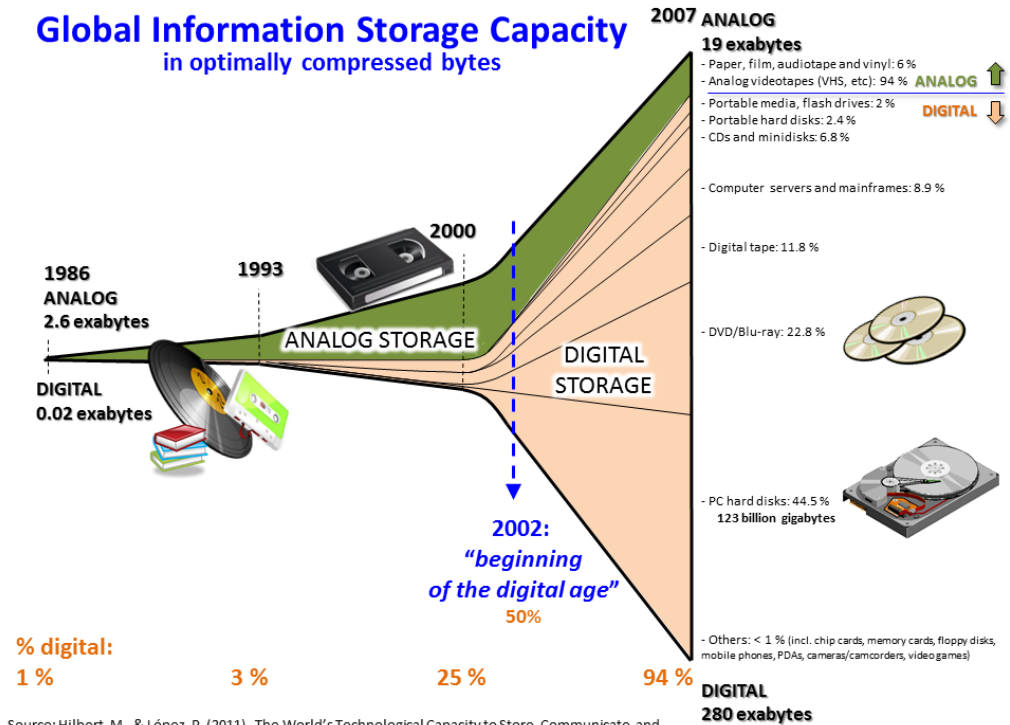
Předpokládá se ***decentralizace interpretace dat*** a ***masivní sdílení*** získaných informací s okolím.

Pomocí senzorů ověření:

- zda proces, který má zařízení vykonávat, začal,
- provádí se správně,
- byl dokončen podle potřeb a
- včasné odhalení problémů uvnitř zařízení s cílem předejít neočekávané odstávce.

Pokročilá senzorika, zpracování a interpretace dat

Big data – data, jejichž velikost je mimo schopnosti v rozumném čase zachycovat, spravovat a zpracovávat data běžně používaných softwarových prostředků.



Source: Hilbert, M., & López, P. (2011). The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information. *Science*, 332(6025), 60–65. <http://www.martinhilbert.net/WorldInfoCapacity.html>

*Nelineární růst digitální globální kapacity pro ukládání informací,
Grafika: Wikipedia*

Pokročilá senzorika, zpracování a interpretace dat

Data mining – analytická metodologie získávání netriviálních skrytých a potenciálně užitečných informací z dat.

Process of Data Mining



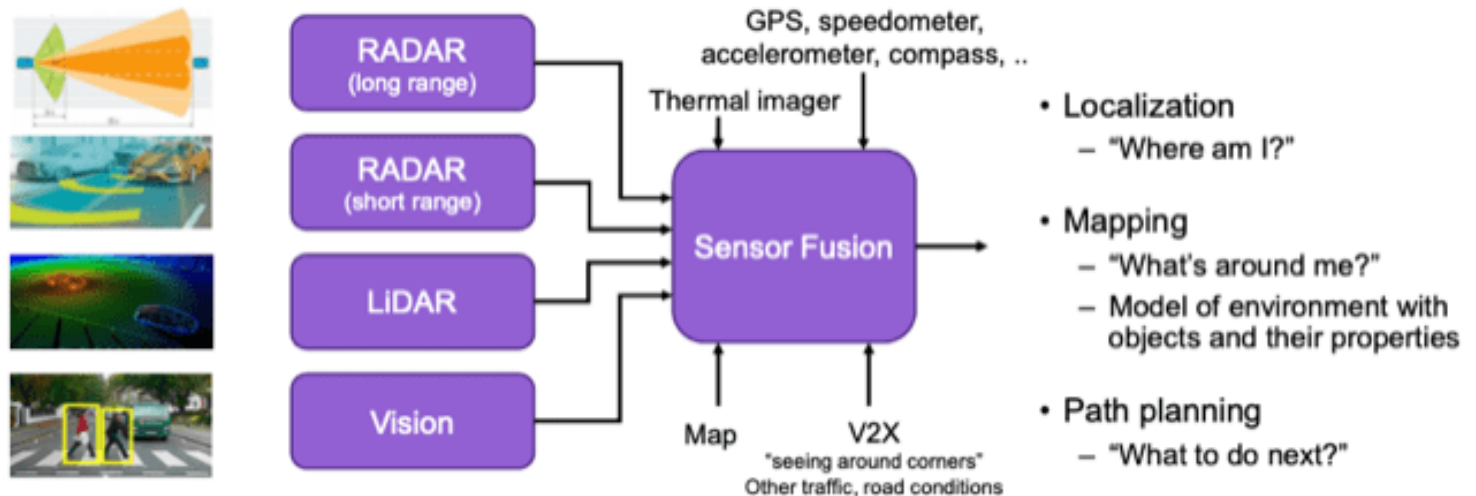
Data mining, foto: <https://cz.pinterest.com/>, grafika:

<https://www.amurta.com/blogs/the-art-of-data-mining-for-turning-data-into-insights/>

Pokročilá senzorika, zpracování a interpretace dat

Sensor fusion (senzorová fúze, multisenzorika) – kombinace senzoričských dat nebo dat získaných z různých zdrojů tak, že výsledná informace má méně nejistoty, než kdyby byly tyto zdroje použity jednotlivě.

Informace tak může být přesnější, úplnější, spolehlivější nebo může být rozšířena.



Senzorová fúze u samo-řiditelných automobilů, grafika: <https://semiengineering.com/sensor-fusion-challenges-in-cars/>

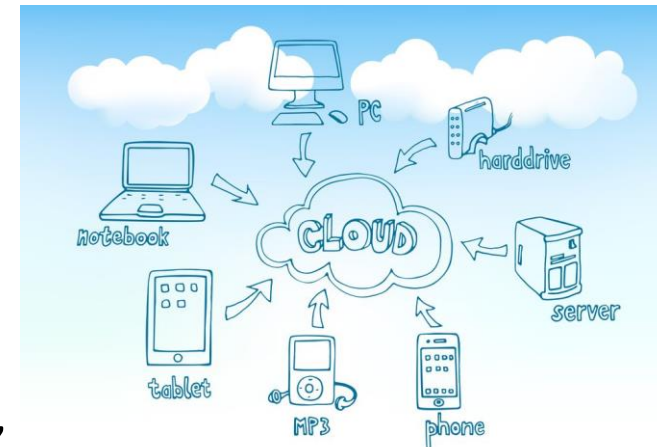
Infrastruktura pro ukládání a zpracování dat

Cloudové úložiště – úložiště mimo podnik, což umožňuje jejich:

- sdílení mezi různými uživateli a
- jednoduchý přístup z různých platform zařízení (počítač, tablet, chytrý telefon, PLC, řídicí jednotka robotu, ...).

Výhodou je:

- možnost data získat i mimo kancelář (v rámci home-office, práce v terénu, atd.),
- sdílet potřebná data s dodavateli a odběrateli,
- výměna dat mezi dceřinými a spřízněnými firmami,
- podpora řešení problémů u zákazníků,
- platformy pro umělou inteligenci
- pro následné zpracování dat specifickými softwarovými nástroji
- a další.



Zdroj: <https://staysafeonline.org/>

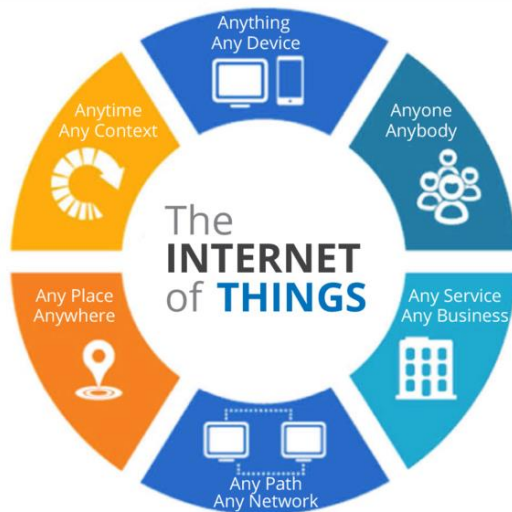
Otázkou je kybernetická bezpečnost!

Průmyslový internet věcí

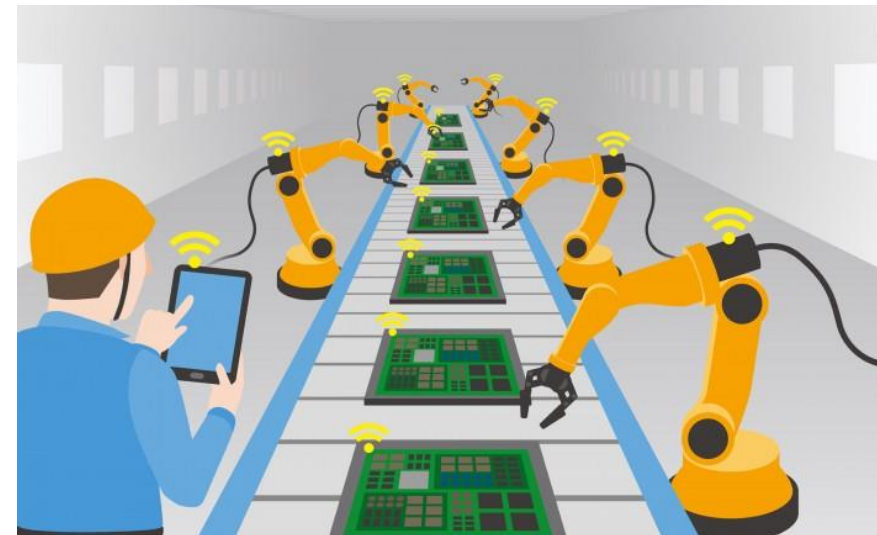
Internet věcí (IoT) aplikovaný do průmyslové výroby.

Využití vzájemné komunikace, sdílení dat a informací mezi:

- stroji (komunikace nazývána machine-to-machine),
- mezi výrobními linkami,
- výrobky (komunikace nazývána machine-to-product) a
- ekonomickými systémy (softwary).



Internet věcí, grafika: <https://medium.com/>



Zdroj: <https://www.operaicontra.it/>

Průmyslový internet věcí

Každý výrobek se již od okamžiku svého vzniku při výrobním procesu sám stane „inteligentním“ **kyber-fyzikálním systémem**.

V současné době dva problémy:

1. Vzájemná hardwarová a softwarová konektivita – sjednocující hardwarové a softwarové platformy, mezinárodní kompatibilitu a technicky sjednocené fyzické a bezdrátové propojování.
2. Zajištění kybernetické bezpečnosti a zabránění zneužití dat.



Zdroj: <https://medium.com/>

Propojení reálného a virtuálního světa

Dnes:

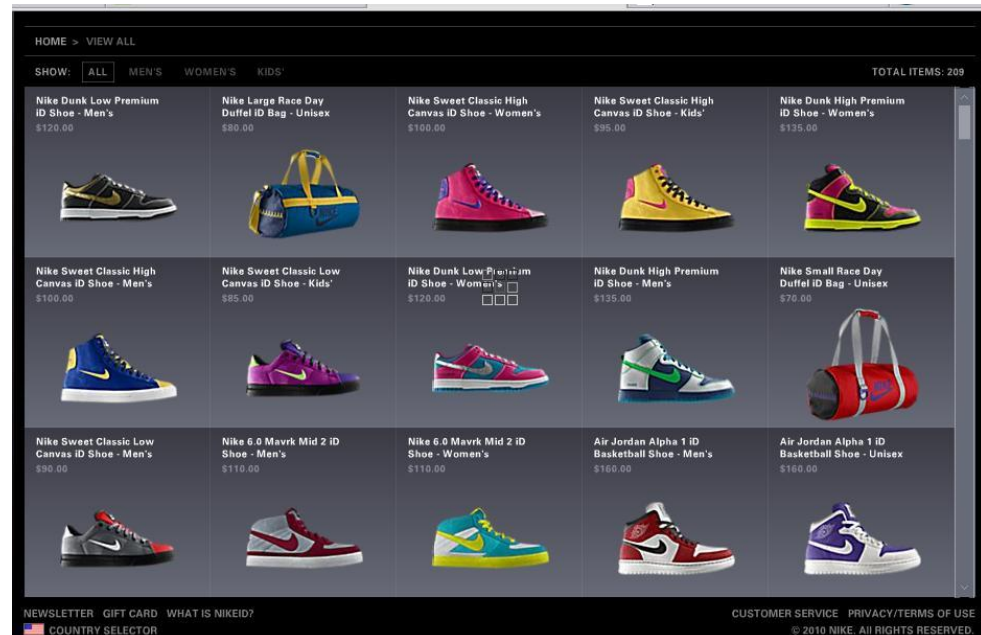
- **Vytváření virtuálních modelů** při návrhu a designu nových zařízení, domů, strojů, aut atd.
- Virtuální modely si lze dnes **pomocí rozšířené reality prohlížet** nebo upravovat, lze je umístit do reálné místnosti a místo nad výkresy je možné s pomocí speciálních brýlí diskutovat nad virtuálním modelem.
- Virtuální modely je možné následně **vytisknout na 3D tiskárnách**.
- Je možné **získávat 3D modely** reálných objektů pomocí vhodných senzorů a z nich vytvářet modely virtuální.

Mass customization

Masová produkce přizpůsobená poptávce jednotlivců, ekonomika řízená poptávkou - systém „Vytvoř, pak prodej“ se transformuje na „Prodej, pak vyrob“.

Zákazník si sestaví vlastní výrobek, odešle přes internet, je vyroben a dodán. Cena výrobku je srovnatelná s cenou výrobku vyrobeného hromadně ve stejném provedení.

*Možnosti přizpůsobení produktu u firmy Nike,
foto: <https://mfelipef.wordpress.com/>*



Mass customization

Výhody:

- minimalizaci skladových zásob hotových výrobků, (výrobky začne firma vyrábět až v okamžiku objednávky),
- zlepšení celková efektivita prodeje,
- výrobce je také lépe vázán na zákazníka včetně možné predikce jeho potřeb a tomu odpovídajícímu marketingu.

Hrozby:

- ví zákazník co vlastně chce?
- bude sílit tlak na dodavatelské řetězce včetně logistiky a v případě malých a středních firem jejich ohrožení integrací do systému dodávek velkých korporací.

Masová výroba na zakázku vyžaduje flexibilní výrobní zařízení (flexibilní automatizaci), flexibilní technologie, provázání zařízení a sdílení dat a informací, pokročilou senzorku, snadné nastavení strojů atd.

Umělá inteligence

Stroj napodobuje "kognitivní" funkce, které lidé spojují s jinými lidskými smysly, jako je "učení" a "řešení problémů".

Použití mnohavrstvých neuronových sítí pro „**hluboké učení**“ (deep learning).

Aplikace hlubokého učení nejsou programovány, ale jsou cvičeny na skutečných velkých datech, jak se v různých situacích chovat.



Zdroj: <https://www.oneprod.com/>

Umělá inteligence

Pro úspěšné využití mnohavrstvých neuronových sítí je potřeba použít **rozsáhlého souboru učících dat** a poskytnout **dostatečný výkon pro zpracování**, což mohou být i stovky CPU (počítačových procesorů) nebo GPU (grafických procesorů).

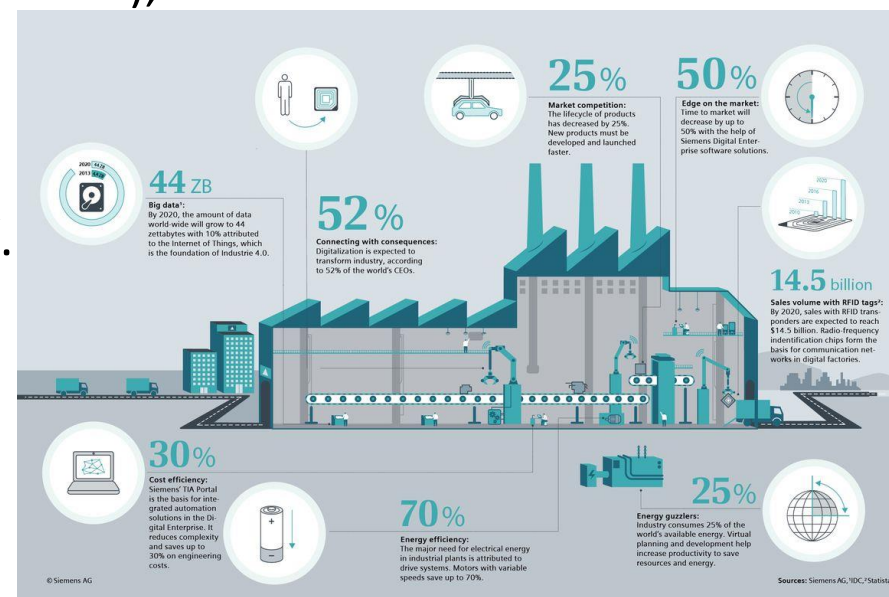
Tyto náročné operace jsou často prováděny na speciálních, tomu vyhrazených zařízeních a jsou důležité pro učení sítě, **samotná síť po naučení již může být implementována do běžných zařízení**.

Příklady využití:

- Rozpoznávání objektů z průmyslových 2D nebo 3D kamer (roznání širokého sortimentu zásob, výrobků, polotovarů, případně pro detekci člověka v okolí stroje, který se automaticky vyhne kontaktu s ním).
- Pro optimalizace všeho druhu, výrobního toku, konstrukcí, návrh výrobků, financí, ...

Co je cílem?

- snížení nákladů (úspora provozních a režijních nákladů v některých odvětvích až o 30 procent, snížení nákladů na zpracování výrobků o 25 procent),
- zkrácení časů (vývoj, produkce a distribuce zboží),
- zvýšení produktivity (o 30 procent),
- snížení energetické náročnosti,
- snížení surovinové náročnosti výroby,
- snížení dopadu výroby na životní prostředí.



Předpokládaný dopad Průmyslu 4.0,
grafika: <https://www.politico.eu/>

Co se změní?

- Chápání výkonu práce a zábavy se může značně změnit, stejně tak jejich místo a čas.
- Zvýšení nejistot v kyberprostoru (především v oblasti bezpečnosti dat a potenciálních kyberútoků).
- Některé pracovní pozice se omezí a možná zaniknou (řidiči aut, sekretářky, prodavačky, pokladní, skladník, poštovní doručovatelky, úředníci, administrativní pracovníci, lesníci, nástrojaři, montážní dělníci...).
- Nová pracovní místa vznikají s vyššími nároky na kvalifikaci pracovní síly, zejména z oblasti digitálních a inženýrských dovedností (specialista na kybernetickou bezpečnost, operátor 3D tiskárny, manažer zpracování dat a informací, vývojář a designér chytrých, tedy robotizovaných domácností, opravář robotů, ale i specialista na medicínu na dálku, bioanalytik, on-line pedagog nebo designér implantovaných orgánů, ...).

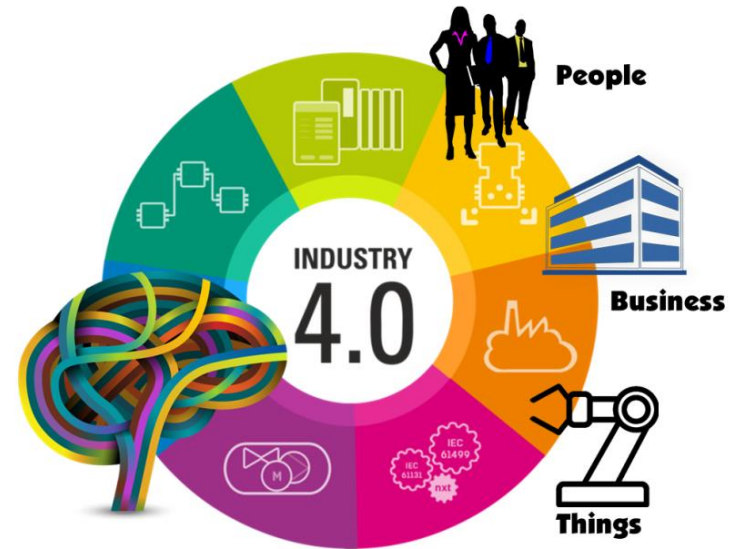
Šance pro kreativitu a řemesla

- Pojem Mass customization přináší nejistotu v možnosti vytváření vlastních výrobků zákazníka, který může proto požadovat služby kreativních profesionálů.
- Poptávka po zboží vyrobeném pouze lidskou rukou jako protiklad k strojní preciznosti a masovosti - šance pro řemesla.

Průmysl 4.0

Průmysl 4.0 je iniciativu na podporu 4. průmyslové (r)evoluce.

- Ucelená iniciativa, která zahrnuje současné trendy v průmyslu, společnosti a politice.



Zdroj: <https://tecnoservicesrl.it/>

Průmysl 4.0

Iniciativa průmysl 4.0, shrnuje základní charakteristiky inteligentních továren následovně:

- výrobní procesy jsou optimalizované v rámci celého hodnotového řetězce díky vertikálně i horizontálně integrovaným informačním systémům;
- izolované výrobní jednotky jsou nahrazeny plně automatizovanými a vzájemně propojenými výrobními linkami;
- fyzické prototypy jsou nahrazeny virtuálními návrhy výrobků, výrobních prostředků a výrobních procesů, jejich uvedení do provozu probíhá v rámci jednoho integrovaného procesu zapojujícího jak výrobce samotného, tak i jeho dodavatele;
- flexibilní výrobní procesy umožňují efektivní výrobu i malých výrobních dávek přizpůsobených individuálním požadavkům jednotlivých zákazníků;

Průmysl 4.0

- vzájemně komunikující roboty, výrobní zařízení a výrobky činí do jisté míry autonomní rozhodnutí v reálném čase a tím zvyšují flexibilitu a efektivitu výrobního procesu;
- výrobní zařízení se samo optimalizuje a konfiguruje v závislosti na parametrech zpracovávaného produktu;
- automatizované logistické zázemí využívající autonomních vozíků a robotů se automaticky přizpůsobuje potřebám výroby. Logistické zázemí se týká více subjektů v rámci kooperace, které nemusí být lokalizovány na jednom místě, a proto se logistický řetězec bude týkat i koordinace dopravního spojení mezi výrobními subjekty. Totéž se týká i koordinace distribučního procesu samotného výrobku.

Motto: „Tajemství úspěchu v životě není dělat, co se nám líbí, ale nalézat zalíbení v tom, co děláme.“

Thomas Alva Edison

Příště: Roboty – rozdělení a trendy

Průmyslové roboty a manipulátory

Literatura

NOVOTNÝ, František, Vlastimil HOTAŘ, Marcel HORÁK, Marie STARÁ a Michal STARÝ. *Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2020 [cit. 2021-10-19]. ISBN 978-80-7494-545-8. Dostupné z: <https://etul.publi.cz/book/1275-uvod-do-automatizace-a-robotizace-ve-strojirenstvi>.

IFR: World Robotics Service Robots [online]. 19. 9. 2021 [cit. 2021-09-25]. Dostupné z: <https://ifr.org/free-downloads/>

TRIOM: Manipulační technika [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <http://triom.cz/>

KUKA: Robotické systémy [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>

FANUC: Průmyslové roboty [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty>

ABB: Robotika [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: https://new.abb.com/products/robotics?_ga=2.202486545.1417283177.1634636668-2120825869.1623753433

GOOGLE: Picture [online]. [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.google.com/>