

Bezpečnost práce s roboty a robotickými systémy

Ing. Lucie Kratochvílová

Bakalářská práce
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Ing. Lucie Kratochvilová**
Osobní číslo: **A17556**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Bezpečnost práce s roboty a robotickými systémy**
Téma práce anglicky: **Occupational Safety with Robots and Robotic Systems**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Popište normativní a legislativní požadavky na bezpečnost práce s roboty a robotickými systémy.
3. Zpracujte přehled používaných robotických systémů v průmyslu.
4. Klasifikujte roboty a jejich struktury, charakterizujte a popište kolaborativní roboty.
5. Analyzujte rizika a nebezpečí vznikající při vývoji robotů a robotických systémů a při práci s nimi.
6. Navrhnete metodický přístup ke snižování zjištěných rizik.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. APETAUR, Milan a František KLIMENDA. *Mechanika výrobních strojů: manipulátory a průmyslové roboty*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN 978-80-7414-782-1.
2. BLECHA, Petr. *Management technických rizik u výrobních strojů*. Brno, 2009. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
3. CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 800102301x.
4. KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5
5. NEUGEBAUER, Tomáš. *Vyhledání a vyhodnocení rizik v praxi*. 3. vydání. Praha: Wolters Kluwer, 2018. ISBN 978-80-7552-072-2.
6. ČSN EN ISO 12100. *Bezpečnost strojních zařízení. Všeobecné zásady pro konstrukci: Posouzení rizika a snižování rizika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Navrátil, Ph.D.
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce: 7. prosince 2019
Termín odevzdání bakalářské práce: 25. května 2020

L.S.

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků budu uvedena jako spoluautorka.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

Lucie Kratochvílová, v.r.
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje problematiku bezpečnosti práce s roboty a robotickými systémy. V teoretické části jsou zpracovány normativní a legislativní požadavky při práci s těmito stroji. Dále je zmíněno, jaká jsou základní rozdělení těchto zařízení v průmyslovém odvětví a popsáno, co kolaborativní robot je a jak pracuje. V poslední části práce jsou analyzována nebezpečí, která mohou nastat při práci s těmito stroji a navržen metodický přístup ke snižování rizik.

Klíčová slova: robot, robotický systém, bezpečnost práce.

ABSTRACT

This bachelor thesis describes the safety of work with robots and robotic systems. In the theoretical part are processed normative and legislative requirements when working with these machines. Furthermore, it is mentioned what are the basic distributions of these devices in the industry and described what a collaborative robot is and how it works. The last part of the thesis analyzes the hazards that may occur when working with these machines and proposes a methodological approach to risk reduction.

Keywords: robot, robotic system, occupational safety.

Motto od Karla Čapka: „*Vzdělání je to, co nám zůstane, když zapomeneme všechno, co jsme se naučili ve škole.*“

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce Ing. Milanovi Navrátilovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 LEGISLATIVNÍ A NORMATIVNÍ POŽADAVKY	11
1.1 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA BEZPEČNOST PRÁCE S ROBOTY A ROBOTICKÝMI SYSTÉMY	11
1.2 NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA BEZPEČNOST PRÁCE S ROBOTY A ROBOTICKÝMI SYSTÉMY	12
1.2.1 Normy typu A.....	12
1.2.2 Normy typu B.....	12
1.2.3 Normy typu C.....	13
1.3 SHRnutí VŠEOBECNÝCH POŽADAVKŮ	13
2 KLASIFIKACE ROBOTŮ A ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ	15
2.1 PODLE KINEMATICKÉ STRUKTURY	15
2.2 PODLE POČTU STUPŇŮ VOLNOSTI	15
2.3 PODLE DRUHU POHONŮ	15
2.4 PODLE DRUHU ČINNOSTI A PROSTŘEDÍ.....	16
2.5 OSTATNÍ DRUHY TŘÍDĚNÍ	18
3 SENZORICKÉ SYSTÉMY	19
3.1 DĚLENÍ SENZORŮ.....	19
3.1.1 Příklady aktivních senzorů	19
3.1.2 Příklady pasivních senzorů.....	20
3.2 DALŠÍ ZPŮSOBY ČLENĚNÍ SENZORŮ	20
4 KOLABORATIVNÍ ROBOTI	22
4.1 HISTORIE KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ.....	22
4.2 TECHNICKÁ SPECIFIKACE ISO/TS 15066	23
5 ROBOTI A ROBOTICKÉ SYSTÉMY V PRŮMYSLU	26
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
6 NEBEZPEČÍ PŘI PRÁCI S ROBOTY A ROBOTICKÝMI SYSTÉMY	30
6.1 MECHANICKÁ NEBEZPEČÍ.....	30
6.2 ELEKTRICKÁ NEBEZPEČÍ.....	31
6.3 TEPELNÁ NEBEZPEČÍ	31
6.4 NEBEZPEČÍ VYVOLANÁ HLUKEM	32
6.5 OSTATNÍ NEBEZPEČÍ.....	32
7 METODICKÝ PŘÍSTUP KE SNIŽOVÁNÍ RIZIK	34
7.1 ANALÝZA RIZIK V KONSTRUKCI.....	35
7.2 ANALÝZA FUNKČNÍ BEZPEČNOSTI	38
7.3 SNIŽENÍ RIZIK	42
8 SOUČASNÉ POZNATKY	44
ZÁVĚR	48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	55
SEZNAM OBRÁZKŮ	56
SEZNAM TABULEK.....	57
SEZNAM PŘÍLOH.....	58

ÚVOD

Technická norma ČSN ISO 8373 definuje pojem robot jako manipulátor, který je automaticky řízený, opětovně programovatelný a víceúčelový. Robot ke své činnosti využívá třech nebo více os, bývá pevně spjat s místem nebo mobilně využíván v průmyslovém prostředí. Robotický systém je systém zahrnující jeden či více robotických prvků.

Roboti a robotické systémy jsou zařízení, která spolupracují s výrobními stroji v průmyslu a mají uplatnění i v dalších odvětvích. Tato zařízení mají vysokou úroveň spolehlivosti, bývají produkována opakovaně různými výrobci a neustále inovována (hlavně úrovní subsystémů a prvků). Dále díky tomu dochází k automatizaci v průmyslu, ať už automobilovém nebo potravinářském. Rozsah nasazení robotů a robotických systémů je neomezený. Je potřeba brát v úvahu, že díky těmto strojům jsou otevřeny brány trhu a vysoká konkurence.

Robotické systémy často disponují silou nepoměrně vyšší, než je lidská, a často pracují s látkami a nástroji nebezpečnými člověku v případě nesprávné manipulace či poruchy. Je zjevné, že správný přístup při práci s roboty a robotickými systémy je důležitý pro ochranu života a zdraví pracovníků. V tomto případě se jedná o soubor metod a postupů, které musí být správně aplikovány, aby u vyvíjených robotů a robotických systémů bylo dosaženo přiměřené úrovně ochrany bezpečnosti a zdraví pracovníků pohybujících se v jejich okolí.

Za tímto účelem jsou v Evropské unii (EU) vydávány harmonizační právní předpisy, které nám poskytují základní požadavky a mají být při konstrukci či práci se strojním zařízením (v našem případě robotického systému) splněny.

Legislativní prostředí pro tuto harmonizovanou oblast vyšlo v roce 2006 na úrovni EU. Do této oblasti spadají veškerá strojní zařízení včetně robotů a robotických systémů. Státní normy byly aktualizovány tak, aby byly splněny právní povinnosti uložené právním předpisem EU.

Výrobce musí poskytnout údaje o strojních zařízeních. Tyto údaje musí být správné a deklarované. Po dodání stroje (nákupu) včetně přepravy, montáže, instalace a uvedení do provozu jsou shromažďovány další informace, které jsou v různé podobě (návod k obsluze, elektromagnetická kompatibilita apod.). Dalším krokem je prevence v oblasti rizik (bezpečnost), kterou má na starost vedení podniku, jež dokončí uvedení stroje do provozu. Kooperace mezi obsluhou robotického systému a dalšími pracovníky je nezbytná.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 LEGISLATIVNÍ A NORMATIVNÍ POŽADAVKY

V této kapitole jsou popsány legislativní a normativní požadavky na bezpečnost práce s roboty a robotickými systémy.

1.1 Legislativní požadavky na bezpečnost práce s roboty a robotickými systémy

V květnu roku 2006 vyšla Směrnice Evropského parlamentu (dále EP) a Rady 2006/42/ES, ve které je definováno strojní zařízení a zmíněna změna směrnice 95/16/ES. Strojním zařízením se rozumí:

- Soubor využívající poháněcí systém, který nevyužívá lidskou ani zvířecí sílu. Jedna část tohoto systému musí být pohyblivá (za účelem zvedání břemen). Části nebo další komponenty jsou navzájem propojené za účelem přesně definovaného použití.
- Soubor, kterému chybí komponenty, jenž je spjat s prostředím, kde bude dále použit se zdroji energie nebo pohybu.
- Soubor, který je připraven k instalaci a ihned k dispozici po namontování např. na konstrukci, dopravní prostředek aj.
- Soubory, které jsou schopny fungovat jako integrovaný celek [1][2].

Po uvedení strojního zařízení (v našem případě robotů a robotických systémů) na trh musí výrobce zajistit, aby toto zařízení splňovalo všechny požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví, ochranu životního prostředí, dále musí být k dispozici technická dokumentace, návod k použití, prohlášení o shodě apod.

Technická dokumentace robotů a robotických systémů je vždy uvedena v úředním jazyce EU. Zahrnuje konstrukční a výrobní dokumentaci – většinou se vždy jedná o popis a výkres robota či robotického systému, dále jsou zde zmíněny certifikáty a zkoušky, které musí být shodné s požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost.

Návod k obsluze je součástí balení každého robota a robotického systému. Pokud je návod k obsluze překládán (např. do českého jazyka), musí být součástí i původní návod (např. v anglickém jazyce). Stejně to platí i o Prohlášení o shodě [1].

Prohlášení o shodě obsahuje např. informace o výrobcí, popis a identifikaci robota či robotického systému (obecné označení, funkce, typ, model, sériové číslo a název), dále také

prohlášení, ve kterém je uvedeno, že robot a robotický systém splňuje všechna ustanovení směrnice, prohlášení o shodě atd.

Technické požadavky na roboty a robotické systémy jsou zmíněny ve směrnici 2006/42/ES, která je prováděna nařízením vlády č. 176/2008 Sb. k zákonu č. 22/1997 Sb. [3].

V únoru 2014 vyšla Směrnice EP a Rady 2014/35/EU, kde jsou shrnuty požadavky na bezpečnost robotů a robotických strojů a dále jsou zde i zmíněny právní předpisy, které se týkají dodání elektrických zařízení pro použití v určitých mezích napětí. Elektromagnetická kompatibilita těchto systémů je zmíněna ve Směrnici EP a Rady 2014/30/EU [4].

1.2 Normativní požadavky na bezpečnost práce s roboty a robotickými systémy

Do základních typů bezpečnostních norem patří normy typu A – označované jako základní, skupinové jsou normy typu B, které mají ještě 2 podskupiny – B1 a B2. Normy typu C jsou předmětové [1].

1.2.1 Normy typu A

V těchto normách nalezneme základní požadavky na konstrukci strojního zařízení (robotů a robotických systémů). Jedná se hlavně o ČSN EN ISO 13849-1 – bezpečnost strojních zařízení, kde jsou uvedeny základní pojmy [5]. Dále ČSN EN ISO 12100:2011 – bezpečnost strojních zařízení, kde pro konstrukci jsou zmíněny všeobecné zásady a popis, jak posoudit rizika, popř. je snížit [6]. Dále jsou zde popsána pravidla pro navrhování a předkládání bezpečnostních norem.

1.2.2 Normy typu B

Norma B1 se zabývá jedním bezpečnostním hlediskem a B2 jedním typem bezpečnostního zařízení, které může být využito pro větší počet strojních zařízení (robotů a robotických systémů) [1].

Dle Seznamu ČSN normy B1 jsou uvedené jako „Bezpečnostní hlediska u strojů“. Bezpečnostním hlediskem se tímto rozumí např. udržení bezpečné vzdálenosti mezi robotickým systémem a obsluhou aj. V těchto normách dohledáme např. i pravidla požární prevence a požární ochrany, dále hygienické požadavky během konstrukce robotů a robotických systémů a způsob zamezení neočekávaného spuštění.

V Seznamu ČSN jsou normy B2 uvedené jako „Bezpečnostní a ochranné systémy“. V těchto normách jsou zmíněny příslušné bezpečnostní části – kryty, blokovací zařízení, ovladače, nouzové zastavení, bezpečnostní požadavky na pneumatiku apod.

Do norem typu B se ještě řadí ty, které souvisí s ergonomií. Nejčastěji se jedná o ergonomii pracoviště. Pracoviště by mělo být přehledné, pohodlné (odpovídající rozměry místnosti pro práci), účelně uspořádané, hygienické, bezpečné a na první pohled příjemné. Snahou každého podniku je, aby v daných pracovních podmínkách byla zajištěna ochrana zdraví, bezpečnost a dosažená optimální výkonnost v pracovním procesu.

1.2.3 Normy typu C

V této normě jsou detailnější bezpečnostní požadavky na práci s roboty a robotickými systémy. V normách ČSN EN ISO 10218-1/2:2012 Roboty a robotická zařízení – jsou uvedeny požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – první část obsahuje roboty, druhá část systémy robotů a integrace [8].

Cílem těchto zmíněných norem je poskytnout výrobcům, dodavatelům, konstruktérům a obsluze robotů a robotických systémů strategii k dosažení shody s příslušnou legislativou. Pro lepší pochopení této problematiky je v příloze PI obsažen přehled těchto norem.

1.3 Shrnutí všeobecných požadavků

V této kapitole jsou popsány všeobecné zásady při práci s roboty a robotickými systémy. Převážně se jedná o fyzikální požadavky (osvětlení, teplota, akustika, vibrace).

Požadavky na **osvětlení** jsou shrnuty v normě ČSN EN 12665 „Světlo a osvětlení“. Osvětlení musí vyhovovat požadavkům, které jsou nutné pro provedení pracovní činnosti. Během práce s roboty a robotickými systémy musí být světlo a osvětlení projektováno tak, aby pracovník nemusel zaujímat nevhodnou tělesnou pozici. Na pracovišti v průmyslovém prostředí je potřeba zamezit oslnění a používání příliš vysoké intenzity osvětlení. Dále je potřeba se vyvarovat „blikání“ a vzniku matoucích stínů. Je vhodné zachovat barevnost.

Teplota na pracovišti musí odpovídat klimatickým podmínkám. Je potřeba brát v úvahu teplotu a vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu, tepelné vyzařování apod. Všechny tyto požadavky jsou shrnuty v normě ČSN EN ISO 13732:2009 Ergonomie tepelného prostředí [9].

Akustika musí být na pracovišti taková, aby se zabránilo vzniku hluku z vnitřního prostředí pracoviště i z vnějšího prostředí [1]. Na pracovišti je pozornost věnovaná převážně tomu, zda je zachována srozumitelnost řeči a jestli jsou vnímány akustické signály (např. zvuk požárního hlásiče). ČSN EN ISO 9921:2004 popisuje podrobněji informace o akustických podmínkách [10].

Na lidský organismus se přenáší *vibrace* z vnějšího prostředí. Jsou způsobeny vyvoláním rezonančních kmitočtů v lidském těle. Na pracovišti nesmí dojít ke zdravotnímu poškození, k patologickým reakcím nebo k narušení sensoriky. Bližší požadavky na vibrace jsou shrnuty v normě ČSN ISO 13373-1:2003 Monitorování stavu a diagnostika strojů (monitorování stavu vibrací) [11].

Během práce s roboty a robotickými systémy se mohou uvolňovat *nebezpečné látky a nebezpečné záření*. Aby se předešlo ohrožení obsluhy, musí být tyto nedostatky odstraněny. Podrobnější požadavky jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 14123-1 Bezpečnost strojních zařízení – snižování ohrožení zdraví nebezpečnými látkami emitovanými strojním zařízením [12].

K dalšímu zajištění bezpečnosti se používají *kryty a zařízení určené k blokaci*. Je nesmírně důležité, aby během výměny krytu nebo seřízení daného robota či robotického systému byl robot blokován. Ochranné kryty se používají tam, kde je nedostatečná vzdálenost mezi člověkem a nebezpečnými částmi (např. pila nebo lis). O krytech a blokovacích zařízeních pojednává norma ČSN EN ISO 14120 Bezpečnost strojních zařízení – ochranné kryty aj. [13].

Dalšími ochrannými zařízeními mohou být např. ochranné lišty, nášlapné rohože, světelné závory, laserové skenery. Dále to mohou být ručně ovládaná zařízení, která společně se spouštěcím zařízením daný systém (v našem případě robot či robotický systém) deaktivují. O elektrických snímacích ochranných zařízeních pojednává norma ČSN EN 61496-1 Bezpečnost strojních zařízení [14].

V neposlední řadě je potřeba shrnout i *požadavky na elektrická zařízení* – viz norma ČSN EN 60204-1 Bezpečnost strojních zařízení – elektrická zařízení strojů. V této normě je zmíněna funkční bezpečnost strojních zařízení.

2 KLASIFIKACE ROBOTŮ A ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ

V této kapitole je uveden popis robotů a robotických systémů včetně jejich struktury. Roboty a robotické systémy dělíme podle různých kritérií. Nejčastěji se roboti a robotické systémy rozdělují podle pohybové struktury, stupňů volnosti, geometrie pracovního prostoru, způsobu ovládání a manipulace, systému naprogramování atd. [15]. Klasifikací robotů a robotických systémů je několik. V této kapitole je shrnuta pouze základní klasifikace.

2.1 Podle kinematické struktury

V průmyslovém odvětví se setkáváme nejčastěji se sériovými, paralelními a hybridními roboty či robotickými systémy [15]. Sériový robot a robotický systém využívá otevřený kinematický řetězec manipulátoru. Paralelní robot a robotický systém využívá uzavřený kinematický řetězec manipulátoru. Hybridní robot a robotický systém využívá otevřený a uzavřený řetězec manipulátoru [15].

Otevřený kinematický řetězec je popsán acyklickým grafem, ve kterém uzly grafu představují ramena manipulátoru a hrany grafu jednotlivé klouby [50]. Každé rameno manipulátoru je spojeno s kloubem právě se dvěma dalšími rameny mimo rameno typu základna a koncový efektor [50].

Uzavřený kinematický řetězec popisuje cyklický graf. Koncový efektor je spojen se základnou manipulátoru dvěma nebo více otevřenými kinematickými řetězci [50].

2.2 Podle počtu stupňů volnosti

Do této kategorie se řadí roboti a robotické systémy univerzální, redundantní a deficitní [15]. Univerzální roboti a robotické systémy mají šest stupňů volnosti a v kartézském souřadném systému vymezují polohu a orientaci objektu manipulace. Redundantní roboti a robotické systémy mají schopnost obcházet předměty a jiné překážky, popř. se dobře orientují v zúženém prostoru. Mají více než šest stupňů volnosti. Deficitní roboti a robotické systémy mají méně než šest stupňů volnosti a jsou schopny například provádět instalaci předmětu v rovině [15].

2.3 Podle druhu pohonů

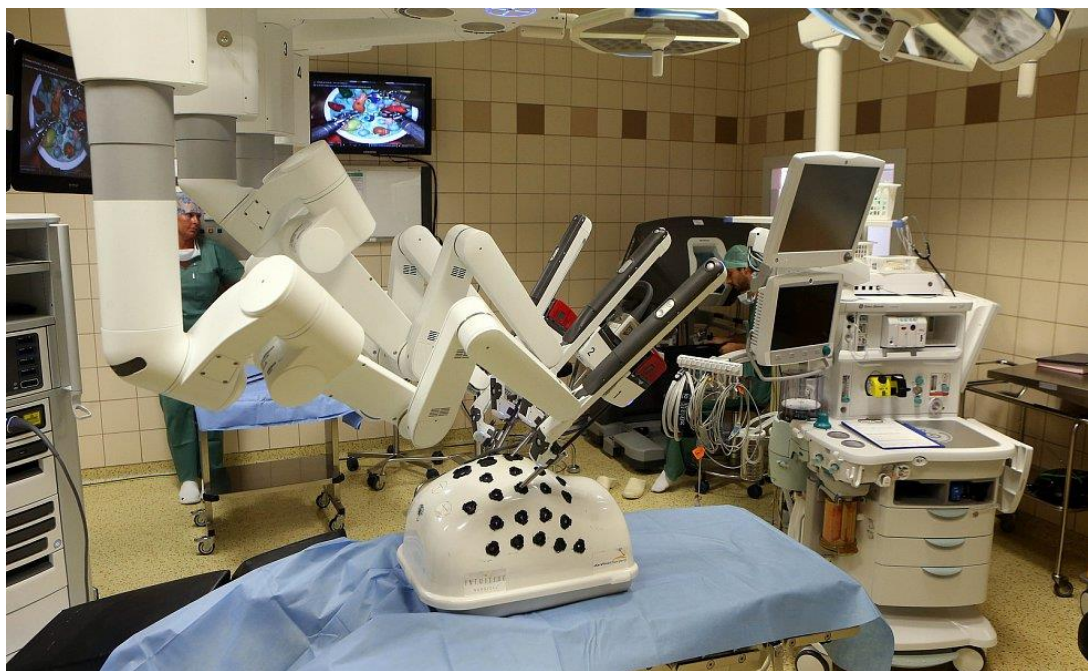
V této třídě lze roboty a robotické systémy klasifikovat jako roboty s pohony – pneumatickými, hydraulickými a elektrickými [15]. V prostorech, kde je požadovaná vysoká nosnost,

se využívají roboti a robotické systémy s hydraulickým pohonem. Roboti a robotické systémy s pneumatickým pohonem se používají tam, kde je potřeba vysoké rychlosti – např. v automobilovém průmyslu, kde robot na výrobní lince montuje díly ke karoserii vozidla. V současné době je značná poptávka po robotech s elektrickým pohonem [15].

2.4 Podle druhu činnosti a prostředí

V této skupině spíše hovoříme o servisních a průmyslových robotech a robotických systémech. Často jsou tato strojní zařízení spojena s výrobou různých produktů. Dále jsou užívána během obslužných činností: humánní činnosti – zdravotnictví, domácí práce (Obr. 1.), služby – údržba, ostraha objektů, stavebnictví atd. Mobilita je charakteristická pro servisní roboty a robotické systémy [15].

Ve zdravotnictví se využívají roboti během laparoskopických zákroků. Do pacientova těla jsou zasunuty několika otvory nástroje, kamera a zdroj světla. Robot nahradí asistenta, který držel kameru. Výhoda spočívá v tom, že obraz je stabilní a odstraní se třes rukou pracovníka. Robot může být ovládán hlasem a chirurg ho navádí, kam má kameru natočit [15].

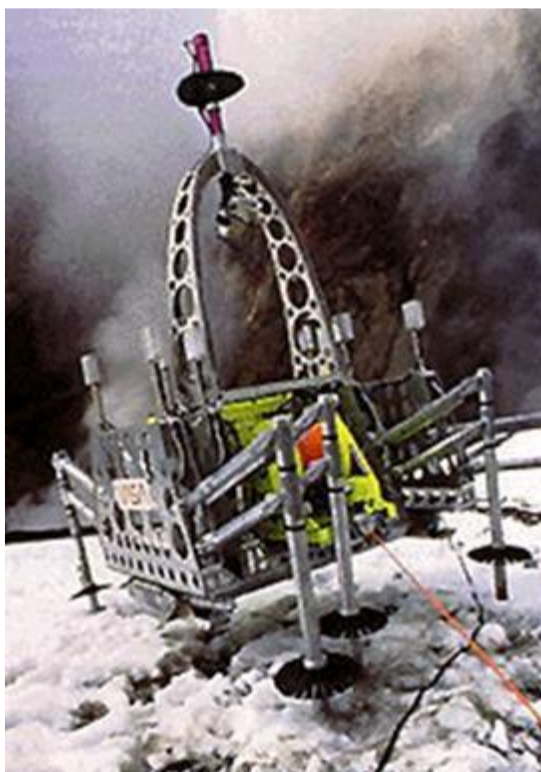


Obr. 1. Robot ve zdravotnictví [16]

Dále je robot a robotický systém schopen pracovat pod hladinou moří a oceánů – tzv. inspekční robot, případně může být nasazen do oblasti zamořené radiací či dalších oblastí nebezpečných pro člověka. Vesměs se jedná o autonomní roboty, kteří se rozhodují o svém pohybu v neznámém terénu. Speciální požadavky jsou kladeny převážně na konstrukci.

Roboti v tomto případě musí umět překonat překážky, mapovat neznámou část (prostor nebo terén) a musí umět přenést obraz z videokamery v reálném čase k operátorovi [15]. Řídicí systém a zdroj energie musí mít plně autonomní robot s sebou.

V jaderných elektrárnách bývají rovněž nasazeni inspekční roboti, kteří kontrolují palivové články uvnitř reaktoru. Tyto články bývají nejčastěji ponořeny ve vodě, a proto se těmto robotům říká autonomní ponorka s digitální kamerou [15]. V oblasti geologie (Obr. 2.) se tyto roboti používají také k průzkumu sopek a jejich kráterů. Člověk v průběhu erupce není schopen do kráteru vstoupit kvůli přítomnosti jedovatého sopečného plynu a velmi vysoké teplotě. Na tyto roboty jsou kladeny velké nároky – musí mít schopnost překonat velmi členitý a nepravidelný terén na skále. Konstrukce robota vyžaduje odolnost vůči vysokým teplotám a veškerá jeho elektronika musí být chráněna před nepříznivými účinky sopečného popela [15].



Obr. 2. Robot během geologického průzkumu [15]

V armádě se roboti používají k hledání min a k průzkumu nepřátelského území. Nejčastěji se používají bezpilotní letouny – ovládají se dálkově. „Predator“ je bezpilotní letoun využívaný americkou armádou, který je schopen létat ve výšce 7 000 km a slouží jako radarová rušička [15].

V oblasti komerční bezpečnosti – např. monitorování a ostraha objektu – jsou nasazeni roboti, kteří mají kolový podvozek, jsou vybaveni kamerovým systémem a monitorují určitou oblast. Výhoda těchto robotů spočívá v tom, že jsou schopni opticky pokrýt daleko větší oblast a nemají žádný mrtvý bod [15]. Pomocí radiomodemu se signál z kamery přenese na dohledové a poplachové přijímací centrum (DPPC). Operátor na DPPC je schopen detekovat osobu a přepnout robota z autonomního modu na manuální ovládání a tak udržet zaznamenaní oblasti na monitoru do příjezdu zásahové jednotky. Např. firma Cybermotion vyrobila robota Cyberguarda, který je vybaven kamerou, senzory (tepelná čidla, čidla pro měření vlhkosti, koncentraci plynů a detektory požáru apod.) a kolovým podvozkem [15]. Nasazení tohoto robota do průmyslových objektů a skladů značně ušetří peníze a čas firmám, neboť tento robot je schopen urazit až 20 km a jeho provoz stojí méně než hodinová sazba ostrahy. Úspora je zde tedy patrná.

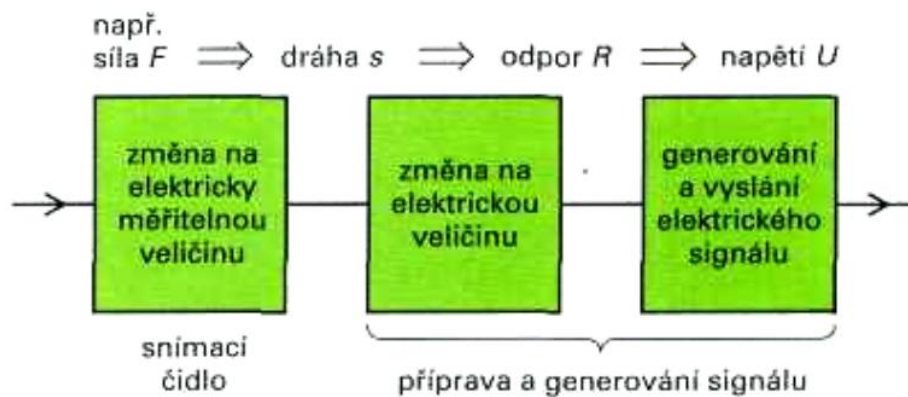
2.5 Ostatní druhy třídění

V dalších členěních může být vzata v úvahu geometrie pracovního prostoru robota (kartézská, cylindrická, sférická, angulární). Závěrem této kapitoly lze říct, že existuje rozdělení i podle kompaktnosti konstrukce a funkční autonomnosti jednotek určených k pohybu (univerzální a modulární). Robot a robotický systém může být nasazen pro několik typů úloh – tím je chápána jejich univerzalita [15]. Tyto stroje jsou však náročné na výrobu a drahé. Modularita je specifikována jako řešení, kde každá polohovací jednotka je samostatná a pomocí polohovacích jednotek lze sestavit část, která je určená ke konkrétnímu typu úlohy [15]. Tyto stroje jsou vyráběny ve větším počtu a za nižší náklady.

3 SENZORICKÉ SYSTÉMY

Robot pro svou lokalizaci v prostředí, navigaci a plánování používá senzory. Senzory informují řídicí systém robota o jeho stavu a vlastnostech prostředí. Na základě těchto informací dochází k jeho řízení a ke změnám v chování.

Senzory snímají a převádějí různé fyzikální veličiny, nejčastěji na elektrický proud (I) nebo elektrické napětí (U) (Obr. 3.). Bývají dále vybaveny elektrickými převodníky. Přenos signálu ze senzoru do řídicí jednotky je realizován pomocí kabeláže nebo bezdrátově.



Obr. 3. Struktura senzoru [46]

3.1 Dělení senzorů

Senzory můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin:

- aktivní senzory
- pasivní senzory.

Aktivní senzory potřebují ke svému měření vyslat energii a zajistit její návrat (např. radar, sonar, lidar, IR senzor při použití IR osvětlení) [46][47].

Pasivní senzory se opírají o fyzikální vlastnosti daného prostředí (např. kamery, akcelerometry, teploměry apod.) [47].

3.1.1 Příklady aktivních senzorů

Radar využívá elektromagnetické záření (rádiové vlny), laserový paprsek je využíván u *lidaru*. *Sonar* používá zvukové vlny různých frekvencí v závislosti na prostředí [48]. U těchto senzorů dochází k měření času mezi vysláním, odrazem a zachycením odrazu, změny frekvence vlivem Dopplerova jevu nebo měření interference. Dle této hodnoty logika dále vypočte vzájemnou polohu objektů okolo přijímače. Velká výhoda lidaru oproti sonaru je

rychlost signálu. Vlny elektromagnetického spektra jsou rychlejší než zvuk. Zařízení s lidarem je schopno přijmout data z obrovského počtu impulsů každou sekundu. To znamená, že dochází k častějším aktualizacím informací a získaná data jsou přesnější [48].

Lidar nachází uplatnění v detektorech překážek, radar je vhodný k detekci objektů na delší vzdálenosti a sonar je užitečný v opticky příliš hustých prostředích. Sonar má také nespornou výhodu v nižší pořizovací ceně oproti lidarů a radaru.

IR senzor indikuje celou řadu kovových a nekovových materiálů včetně skla, keramiky, papíru a kapalin [47]. IR senzor lze použít i při absenci přirozeného osvětlení.

3.1.2 Příklady pasivních senzorů

Kamerový senzor je schopen převést optický obraz na elektrický signál. CCD a CMOS jsou snímací senzory, které se uplatňují v systémech strojového vidění [49]. CCD technologie je velmi nákladná. CMOS technologie poskytuje digitální signál a konstrukce kamery je jednodušší [49]. Kvalitnější obraz je dnes schopen poskytnout CCD snímač.

Akcelerometr je přístroj, jenž je schopen měřit vibrace a zrychlení během pohybu tělesa. Síla způsobující vibrace nebo změnu pohybu (akceleraci) působí na hmotu snímače, která pak stlačuje piezoelektrický prvek generující elektrický náboj úměrný stlačení [47]. Hmotu snímače je konstantní, elektrický náboj je úměrný síle a zrychlení [47].

Odporové kovové *teploměry* využívají závislost elektrického odporu vodiče na teplotě [47]. Jejich výhodou je široký teplotní rozsah, vysoká přesnost a dlouhá životnost. Nevýhodou je citlivost na vibrace. Termoelektrické teploměry mají malou hmotnost a dobrou ohebnost, jejich nevýhodou je ovlivňování přesnosti změnami přechodových odporů.

Potenciometry se v průmyslu využívají k měření úhlu ramen robotů a robotických systémů. Pokud dojde k jejich otáčení, dojde ke změně přechodového odporu [46][47]. Výhodou je rychlost a velikost. Nevýhodou je nízká životnost v důsledku mechanické povahy senzoru.

3.2 Další způsoby členění senzorů

Senzory lze dále rozdělit podle druhu snímané veličiny [47]. V průmyslu se nejčastěji setkáváme s těmito veličinami:

- tlak
- síla
- zrychlení

- poloha
- teplota
- otáčky
- elektrické napětí
- proud
- odpor aj.

Podle fyzického propojení s měřeným objektem senzory dělíme na:

- kontaktní – s měřeným objektem jsou přímo v kontaktu (např. termočlánek)
- bezkontaktní – s měřeným objektem kontakt není (např. pyrometr) [47].

Podle výstupního signálu, lze senzory rozdělit na:

- analogové
- digitální [47].

Podle vstupní veličiny se senzory dělí na:

- geometrické
- elektronické
- magnetické
- chemické aj.

Mezi nejčastěji kladené požadavky na senzory patří cena, velikost a hmotnost, životnost, stav a vliv okolního prostředí na správné fungování senzoru, spolehlivost, bezpečnost a přesnost.

Senzory jsou nezbytné během řízení technologických a výrobních operací [46]. Častou součástí robotů a robotických systémů v průmyslové praxi je zpětná vazba. Zpětná vazba v případě výskytu výchyly od ustáleného stavu (žádané hodnoty) působí proti této výchyli a potlačuje ji.

4 KOLABORATIVNÍ ROBOTI

Jedná se o roboty a robotické systémy, které jsou schopny spolupracovat s lidmi. Kolaborativní roboti se používají v různých odvětvích, kde jsou kladeny vysoké požadavky na preciznost a bezpečnost. V průmyslovém odvětví se s nimi setkáváme např. během svařování, lepení, šroubování, umístění předmětu na požadované místo nebo na přesné odměření materiálu [17], dále v obalovém a distribučním průmyslu, během obrábění kovů nebo v automobilovém průmyslu. Výhoda těchto strojů spočívá v tom, že jsou schopny pracovat nepřetržitě a opakují jednotvárné úkoly. Dosahují vysokých rychlostí pohybu, mají velké zdvihací případně přitlačovací síly ve všech svých osách [17]. Nevýhoda spočívá ve vysoké pořizovací ceně.

4.1 Historie kolaborativních robotů

První zmínky o kolaborativních robotech jsou z roku 1996, kdy profesori J. E. Colgate a M. Peshkin ze Severozápadní univerzity v USA vynalezli tzv. *cobota* [18]. Tento vynález vyplynul z iniciativy General Motors z let 1994 a 1995. První coboti neměli vnitřní zdroj hybné síly. Místo toho byla hybná síla poskytována člověkem. V souvislosti s výrobou automobilů se používal i termín *Intelligent Assist Device* (IAD) [18].

V roce 1997 společnost Colgate a Peshkin vyrobila několik modelů cobotů typu IFR Responsive Collaboration. Tato společnost byla v roce 2003 přejmenována na Stanley Assembly Technologies [19].

V roce 2004 společnost KUKA vyrobila cobota s označením LBR 3. Jednalo se o v té době velmi lehkého kolaborativního robota. Tato firma v roce 2008 vyrobila dalšího cobota KUKA LBR 4 a v roce 2013 KUKA LBR iiwa. Další coboti jsou např. UR5 z roku 2008, UR10 z roku 2015 a UR3 z roku 2015 od firmy Universal Robots [18].

Kolaborativní roboti Sawyer a Baxter byli vyrobeni v roce 2012 firmou Rethink Robotics a vyznačovali se menší hmotností a vyšší rychlostí oproti předchozím generacím kolaborativních robotů. Zároveň byla oceňována i jejich vysoká přesnost provedení úkolů [18].

V roce 2015 představila japonská firma FANUC kolaborativního robota s označením FANUC CR-35iA se zatížením 35 kg (Obr. 4.). V dalších letech tato společnost vyrobila řadu menších kolaborativních robotů včetně verze s dlouhým ramenem FANUC CR-4iA, CR-7iA apod. [20]. V roce 2015 společnost ABB vyrobila prvního kolaborativního robota s dvojitým ramenem tzv. YuMi.



Obr. 4. FANUC CR35-iA [20]

Kolem kolaborativních robotů se nevyskytují žádné překážky, a proto mohou vedle výrobní linky pracovat s člověkem. Roboti mají dobré ergonomické parametry. Lidé mohou používat své kognitivní funkce k úkonům robota [17][18]. Kolaborativní robot musí mít mezinárodní certifikát bezpečnosti. Během spolupráce mezi robotem a člověkem je brán zřetel na zvýšenou bezpečnost. To je také důvod, proč kolaborativní roboti mají v sobě zabudováno obložení z pryže a senzorické systémy, pomocí kterých jsou schopni se vypnout v případě nebezpečí (např. pokud dojde ke zranění člověka na pracovišti, nebo pokud dojde ke zkratu) [17][18]. Kolaborativní roboti jsou vybaveni dále také funkcí vidění včetně 3D strojového vidění. Jsou tak schopni podávat pracovníkovi výrobní součástky přímo do ruky.

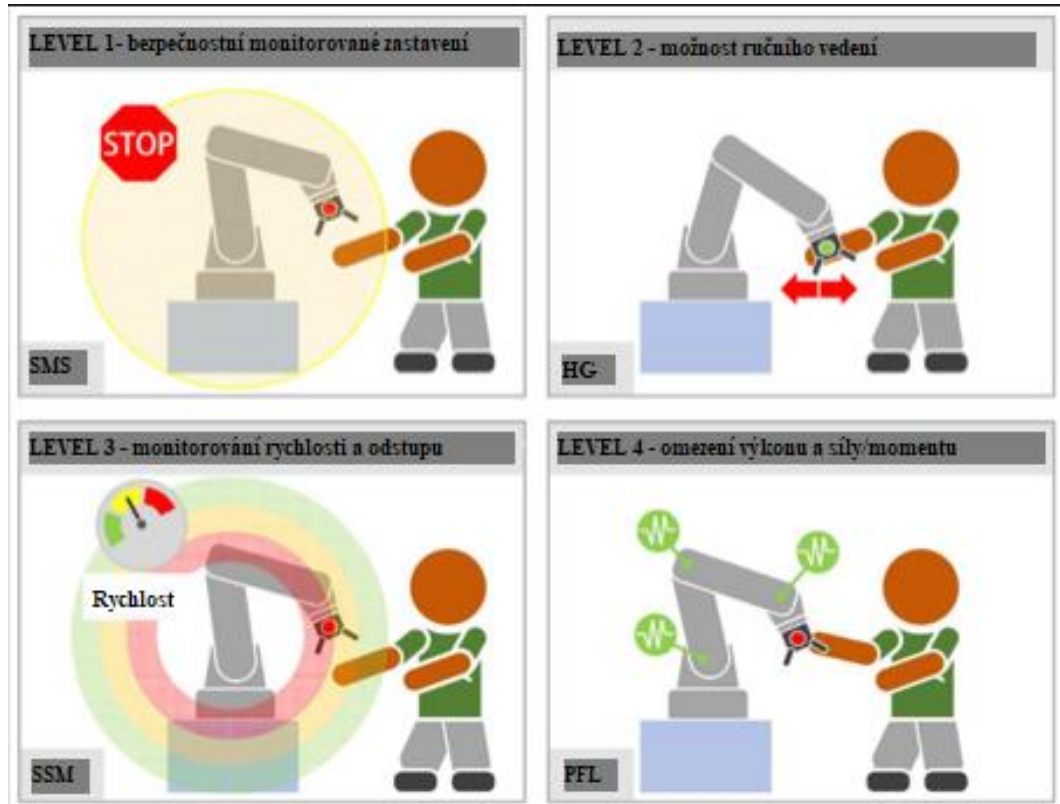
4.2 Technická specifikace ISO/TS 15066

Technická specifikace ISO/TS 15066 vznikla v roce 2016 jako dodatek k normám ISO 10218-1 a 10218-2, které popisují možnosti a rizika spolupráce mezi člověkem a robotem. Norma říká, že při kontaktu člověka s robotem nesmí dojít k bolesti či zranění. Před touto technickou specifikací měli výrobci, dodavatelé a integrátoři robotů a robotických systémů pouze všeobecné informace o požadavcích na systémy spolupráce. ISO/TS 15066 specifikuje bezpečnostní pokyny, které vznikly na základě konkrétních údajů a jsou tak důležité

pro hodnocení a kontrolu rizik [21]. ISO/TS 15066 poskytuje pokyny pro návrh a realizaci pracovního prostoru, který pro člověka snižuje možná rizika. Může to být i v případě, kdy se robot či robotický systém nepohybuje a člověk může do něho narazit [21]. Roboti a robotické systémy nemají ostré hrany a výčnělky, jsou konstruovány tak, aby náraz či pád na robota nebo robotický systém neměl horší následky než běžné pády na zem nebo naražení do zdi. Tab. 1. a Obr. 5. popisují ISO/TS 15066 specifikaci z pohledu výroby a použití kolaborativních robotů.

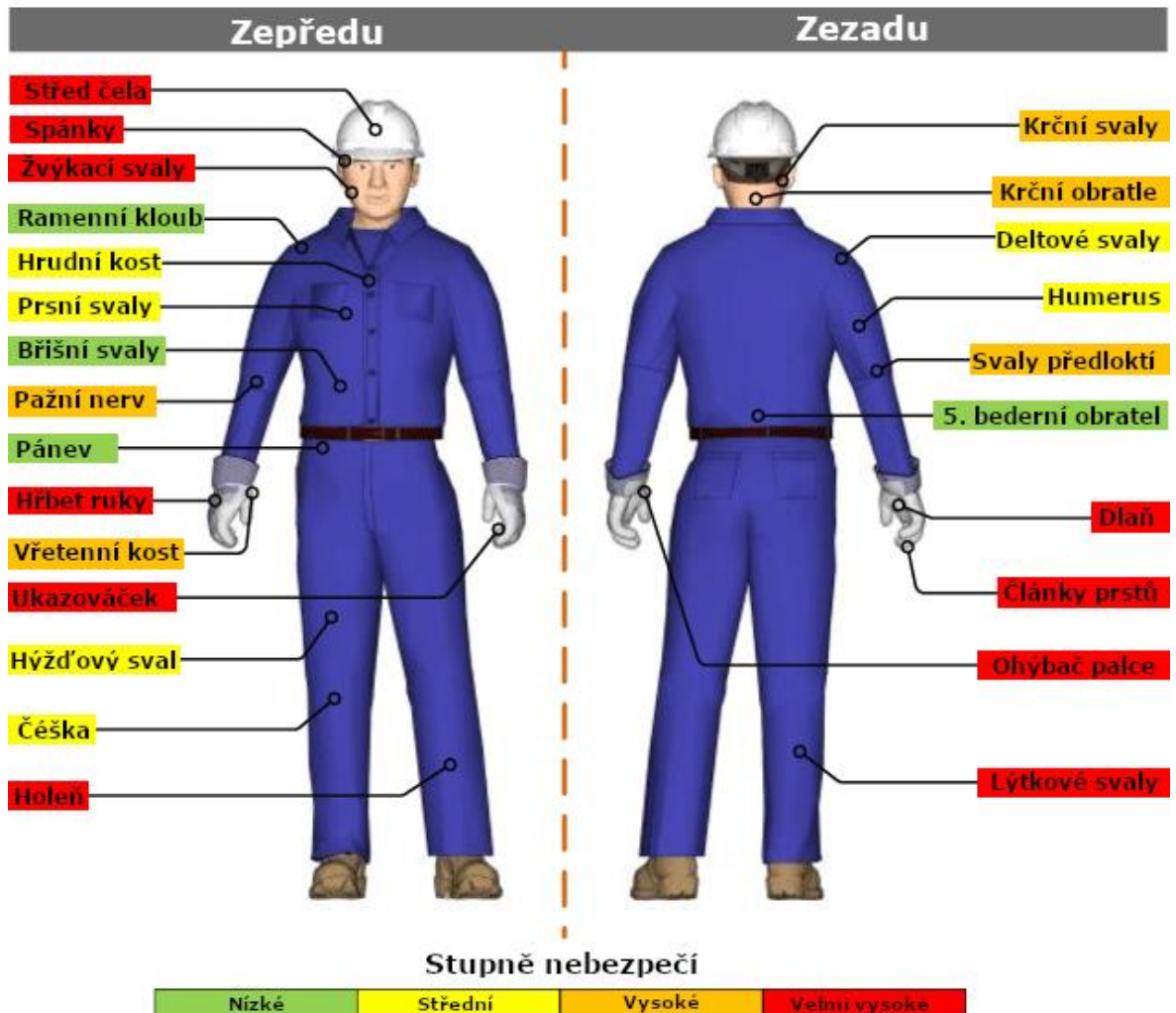
Tab. 1. Specifikace ISO/TS 15066 [21]

Důležité vlastnosti bezpečnostních řídicích systémů.
Faktory, které je třeba brát v úvahu při návrhu spolupracujících robotických systémů.
Vestavěné bezpečnostní systémy a jejich efektivní využití.
Pokyny pro implementaci následujících technik spolupráce: <ul style="list-style-type: none"> • bezpečnostní monitorované zastavení (LEVEL 1 – SMS) • možnost ručního vedení (LEVEL 2 – HG) • monitorování rychlosti a odstupu (LEVEL 3 – SSM) • omezení výkonu a síly/momentu (LEVEL 4 – PFL)



Obr. 5. Techniky spolupráce (upraveno) [21]

ISO/TS 15066 také popisuje studii o prahu bolesti na různých částech lidského těla, která se používá pro vhodné navržení a provedení robotických aplikací nebo během analýzy rizik z pohledu bezpečnosti během fyzického kontaktu (Obr. 6.).



Obr. 6. Jednotlivé úrovně nebezpečí poranění způsobené robotem pro jednotlivé části lidského těla (upraveno) [21]

Dále se nabízí způsob monitorování rychlosti a odstupu. Dochází k udržování minimální bezpečnostní vzdálenosti mezi robotem a člověkem [21]. Během práce robot nebo robotický systém nemusí podávat člověku předmět do ruky, ale může se určit místo, kam robot nebo robotický systém odloží předmět a člověk ho odtud převezme. Robot a robotický systém v takovém případě detekuje místo pohybu člověka a v případě blízkého kontaktu se posune na jinou stranu, než kam směřuje lidská ruka. Podrobné pokyny pro maximální povolenou rychlost a minimální odstup jsou blíže charakterizovány v této technické specifikaci [21].

5 ROBOTI A ROBOTICKÉ SYSTÉMY V PRŮMYSLU

V průmyslu se setkáváme s širokou paletou robotů a robotických systémů. Jak již bylo zmíněno dříve, poskytují nám přesnost a vysokou produktivitu. Podle způsobu použití a konstrukce dělíme průmyslové roboty a robotické systémy do několika skupin [22][23].

Třídění podle konstrukce:

- *Karteziánští roboti a robotické systémy* – mají tři lineární osy řízení a jsou uplatňovány během těžkých operací – např. k přenášení dílů karoserií automobilů, tvoření detailních povrchových vzorů aj. V souvislosti s karteziánskými roboty a robotickými systémy se využívají i portáloví roboti a robotické systémy, které jsou upevněny na lineární kolejnici a poskytují tak větší přístup k pracovní oblasti. Jsou využívány během uchopování nebo umístování předmětů a montáží [22].
- *Roboti a robotické systémy typu SCARA* (Obr. 7.) – jedná se o několikoramenné roboty a robotické systémy, jež jsou využívány během montáže. Přesná robotická ruka si poradí s vysokorychlostním kováním, balením, manipulací s drobnými věcmi a nástroji. SCARA roboti a robotické systémy bývají rychlejší než karteziánští roboti a robotické systémy a mají menší půdorys. Jsou výkonnější a mají pokročilejší řízení trajektorie, stejně tak přesnost je lepší než u karteziánských robotů [22].
- *Klouboví roboti a robotické systémy* – pokud mají rotační spoj, mají otočný trup, rameno, biceps, předloktí a zápěstí. Pomocí kroužku je rameno propojeno se základnou, spojky v rameni jsou navzájem spojeny pomocí rotačních spár. Tito roboti a robotické systémy mívají 4 nebo 6 os, jsou schopni např. balit materiál a poté ho dávat na palety [23].
- *Dvouramenní a šestiosí roboti a robotické systémy* – roboti, kteří mají dvě ramena, umí pracovat velmi rychle a jsou uplatňováni převážně v elektrotechnickém průmyslu. Šestiosí roboti a robotické systémy mívají rychlý a přesný pojezd. Mají nízkou hmotnost a spotřebu energie [22].
- *DELTA roboti a robotické systémy* – jedná se o roboty a robotické systémy s přesným a jemným pohybem (Obr. 8.). Nejčastěji se uplatňují během nakládání a podávání materiálů a součástek, dále během balení, vkládání materiálu do krabic a komplementace sad ve všech odvětvích [22].



Obr. 7. SCARA robot [45]



Obr. 8. Robot typu DELTA [24]

Třídění podle použití:

- *Svařovací roboti a robotické systémy* – jsou schopni během krátké doby svářet, řezat, pájet. Pro svou práci potřebují jen velmi malou plochu a jsou bezpeční. Díky nim je možno dosáhnout vysoké efektivity výroby a snížení výrobních nákladů [22].
- *Lakovací roboti a robotické systémy* – jsou používáni hlavně v automobilovém průmyslu a stavebnictví. Jsou schopni za velmi krátkou dobu nalakovat automobily, nábytek, okenní rámy. Díky nim dochází k úspoře barev a kvalita nátěru je vysoká [22].
- *Paletizační roboti a robotické systémy* – většinou se používají během manipulace s křehkým materiálem – např. sklem, obklady nebo sádrokartonem. Jejich výhodou je schopnost zvednout i několik palet najednou [23].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 NEBEZPEČÍ PŘI PRÁCI S ROBOTY A ROBOTICKÝMI SYSTÉMY

V této praktické části je popsáno, jaká nebezpečí mohou nastat během práce s roboty a robotickými systémy. Povinností každého výrobce je během vývoje nového robota a robotického systému identifikovat všechna nebezpečí, která tato zařízení mohou vytvářet. Konstrukteři a obsluha strojů pro snazší práci mohou nalézt ve směrnících a normách příklady nebezpečí, která se vztahují k příslušnému stroji. Nebezpečí mohou stroje vytvářet na základě jejich konstrukce, životního cyklu a vzhledem k okolí a prostředí, ve kterém pracují [25].

6.1 Mechanická nebezpečí

Mechanická nebezpečí související s roboty a robotickými systémy, jejich částmi nebo povrchy, koncovými efekty, manipulovanými nebo zpracovanými materiály mohou spočívat v zatížení, vymrštění pevných materiálů nebo vystříknutí kapalin. Toto může způsobit škody na zdraví a nebezpečné následky:

- stlačení
- stříh
- pořezání nebo uříznutí
- pohmoždění
- navinutí
- vtažení nebo zachycení
- náraz
- bodnutí nebo propíchnutí
- tření nebo odření
- účinek v důsledku zlomených částí
- vystříknutí nebo výron vysokotlaké kapaliny/plynu (Obr. 9.) [25] aj.

	Pořezání		Pohmoždění
	Ustříhnutí		Pobodání
	Vtažení nebo zachycení		Vtažení nebo zachycení
	Zachycení		Naražení
	Účinek v důsledku zlomených částí		Účinek v důsledku vymrštovaných třísek

Obr. 9. Příklady mechanického ohrožení [25]

6.2 Elektrická nebezpečí

Toto nebezpečí může vyvolat smrtelný úraz elektrickým proudem, šok, popálení nebo vystřelení roztavených částic. Zranění mohou být způsobena:

- dotykem osob a vodičů nebo vodivých částí, které jsou pod napětím
- dotykem osob s částmi, které se ocitly pod napětím následkem závady, například během poruchy izolace
- nevhodnou izolací s ohledem na podmínky používání
- tepelným zářením aj.

Elektrické nebezpečí může zavinit pád osob (nebo předmětů, které osoby upustí) následkem překvapení, jež vyvolá zásah elektrickým proudem [25].

6.3 Tepelná nebezpečí

Tepelná nebezpečí mohou vyvolat popáleniny – například kontaktem osoby s předmětem, který má vysokou teplotu. Úrazy mohou být způsobeny:

- horkými povrchy nebo předměty, které jsou spojené s koncovým efektořem nebo zpracovávaným materiálem – tím se myslí například svařovací hlavice, rozžhavené materiály u tvářecích a obráběcích strojů
- hořlavými materiály – např. čištění, údržba, těsnicí aplikátory
- extrémními teplotami specifických výrobních procesů (rozžhavený materiál u slévání, podchlazený materiál u chlazení a mražení) [26].

6.4 Nebezpečí vyvolaná hlukem

Hluk se šířív ve vzduchu, v pevné hmotě a v kapalině. Při práci s roboty a robotickými systémy může dojít na pracovišti, kde je hluk, ke ztrátě sluchu, hučení v uších, únavě a odvádění pozornosti, stresu a k poruše rovnováhy těla (ztráta vědomí). Příčinami hluku mohou být např. obrábění materiálu, řezání vodním paprskem, vibrace způsobené čerpadly. Vysoká úroveň hluku okolního prostředí omezuje komunikaci mezi obsluhou stroje a vedoucím směny a může také potlačit vnímání varovných signálů [26].

6.5 Ostatní nebezpečí

Mezi další nebezpečí patří například *intenzivní vibrace*, které mohou způsobit poškození zad a páteře. Dále mohou vibrace způsobit poškození, která se přenášejí na celé tělo, zvláště pak na ruce a paže. Příčinami vzniku poškození může být kontakt se zdrojem vibrací, případně nesprávná nebo nevhodná montáž součástek [26].

Dalším nebezpečím může být *ozáření*, které má okamžité účinky (například popálení, poškození očí a kůže) nebo dlouhodobé účinky (např. genetická mutace). Nebezpečí vznikají zářením neionizujícím (laser, intenzivní zdroj světla) a ionizujícím zářením (α , β , γ , rentgenovým zářením).

Materiály a látky zpracovávané roboty a robotickými systémy mohou vyvolat nebezpečí, mezi která patří např. požár, výbuch, kontaminace potravy, kontakt s kůží, očima, sliznicí či inhalací (kapalin, plynů, kouře, prachu apod.) [26]. Osoby mohou mít alergické reakce či trpět onemocněními způsobenými požitím nebo vdechnutím nebezpečných látek. Příčinou nejčastěji bývá kontakt se součástmi umístěnými v nebezpečné kapalině, kontakt se součástmi potřísněnými nebezpečnou látkou, prach aj.

Dalšími příklady nebezpečí je *nevhodné přizpůsobení* strojního zařízení lidským vlastnostem a schopnostem, které se může projevit na fyziologii člověka – svalově kosterní

poškození, které je vyvoláno nevhodnou polohou těla, nadměrnou nebo opakovanou námahou [27]. Častou příčinou jsou například nevhodně umístěné ovládací panely (ruční panely jsou daleko nebo blízko).

Okolní prostředí rovněž působí na roboty a robotické systémy. Hrozí pád předmětů, uklouznutí obsluhy, dýchací problémy obsluhy, popálení a další zranění či onemocnění. Nejčastější příčinou jsou elektromagnetická rušení, rázy ve zdroji energie (hydraulický systém), teplota a vlhkost prostředí apod.

7 METODICKÝ PŘÍSTUP KE SNIŽOVÁNÍ RIZIK

Během podnikového plánování je potřeba **identifikovat nebezpečí** a **analyzovat rizika**. **Riziko** je definováno jako „pravděpodobnost, že hrozba zneužije zranitelnost a způsobí narušení důvěrnosti, integrity nebo dostupnost aktiv [51].“ Typická rizika v podniku mohou být:

- nedostatečné řízení
- nespokojení zákazníci
- výpadek výroby
- problémy s jakostí
- pracovní úrazy
- ztráta know-how aj.

Aktiva představují vše, čím podnik disponuje. Aktiva se obecně dělí na hmotná (např. budova, pozemek) a nehmotná (např. software, patenty, licence). **Hrozbou** se rozumí potenciál událostí poškozující aktivum. **Zranitelnost** je aspekt aktiva umožňující realizaci hrozby. Jedná se o slabou část aktiva z hlediska zabezpečení.

Součástí strategického managementu podniku je management rizik [28]. Management rizik se dělí na strategický a operativní.

Strategický management je způsob řízení, který je zaměřený na plánování s cílem dosáhnout úspěchu na trhu [28]. Mezi úkoly strategického managementu může patřit např.:

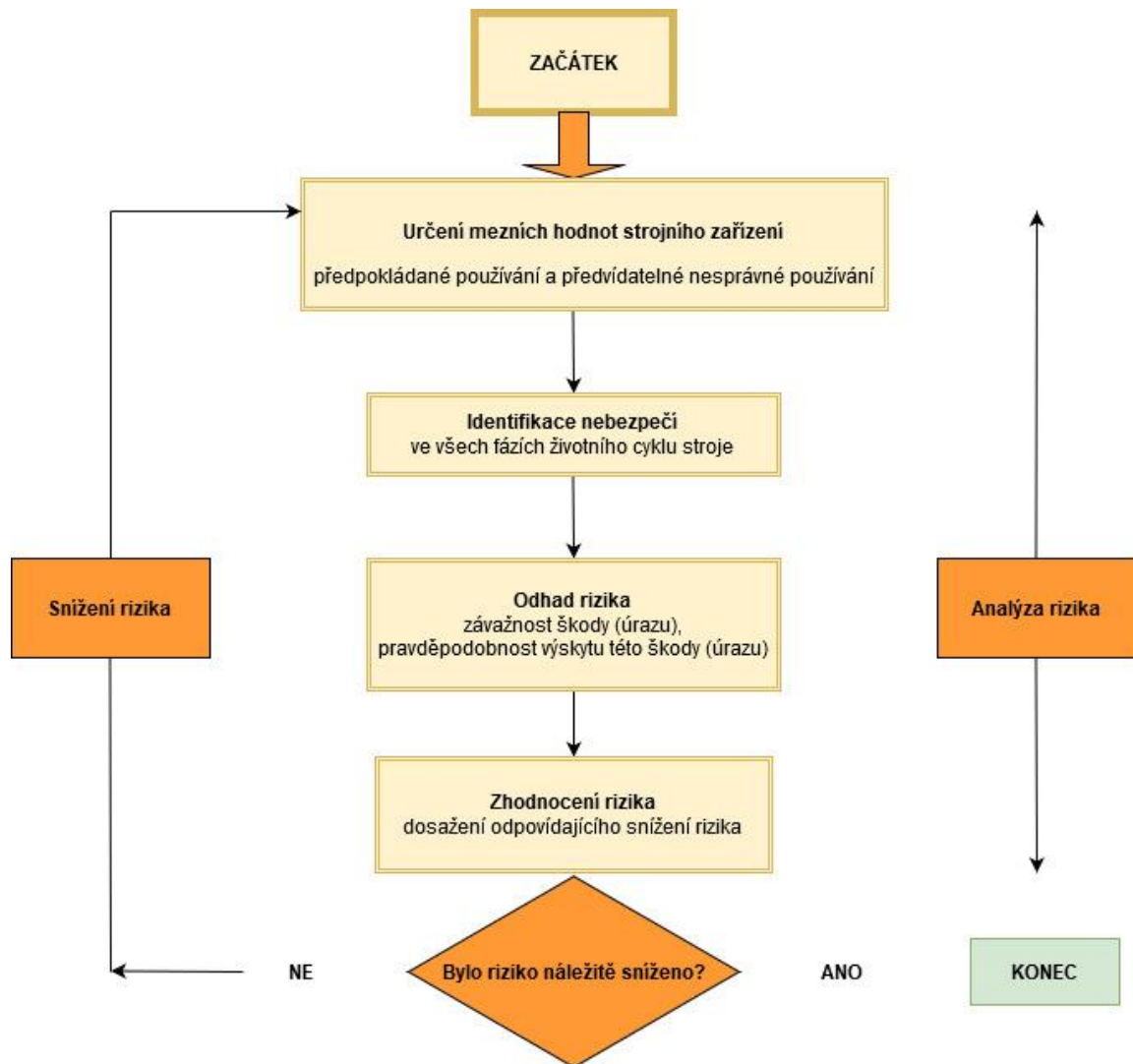
- stanovení přístupu podniku k rizikům
- řízení politiky vnímání rizik apod.

Operativní management je zaměřen na řízení procesů tvorby hmotných a nehmotných produktů [28]. Operativní management se vyznačuje např.:

- identifikací nebezpečí
- posouzením rizika
- plánováním rizika
- přenesením rizika
- selekcí rizika
- sledováním rizika, popřípadě jeho ošetřením apod.

Všechny činnosti spojené s vývojem strojního zařízení, zabezpečováním jeho jakosti, bezpečnosti, hygieny a ekologie jsou spojeny s riziky [29]. Rizika, která vyplývají z konstrukce

stroje, jeho řízení, údržby apod., je potřeba včas detekovat, ohodnotit a popř. navrhnout a zrealizovat nápravná opatření (Obr. 10.) [29].



Obr. 10. Proces posouzení rizika (upraveno) [41]

7.1 Analýza rizik v konstrukci

Směrnice 2006/42/ES, která byla zmíněna již v teoretické části, se zabývá základní terminologií a metodologií používanou k dosažení bezpečnosti strojních zařízení [30]. Během analýzy nebezpečí je potřeba vědět, že robot a robotický systém může způsobit škody na majetku, zranění nebo poškození zdraví zaměstnanců atd. Analýzu nebezpečí je potřeba provádět pro celý životní cyklus robota a robotického systému. Dále je třeba vzít v úvahu všechny možné stavy robota a robotického systému, chování obsluhy, které nelze předpokládat, a selhání strojního zařízení [31].

Norma ČSN EN ISO 12100 se zabývá strategií snižování rizika a všeobecnými zásadami postupu posouzení rizika ve všech fázích životnosti strojního zařízení [32]. Informace pro posouzení rizika a analýza rizik musí obsahovat:

- mezní hodnoty robotického systému
- požadavky pro jednotlivé fáze životnosti robota a robotického systému
- výkresovou dokumentaci nebo ostatní prostředky popisující charakter robota a robotického systému
- informace o dodávce energie
- jakékoliv známé úrazy a informace o poškození zdraví [33].

Pro stanovení prvků rizika bereme v potaz:

- ohrožené osoby
- druh, četnost a dobu trvání ohrožení
- vztah mezi ohrožením a účinky
- lidské faktory apod.

Součástí posuzování rizik není proces snižování rizika a volby vhodných bezpečnostních opatření. Odhad rizika se provádí na základě určení závažnosti škody a pravděpodobnosti jejího výskytu podle těchto kritérií:

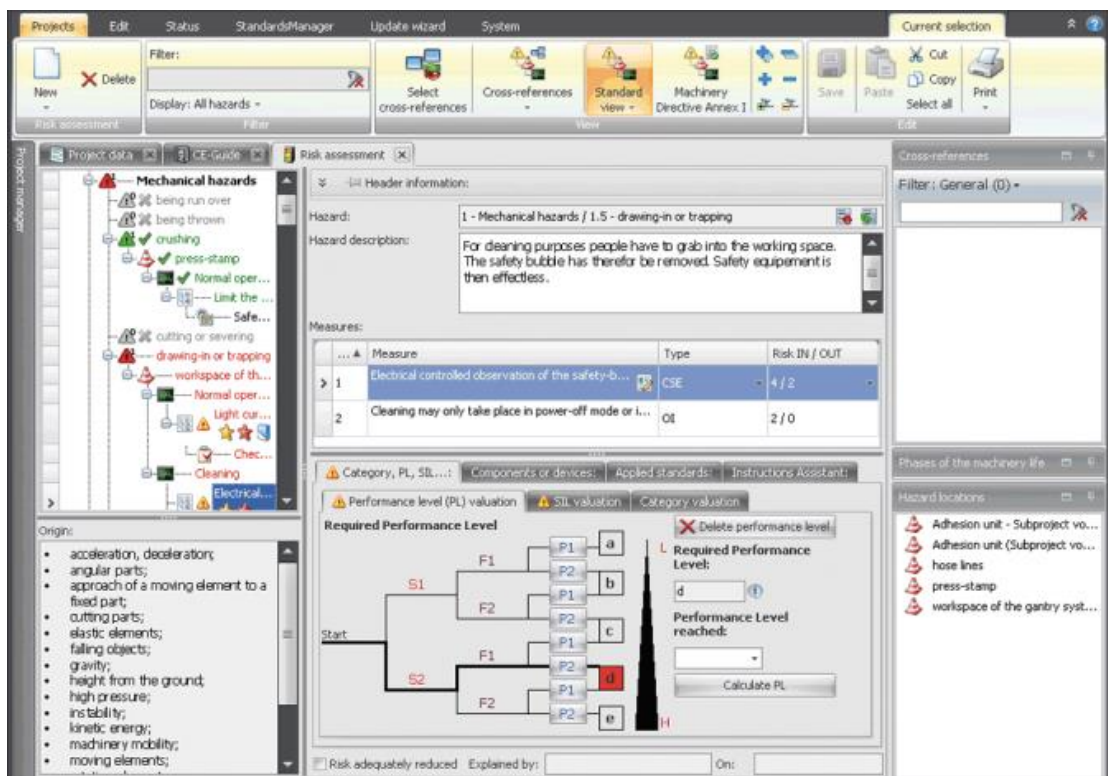
- závažnost škody (úrazu):
 - žádné nebezpečí
 - lehké poškození s přechodnými následky
 - těžké zranění s trvalými následky
 - smrt
- vystavení osob nebezpečí:
 - zřídka až častěji
 - často až trvale
- možnosti vyvarování se nebo omezení škody:
 - možné
 - možné za určitých okolností
 - sotva možné
- pravděpodobnost výskytu škody (úrazu):
 - malá či nepravděpodobná

- střední
- velká [33].

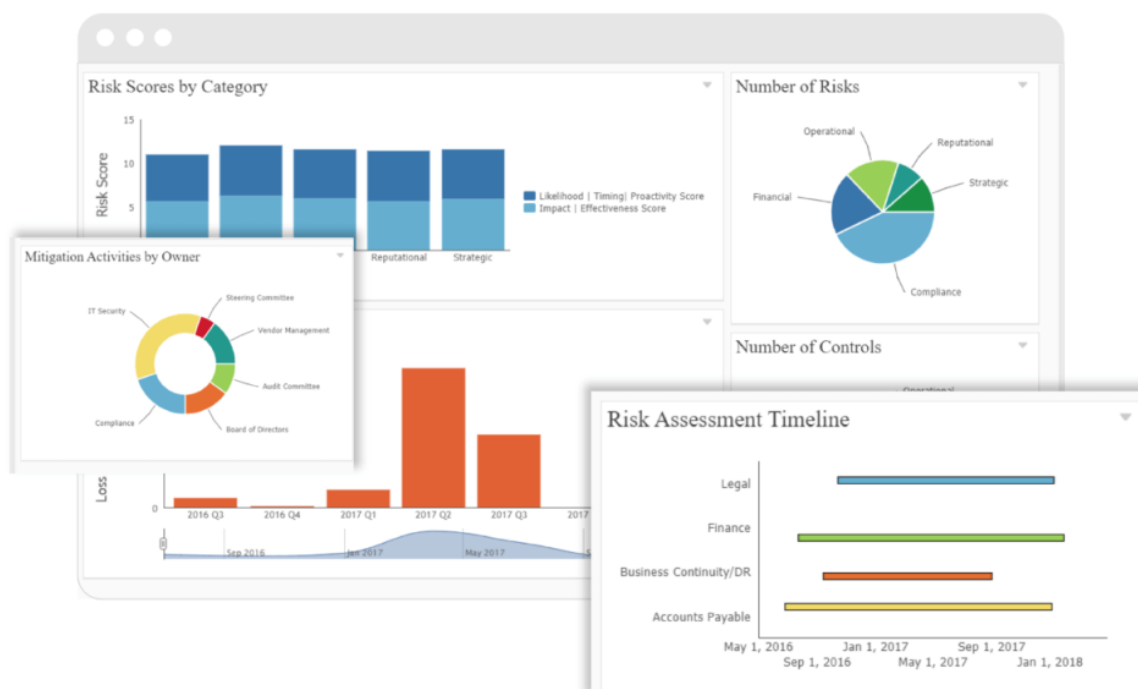
Pro odhad rizik existují různé softwarové nástroje. Například můžeme jmenovat: Safexpert® (Obr. 11.), LogicManager (Obr. 12.), @RISK a ARM. Nebezpečí, která jsou vyhodnocena v těchto programech, vedou k optimálnímu výběru bezpečnostních opatření.

Safexpert® program od firmy CE Marking & Risk Assessment je schopen vygenerovat graf nebo tabulku rizik a napomáhá při hledání relevantních norem. Výhoda spočívá v přehlednosti a jednoduchosti, nevýhoda ve vysoké pořizovací ceně. Je vhodný pro menší i větší podniky. Program dále nabízí přidání více uživatelů. **LogicManager** od firmy Glassdoor je určen pro velké korporace. Jeho výhoda spočívá v tom, že je schopen nabídnout různé platformy pro řízení rizik podle potřeb zákazníka. Nevýhoda spočívá ve vysoké pořizovací ceně [53].

@RISK software od společnosti Palisade poskytuje přesnější rozdělení pravděpodobnosti vzniku rizik, proto se uplatňuje ve větších podnicích. Nevýhoda spočívá v tom, že je program nepřehledný a drahý. **ARM** program od společnosti Sword je vhodný pro menší firmy a uplatňuje se hlavně v průmyslovém odvětví. Výhoda je nízká pořizovací cena, nevýhoda jsou nepřehledné grafy výstupů [53].



Obr. 11. Program Safexpert® (v anglickém jazyce) [42]



Obr. 12. Výstupní graf rizik v programu LogicManager [52]

7.2 Analýza funkční bezpečnosti

Na základě posouzení rizik je možno navrhnout bezpečnostní části ovládacích – řídicích systémů a tím zajistit funkční bezpečnost stroje. Funkční bezpečnost je definovaná jako „*ta část bezpečnosti, která závisí na bezporuchové funkci robotů a robotických systémů. Je závislá na správné činnosti jejich řídicích a ovládacích systémů* [33].“ Pro tento návrh lze použít normu ČSN EN ISO 13849-1.

Funkční bezpečnost je zahrnuta i v neharmonizovaných normách řady ČSN EN 61508 – Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností (norma má 7 částí) [33].

Dále tyto normy specifikují úrovně integrity bezpečnosti, popisují jejich bezpečnostní funkce a uvádějí metodické příklady jejich použití. Obecně tyto normy požadují u vyšších bezpečnostních kategorií využívání zálohování, automatické kontroly (automatické detekce závad k dosažení funkční bezpečnosti odpovídající danému riziku) [34].

Norma ČSN EN ISO 13849-2 uvádí přehled všeobecných závad řídicích systémů a specifikuje ověřovací proces včetně analýzy a zkoušení aj. [35]. Dále tato norma definuje základní

postupy a podmínky, které musí být dodrženy při ověřování pomocí analýzy a zkoušení možných bezpečnostních funkcí a dosažené kategorie bezpečnostních částí řídicího systému.

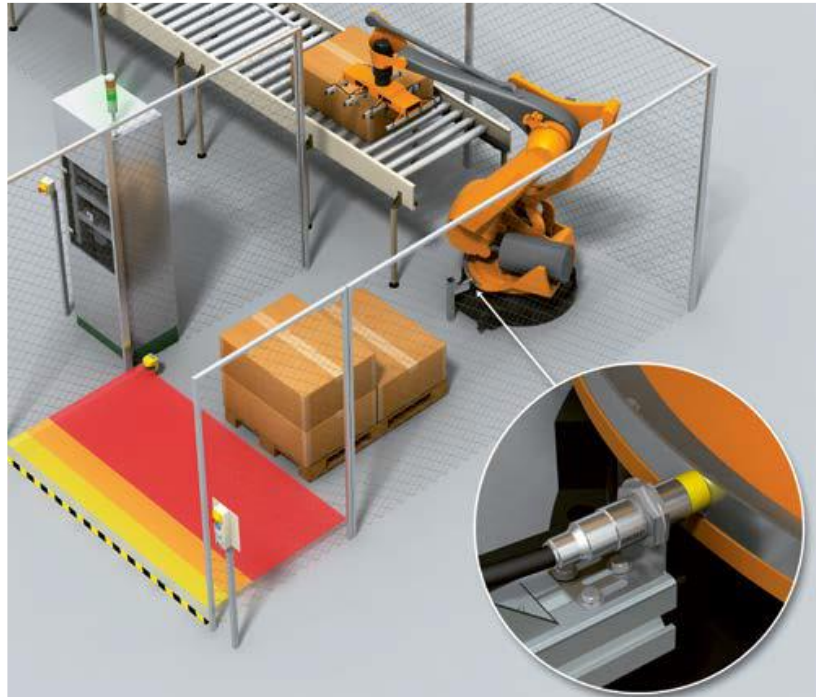
Příklady funkční bezpečnosti:

- použitím krytu můžeme zamezit vniknutí do nebezpečného místa (viz Obr. 13.)



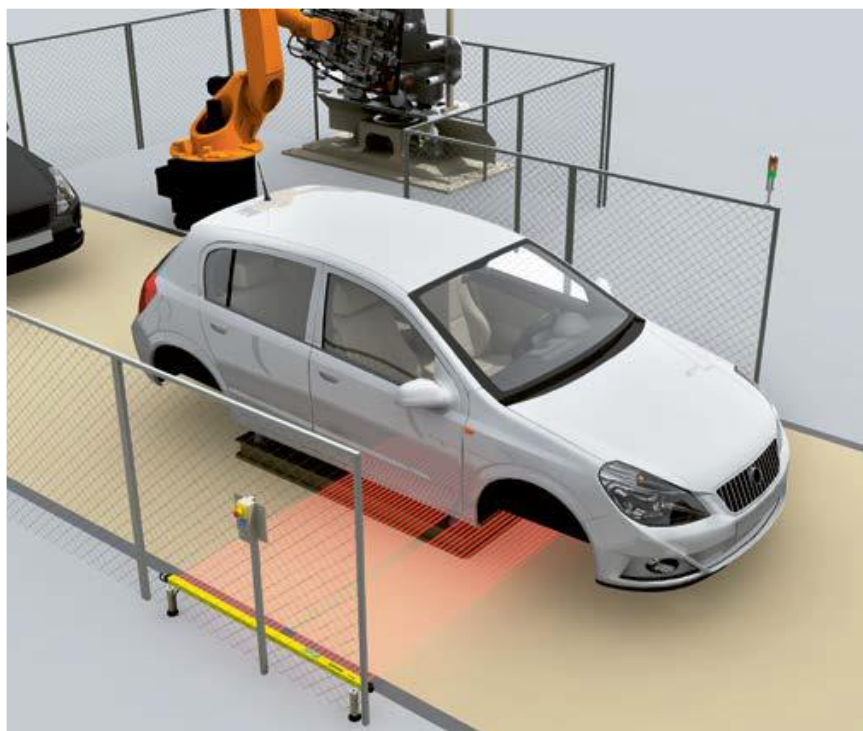
Obr. 13. Kryt [42]

- plot, který může zadržet rameno robota nebo robotického systému
- sledování parametrů stroje – např. rychlost, teplota a tlak (viz Obr. 14.)



Obr. 14. Sledování parametrů stroje [42]

- umožnění průchodu materiálu (pokud se objeví člověk, dojde k přerušení, protože je použit horizontální světelný závěs s algoritmem, který rozliší člověka a materiál) (viz Obr. 15.)



Obr. 15. Průchod materiálu na výrobní lince [42]

- zastavení v případě poruchy (nouzové zastavení) (Obr. 16.)



Obr. 16. Nouzové zastavení [42]

- indikační a výstražná zařízení (Obr. 17.) apod.



Obr. 17. Indikace blokování [42]

Bezpečnostní vzdálenost mezi obsluhou a strojem se vypočítá (dle normy typu B, zmíněno v podkapitole 1.2.2):

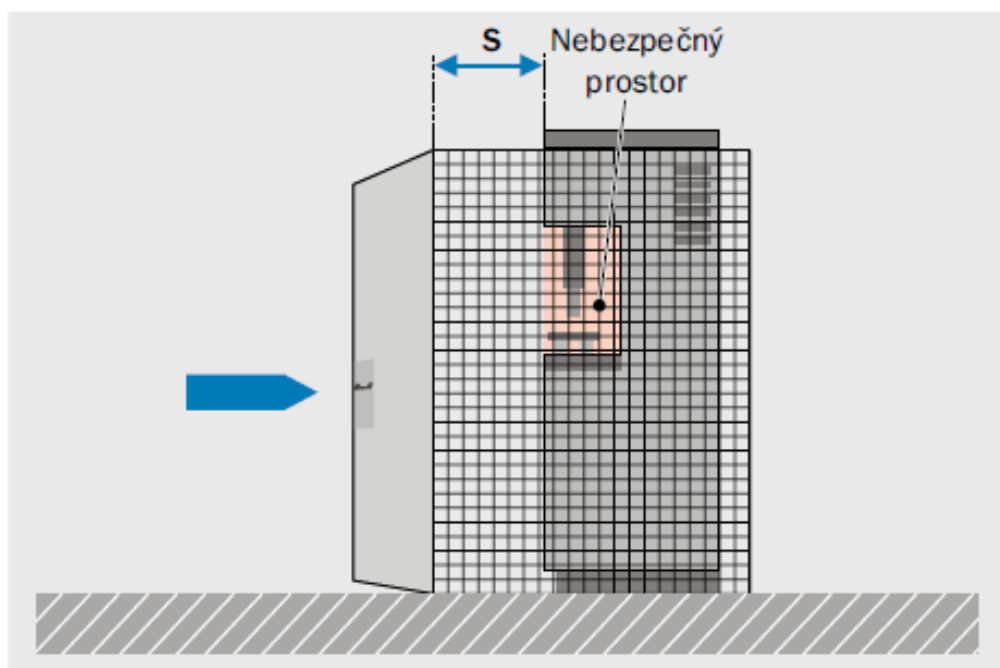
$$S = (K \times T) + C$$

S – bezpečná vzdálenost [mm] (Obr. 18.)

K – parametr [mm/s] (odvozeno z údajů o rychlosti přibližování těla nebo částí těla)

T – doba doběhu celého systému [s]

C – přídavná vzdálenost [mm] [43]



Obr. 18. Bezpečná vzdálenost s použitím ochranných krytů [42]

7.3 Snížení rizik

Funkční bezpečnost představuje pouze část snížení rizika. Je nutné realizovat konstrukční, organizační a technická opatření. Zbytková rizika jsou ta, která stále zůstávají i po zavedení bezpečnostních opatření.

Pokud odpovíme na následující otázky kladně, lze říct že jsme snížili rizika a dosáhli jsme požadovaných výsledků [42].

1. Byly zohledněny všechny podmínky v provozu ve všech fázích životnosti robota a robotického systému?

2. Byla ohrožení odstraněna, nebo rizika ohrožení snížena natolik, jak jen to bylo prakticky proveditelné?
3. Je zajištěno, že provedená opatření nevedou k novým ohrožením?
4. Jsou uživatelé dostatečně informováni a varováni, pokud jde o zbytková rizika?
5. Je zajištěno, že pracovní podmínky obsluhy nebyly omezeny v důsledku provedených ochranných opatření?
6. Jsou provedená ochranná opatření vzájemně slučitelná? [42].

8 SOUČASNÉ POZNATKY

V první kapitole bakalářské práce je uvedeno, že je potřeba zajistit bezpečnost na pracovišti včetně pracovního prostředí. V současné době jsou roboti a robotické systémy schopny vlastní autoregulace, a to především díky vyspělým sensorovým systémům.

Společnost Robotics Technology Leaders vyvinula ve spolupráci s Mitsubishi Electric robota se sensorovým systémem, který upravuje pohyb a dráhu svého ramene v reálném čase [36]. Z tohoto pohledu se robot vyznačuje univerzálností, flexibilitou, rychlostí a přesností a pro společnost představuje podporu při zabezpečování konkurenceschopnosti a snižování provozních a výrobních nákladů [36].

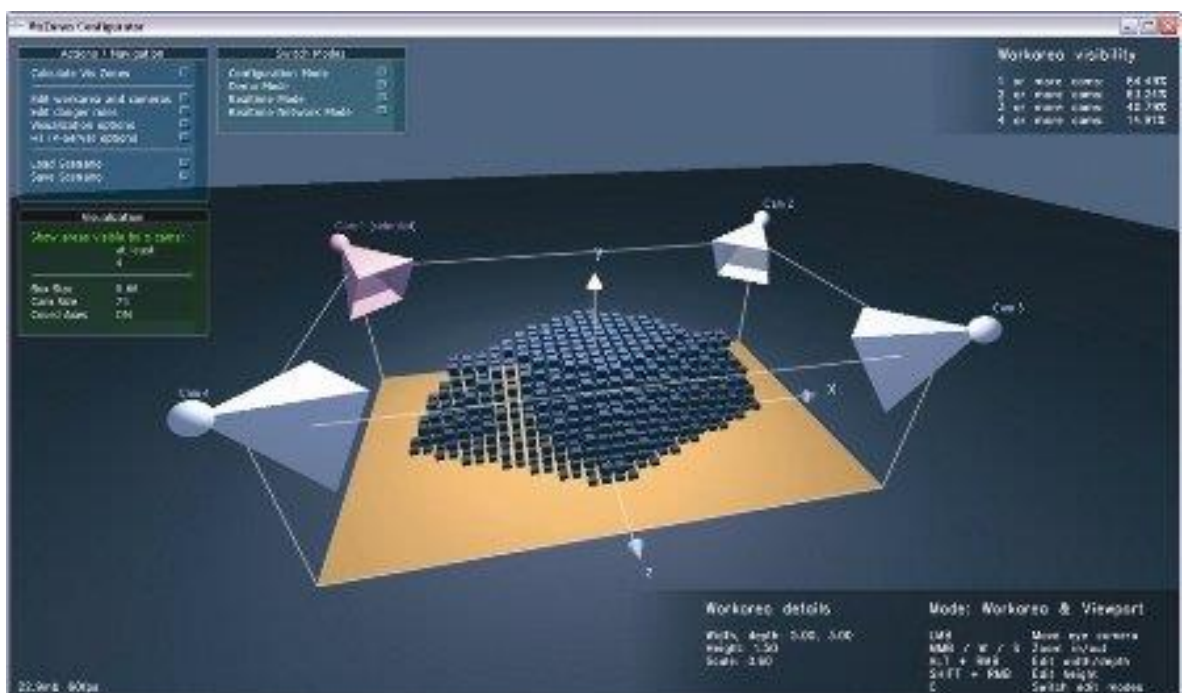
Výrobci robotů a robotických systémů propojují řídicí systém strojního zařízení se soustavou senzorů, které během překročení bezpečnostní meze vydávají podnět pro zpomalení nebo zastavení stroje [36][37]. To je důležité pro zajištění bezpečnosti obsluhy. Některá pracoviště (např. Stanfordská univerzita v Kalifornii) provádí povrchovou úpravu části systémů se sítí taktilních senzorů s citlivostí – vznikl tak pojem „umělá kůže“. Síť senzorů, které jsou dotykové a citlivé, bývá umístěna v měkkém vodivém pěnovém materiálu společně s elektronikou pro předávání a vyhodnocování informací robotu nebo robotickému systému [37]. Umělou kůží se dá potáhnout rameno robota (Obr. 19.) nebo robotického systému a může být vpravena i do podlahy, kde slouží jako síť nášlapných senzorů [37]. Síla dotyku je rozlišena citlivostí povrchu umělé kůže. Tato inovace byla použita u laboratorního asistenčního robota LISA (robot spolupracuje s laboranty a má na starost fyzické doplňování laboratorních vzorků do databáze) [37]. Rameno, manipulační část a stojan tohoto robota jsou potaženy umělou kůží. Robot navíc dostává i informace z termokamery, která sleduje prostor mezi ramenem a chapadlem. Laserová navigace je součástí tohoto robota.

Pracoviště může být vybaveno celoplošným bezpečnostním systémem pro sledování provozu [38]. Institut Fraunhofer Gesellschaft v Německu představil na strojírenském veletrhu v Mnichově v roce 2012 systém „Sim4Save“ (Obr. 20.). Každý rok je tento systém zdokonalován. Jedná se o zabezpečovací kamerový systém, který monitoruje celou halu včetně rozmanitých druhů pracovišť [38]. V závislosti na velikosti haly nebo skladu se volí optimální počet kamer a program, který je schopný předvídat dané situace. Kamerový systém snímá a zachycuje veškeré dění a prostory haly nebo skladu, přitom nesmí zůstat žádné mrtvé úhly nebo rohy [38]. Při překročení nastavených parametrů a limitů vydává systém

včasnou signalizaci a je schopen zpomalit chod robota a robotického systému, nebo ho úplně zastavit [38].



Obr. 19. Rameno robota zakryté umělou kůží [37]

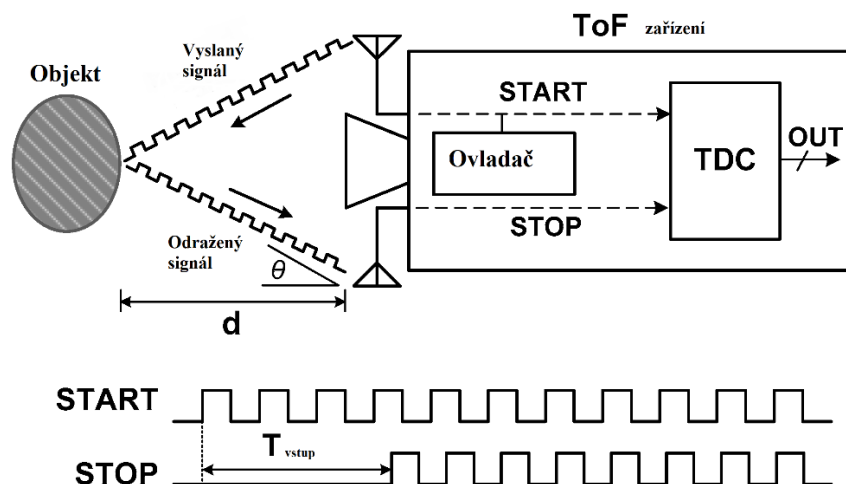


Obr. 20. Bezpečnostní kamerový systém po celé ploše haly „Sim4Save“ [39]

Tento institut představil i druhý systém, který je sestaven z projektorů a kamer umístěných na stropě nebo stěnách haly či skladu [38]. Projektor zobrazí na ploše haly bezpečnostní linie, přes které daná obsluha nebo jiný pracovník nesmí vstoupit. Pokud dojde k přešlapu, pohyb je zachycený kamerou, která vydá podnět k omezení nebo zastavení pohybu robota nebo robotického systému [38]. Modulované světlo je použito k projektování bezpečnostních zón, ve kterých nedochází k rušení jiným druhem světla, slunečním zářením nebo jinými světelnými prvky [38]. Akustické a optické prvky se dají využít jako způsob varování.

Strojové zpracování obrazu je stále více propojeno s činností pracovišť, kde se vyskytuje robot nebo robotický systém [37]. Nabídka se rozšiřuje hlavně v oblasti nástrojů pro zpracování obrazu a jejich kompatibilitu s programovacím vybavením stroje. Inteligentní kamery s přímou schopností zpracovat obrazová data jsou využívány rovněž v průmyslovém prostředí. Vedle snímání ve 2D se prosazuje snímání ve 3D. Zde se využívá metoda geometrické triangulace a podle změn, které vyplývají z geometrie obrazu a objeví se ve struktuře promítnutého vzoru, se získá výsledná 3D informace [37].

Time-of-Flight (ToF) je metoda, která využívá stejný princip a využívá osvit ultrafialovými nebo infračervenými paprsky [36; 37; 38]. Tato metoda pracuje v nepřetržitém provozu na bázi měření fázového posuvu mezi vyslaným a přijatým signálem a měření časového rozdílu mezi vyslaným a přijatým pulzním signálem (Obr. 21.) [37]. Osvětlení bývá umístěno vedle čočky a nejsou potřeba mechanické pohyblivé části. Informace o vzdálenosti můžeme získat z výstupních signálů ToF snímače. Výhoda ToF kamery je v tom, že zachycuje až 170 snímků za sekundu. Nevýhoda ToF kamery je ta, že osvětluje celou scénu.



Obr. 21. Princip ToF metody [44]

Technická laťka se dále posouvá a společnost Mitsubishi Electric představila robota Scara se 2 rameny a 4 stupni volnosti typu RP-1AH (Obr. 22.), který je speciálně navržen pro ukládání dílů při manipulaci s mikročástmi.



Obr. 22. Mitsubishi robot RP-1AH [40]

Stroje, technická zařízení, přístroje a nářadí se neustále zdokonalují a jsou častým zdrojem zranění zaměstnanců. Rizikovými činnostmi jsou údržba, oprava a čištění zařízení. K udržení bezpečného provozu je zapotřebí zajistit pravidelné kontroly, revize a údržbu těchto strojů.

ZÁVĚR

Roboty a robotické systémy využíváme v čím dál širší škále činností. Řada těchto nových aplikací přináší další výzvy pro zajištění bezpečnosti na pracovišti.

Tato práce shrnula normativní a legislativní požadavky při nasazení těchto systémů, dále popsala senzorické systémy, které robot potřebuje pro svou lokalizaci v prostředí, navigaci a plánování.

Práce se také zabývá rozdělením robotů v průmyslové praxi a nebezpečí s nimi spojenými. Metodický přístup ke snižování rizik byl popsán v praktické části této práce.

Pro zajištění budoucího optimálního stavu robotů a robotických strojů je rozhodující včas identifikovat všechny hrozby a analyzovat s nimi spojená rizika. Tato rizika je potřeba následně zohlednit v plánování organizace, kde se tato zařízení vyskytují.

Prostřednictvím neustálého sledování rizik a definováním vhodných opatření k jejich snížení (minimalizaci) lze vytvořit účinný nástroj k mitigaci hrozeb. Proces, v rámci kterého se při současném respektování systémových cílů organizace riziko identifikuje, analyzuje, odhaduje, posuzuje a minimalizuje, se nazývá management rizik.

Pozornosti se v práci dostalo i kolaborativním robotům a jejich nasazení, jelikož se jedná o třídu robotických systémů, u které sledujeme velký potenciál v budoucích aplikacích i mimo klasické aplikace ve výrobních procesech.

Správné pochopení této problematiky se v budoucnosti jistě stane klíčovou součástí řízení BOZP.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 9788021448285.
- [2] Směrnice 2006/42/ES pro strojní zařízení. *Tzbinfo* [online]. Praha: Topinfo, 2009 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://vytahy.tzb-info.cz/pozadavky-na-vytahy/5801-smernice-2006-42-es-pro-strojni-zarizeni>
- [3] Zákon č. 22/1997 Sb. *Zákony pro lidi* [online]. Zlín: AION CS, 2010 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-22>
- [4] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/30/EU. *Esipa* [online]. Praha: Esipa, 2014 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32014L0030>
- [5] ČSN EN 1070 (833000) Bezpečnost strojních zařízení – Terminologie. *Technor Ing. Jiří Řezníček* [online]. Praha: 2018, Technor s.r.o. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/833000-csn-en-1070_4_58025.html
- [6] ČSN EN 12100:2011 – Ověření shody – Technické zásady a specifikace. *Om profi.cz* [online]. Praha: Om profi, 2011 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.qmprofi.cz/csn-en-12100-2011-overeni-shody-technicke-zasady-a-specifikace-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EuVqHe2tB5I6Bt5X6h5Ttw8/>
- [7] ČSN EN 414 (833003) Bezpečnost strojních zařízení. Pravidla pro navrhování a předkládání bezpečnostních norem. *Technor Ing. Jiří Řezníček* [online]. Praha: Technor, 2019 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/833003-csn-en-414_4_15061.html
- [8] ČSN EN ISO 10218-1 (186502). *Normy.biz* [online]. Brno: Ing. Jiří Hrazdil, 2019 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/89961>
- [9] ČSN EN ISO 13732-1 (833557). *Normy.biz* [online]. Brno: Ing. Jiří Hrazdil, 2019 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/83056>
- [10] ČSN EN ISO 13732. *Normy.biz* [online]. Brno: Ing. Jiří Hrazdil, 2019 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/70987>
- [11] ČSN ISO 13373-1 (011440). *Normy.biz* [online]. Brno: Ing. Jiří Hrazdil, 2019 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/67076>

- [12] ČSN EN ISO 14123-1. *Normy.biz* [online]. Brno: Ing. Jiří Hrazdil, 2019 [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/501707>
- [13] ČSN EN ISO 14120. *Normy.biz* [online]. Brno: Ing. Jiří Hrazdil, 2019 [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/501530>
- [14] ČSN EN 61496-1 ED.2. *Technor Ing. Jiří Řezníček* [online]. Praha: Technor, 2019 [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy/72265-nahrady-332206-csn-en-61496-1-ed-2.html>
- [15] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [2008] [cit. 2019-12-12]. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [16] Robot ve zdravotnictví. In: *Olomoucký deník* [online]. Olomouc: VIm media, 2018 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiVg-PTG9rDmAhUSyqQKHcjtCmsQjRx6BAg-BEAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.denik.cz%2Fgalerie%2Fnejnovejsi-robot-davinci-v-olomoucke-fakultni-nemocnici.html%3Fphoto%3D10&psig=AOvVaw1p7PRcvq2SpZAZWJ86E_TX&ust=1576268106394840
- [17] Kolaborativní roboti. *Factory automation* [online]. Praha: FANUC Czech, 2018 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-je-to-kolaborativni-robot-5-veci-ktere-byste-o-nem-meli-vedet/>
- [18] Cobot. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Cobot#cite_note-8
- [19] Cobots for the automobile assembly line. In: AKELLA, Peter. *International Conference on Robotics and Automation*. USA: IEEE, 1999, s. 745-748. DOI: 10.1109/ROBOT.1999.770061. ISBN 0-7803-5180-0. ISSN 1050-4729.
- [20] *Fanuc cr35ia* [online]. Itálie: Fanuc, 2015 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.coboticsworld.com/portfolio-items/fanuc-cr35ia/>
- [21] Problematika bezpečnosti kolaborativních robotů – ISO/TS 15066. *Automatizace.hw.cz* [online]. Praha: HW server, 2019 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/problematika-bezpecnosti-kolaborativnich-robotu-isots-15066.html>

- [22] Průmyslové roboty: Jaké jsou jejich druhy? *Factory automation* [online]. Praha: FANUC Czech, 2018 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [23] Trendy v oblasti průmyslových robotů a jejich typy. *Control Engineering* [online]. Český Těšín: Trade Media International, 2015 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/hlavni-menu/artiky/artiky/artiky/article/trendy-v-oblasti-prumyslovych-robotu-a-jejich-typy/>
- [24] Delta robot. In: *Control Engineering* [online]. Český Těšín: Trade Media International, 2015 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: http://www.controlengcesko.com/fileadmin/grafika/Barca_Karchova/Casopis_Listopad_prosinec_2015/robot2.png
- [25] KRÁL, Miroslav. *Přístup k hodnocení a řešení snižování nebezpečí a rizik u strojních zařízení (strojů): normativy a doporučení, vybrané metody a techniky*. Brno, 2005, 86 s. Autorské texty vypracované na zakázku pro ÚVSSR.
- [26] BLECHA, Petr. *Management technických rizik u výrobních strojů*. Brno, 2009, 193 s. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
- [27] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-3817-8.
- [28] POŠVÁŘ, Zdeněk a Helena CHLÁDKOVÁ. *Management*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009. ISBN isbn9788073753474.
- [29] NOVOTNÝ, Tomáš. *Využití technologie virtuální reality v analýze rizik a bezpečnosti výrobních strojů* [online]. Brno, 2013 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/67427?zp_id=67427&aid_redir=1. Disertační práce. VUT Brno.
- [30] Uplatnění strojírenské směrnice 2006 / 42 / ES a postup při výrobě strojního zařízení [online]. Brno: *Elektroprůmysl.cz*, 2015 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/uplatneni-strojirenske-smernice-2006-42-es-a-postup-pri-vyrobe-strojního-zarizeni>
- [31] HAWCOCK, Claire. *Postav si svého robota: seznam se s roboty*. Přeložil Kateřina BROUK. Praha: Svojtka & Co., 2017. ISBN 978-80-256-1972-8.

- [32] ČSN EN ISO 12100 [online]. Praha: *Binargon*, 2018 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: https://www.technickenormy.cz/csn-en-iso-12100-bezpecnost-strojnich-zarizeni-vseobecne-zasady-pro-konstrukci-posouzeni-rizika-a-snizovani-rizika-1/?gclid=CjwKCAiA98TxBRBtEiwAVRLquyuMII-YknNuABPzYF8SkPMKn-qE-GCRPbFm2DJYizqMASJjHbAgwBoCShoQAvD_BwE
- [33] KOLÍBAL, Zdeněk. *Bezpečnost robotů (Roboty a robotizované výrobní technologie)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.
- [34] Jsou stroje z hlediska EU bezpečné? [online]. Praha: *Výzkumný ústav bezpečnosti práce*, 2006 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/jsou-stroje-z-hlediska-eu-bezpecne>
- [35] ČSN EN ISO 13849-2 [online]. Praha: *Český normalizační institut*, 2004 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/83/69216/69216_nahled.htm
- [36] Průmyslové roboty přesnější a s jednodušším programováním [online]. Praha: *Springer Media CZ*, 2012 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/prumyslove-roboty-presnejsi-a-s-jednodussim-programovanim_18361.html
- [37] Postřehy z veletrhu Automatica: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/postrehy-z-veletrhu-automatica.html> [online]. Praha: *MM publishing*, 2012 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/postrehy-z-veletrhu-automatica.html>
- [38] PAVELKA, Václav. *Bezpečnost robotického pracoviště*. Zlín, 2014. Bakalářská práce. UTB Zlín, Fakulta aplikované informatiky.
- [39] Bezpečnostní kamerový systém [online]. Praha: *MM publishing*, 2012 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/content/image/gallery/2012-07_12_1340274342/automatica_obr_08.jpg
- [40] RP-1AH. In: *Mitsubishi Electric* [online]. Mnichov: Mitsubishi, 2013 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://www.femto-st.fr/fr/Departements-de-recherche/AS2M/Equipements-de-recherche/PHM/robot-mitsubishi>

- [41] Bezpečnost strojů [online]. Praha: *MM publishing*, 2010 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <http://firmy.mmspektrum.com/clanek/blize-k-praxi-serial-o-bezpecnosti-strojnich-zarizeni-2-2.html>
- [42] V 6 krocích k bezpečnému stroji [online]. Praha: *Sick Sensor Intelligence*, 2015 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/v6krocich-kbezpecnemu-stroji/w/safety-know-how/>
- [43] ČSN EN ISO 13855:2010 Bezpečnost strojních zařízení – umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla [online]. Praha: *OM Profi*, 2011 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.qmprofi.cz/33/csn-en-iso-13855-2010-bezpecnost-strojnich-zarizeni-umisteni-ochrannych-zarizeni-s-ohledem-na-rychlosti-priblizeni-casti-lidskeho-tela-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EkZYUSQqWDJwg-OSmwmsXVo/>
- [44] NGUYEN, Van, Duc DUONG, Yunmo CHUNG a Jong-Wook LEE. A Cyclic Vernier Two-Step TDC for High Input Range Time-of-Flight Sensor Using Startup Time Correction Technique. *Sensors* [online]. 2018, 18(11) [cit. 2020-04-26]. DOI: 10.3390/s18113948. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/18/11/3948>
- [45] Palletizing of IC (SCARA robot). In: *Panasonic* [online]. USA: Panasonic Industry, 2018 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: https://www3.panasonic.biz/ac/ae/fasys/appli_search/data/index.jsp?group_cd=278&app_detail_cd=885
- [46] FORMÁNEK, Josef. Základní charakteristika a demonstrování základních principů měření veličin. *Výukové texty* [online]. 2017, 16 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/amp/18557807-Vyukove-texty-pro-predmet-merici-technika-kks-mt-na-tema-zakladni-charakteristika-a-demonstrovani-zakladnich-principu-mereni-velicin.html>
- [47] HOTAŘ, Vlastimil. Přehled, principy a úloha senzorů v automatizaci. In: *Automatizace a robotizace ve strojírenství* [online]. Liberec: Technická univerzita, 2019, s. 128 [cit. 2020-05-17]. ISBN CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013333. Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/ksr/podklady/ARS-7.Senzorika-3.pdf>
- [48] *Čím se Lidar liší od radaru a jaká je jeho role v autonomních vozidlech* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER a.s., 2018 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z:

<https://vtm.zive.cz/clanky/cim-se-lidar-lisi-od-radaru-a-jaka-je-jeho-role-v-auto-nomnich-vozidlech/sc-870-a-195431/default.aspx>

- [49] KNÁPKOVÁ, Eva. *Aplikace systému strojového vidění* [online]. Zlín, 2012 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/nijult/>. Bakalářská práce. Univerzita Tomáš Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.
- [50] ŠVEJDA, Martin. *Kinematika robotických architektur*. Plzeň, 2011. Disertační práce. Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni.
- [51] LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management*. Zlín: Radim Bačuvčík – VeRBuM, 2015. ISBN 9788087500675.
- [52] LogicManager software. *LogicManager Reviews* [online]. Arlington: Capterra, 2018 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.capterra.com/p/176999/LogicManager/>
- [53] SMÍTAL, Josef. *Rizika zavádění nového výrobku*. Zlín, 2018. Bakalářská práce. UTB Zlín, Fakulta logistiky a krizového řízení.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CCD	Charge-coupled device
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
ČSN	Česká státní norma
DPPC	Dohledové a poplachové přijímací centrum
EU	Evropská unie
EP	Evropský parlament
ES	Evropská směrnice
IAD	Intelligent Assist Device
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
IR	Infračervený např. senzor
km	kilometr
mm	milimetr
USA	Spojené státy americké
s	sekunda
ToF	Time of flight
TS	Technická specifikace
3D	Trojrozměrný
2D	Dvourozměrný

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Robot ve zdravotnictví [16]</i>	16
<i>Obr. 2. Robot během geologického průzkumu [15]</i>	17
<i>Obr. 3. Struktura senzoru [46]</i>	19
<i>Obr. 4. FANUC CR35-iA [20]</i>	23
<i>Obr. 5. Techniky spolupráce (upraveno) [21]</i>	24
<i>Obr. 6. Jednotlivé úrovně nebezpečí poranění způsobené robotem pro jednotlivé části lidského těla (upraveno) [21]</i>	25
<i>Obr. 7. SCARA robot [45]</i>	27
<i>Obr. 8. Robot typu DELTA [24]</i>	27
<i>Obr. 9. Příklady mechanického ohrožení [25]</i>	31
<i>Obr. 10. Proces posouzení rizika (upraveno) [41]</i>	35
<i>Obr. 11. Program Safexpert® (v anglickém jazyce) [42]</i>	37
<i>Obr. 12. Výstupní graf rizik v programu LogicManager [52]</i>	38
<i>Obr. 13. Kryt [42]</i>	39
<i>Obr. 14. Sledování parametrů stroje [42]</i>	40
<i>Obr. 15. Průchod materiálu na výrobní lince [42]</i>	40
<i>Obr. 16. Nouzové zastavení [42]</i>	41
<i>Obr. 17. Indikace blokování [42]</i>	41
<i>Obr. 18. Bezpečná vzdálenost s použitím ochranných krytů [42]</i>	42
<i>Obr. 19. Rameno robota zakryté umělou kůží [37]</i>	45
<i>Obr. 20. Bezpečnostní kamerový systém po celé ploše haly „Sim4Save“ [39]</i>	45
<i>Obr. 21. Princip ToF metody [44]</i>	46
<i>Obr. 22. Mitsubishi robot RP-1AH [40]</i>	47

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Specifikace ISO/TS 15066 [21]</i>	<i>24</i>
--	-----------

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI: Přehled norem A, B a C [42]

PŘÍLOHA PI: PŘEHLED NOREM A, B a C

Typ	Evropská norma EN	Harmonizována	Mezinárodní norma ISO/IEC	Název, resp. odkaz
A	ČSN EN ISO 12100 nahradila následující normy	✓	ISO 12100	Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika
	ČSN EN ISO 12100-1		ISO 12100-1	Bezpečnost strojních zařízení – Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci • Část 1: Základní terminologie, metodologie
	ČSN EN ISO 12100-2		ISO 12100-2	Bezpečnost strojních zařízení – Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci • Část 2: Technické zásady
	ČSN EN ISO 14121-1		ISO 14121-1	Bezpečnost strojních zařízení – Posouzení rizika • Část 1: Zásady
B	ČSN EN 349	✓	ISO 13854	Bezpečnost strojních zařízení. Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla
	ČSN EN 574	✓	ISO 13851	Bezpečnost strojních zařízení – Dvouruční ovládací zařízení – Funkční hlediska – Zásady pro konstrukci
	ČSN EN 953	✓	ISO 14120	Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů (<i>aktuálně se přepracovává a v budoucnu bude vydána jako ČSN EN ISO 14120</i>)
	ČSN EN 1037	✓	ISO 14118	Bezpečnost strojních zařízení – Zamezení neočekávanému spuštění
	ČSN EN 1088	✓		Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu (<i>byla nahrazena normou ČSN EN ISO 14119</i>)
	ČSN EN ISO 13849-1	✓	ISO 13849-1	Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů • Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci
	ČSN EN ISO 13849-2	✓	ISO 13849-2	• Část 2: Ověřování
	ČSN EN ISO 13850 (nahradila ČSN EN 418)	✓	ISO 13850	Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci
	ČSN EN ISO 13855 (nahradila ČSN EN 999)	✓	ISO 13855	Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla
	ČSN EN ISO 13857 (nahradila ČSN EN 294 a ČSN EN 811)	✓	ISO 13857	Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami
	ČSN EN 60204-1	✓	IEC 60204	Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů • Část 1: Všeobecné požadavky
	ČSN EN 61496-1	✓	IEC 61496-1	Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická snímací ochranná zařízení • Část 1: Všeobecné požadavky a zkoušky
	ČSN CLC/TS 61496-2	–	IEC 61496-2	• Část 2: Zvláštní požadavky na aktivní optoelektronická ochranná zařízení (AOPD)
	ČSN CLC/TS 61496-3	–	IEC 61496-3	• Část 3: Zvláštní požadavky na aktivní optoelektronická ochranná zařízení s rozptylným odrazem (AOPDDR)
ČSN CLC/TS 62046	–	IEC/TS 62046	Bezpečnost strojních zařízení – Použití ochranného zařízení pro snímání přítomnosti osob	
ČSN EN 62061	✓	IEC 62061	Bezpečnost strojních zařízení – Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností	

Typ	Evropská norma EN	Harmonizována	Mezinárodní norma ISO/IEC	Název, resp. odkaz
C	ČSN EN 1114-1	✓	–	Stroje pro zpracování plastů a pryže – Šnekové vytlačovací stroje a vytlačovací linky • Část 1: Bezpečnostní požadavky na vytlačovací stroje
	ČSN EN 12622	✓	–	Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Hydraulické ohraňovací lisy
	ČSN EN 13736	✓	–	Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Pneumatické lisy
	ČSN EN 1459	✓	–	Bezpečnost manipulačních vozíků – Vozíky s proměnným vyložením a vlastním pohonem
	ČSN EN 1525	–	–	Bezpečnost motorových vozíků – Vozíky bez řidiče a jejich systémy
	ČSN EN 1526	✓	–	Bezpečnost motorových vozíků – Další požadavky na automatické funkce vozíků
	ČSN EN 1612-1	✓	–	Stroje pro zpracování pryže a plastů – Reakční tvářecí stroje • Část 1: Bezpečnostní požadavky na dávkovací a míchací jednotky
	ČSN EN 1672-1	–	–	Potravinářské stroje – Bezpečnostní a hygienické požadavky – Všeobecné zásady pro konstrukci
	ČSN EN 201	✓	–	Stroje pro zpracování pryže a plastů – Vstřikovací stroje – Bezpečnostní požadavky
	ČSN EN 289	✓	–	Stroje na zpracování plastů a pryže – Lisovací tvářecí a přetlačovací stroje – Bezpečnostní požadavky
	ČSN EN 415-X	✓*	–	Bezpečnost balicích strojů (*: harmonizovány jsou pouze části 1, 3 a 5 až 9 této normy)
	ČSN EN 422	✓	–	Stroje na zpracování pryže a plastů – Bezpečnost – Vyfukovací tvářecí stroje používané na výrobu dutých předmětů – Požadavky na konstrukci a stavbu
	ČSN EN 528	✓	–	Regálové zakladače - Bezpečnostní požadavky
	ČSN EN 692	✓	–	Mechanické lisy - Bezpečnost
	ČSN EN 693	✓	–	Obráběcí a tvářecí stroje - Bezpečnost - Hydraulické lisy
	ČSN EN 710	✓	–	Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní požadavky na slévarenské formovací a jádrovací stroje a zařízení a přidružená zařízení
	ČSN EN 869	✓	–	Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní požadavky pro jednotky na lití kovů pod tlakem
	ČSN EN ISO 1010-X	✓*	ISO 1010-X	Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní požadavky na konstrukci a výrobu tiskových strojů a strojů na zpracování papíru (*: harmonizovány jsou části 1 až 4 této normy)
	ČSN EN ISO 10218-1 (nahradila ČSN EN 775)	✓	ISO 10218-1	Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů • Část 1: Roboty
	ČSN EN ISO 10218-2	✓	ISO 10218-2	• Část 2: Systémy robotů a integrace
ČSN EN ISO 11111-X	✓*	ISO 11111-X	Textilní stroje – Bezpečnostní požadavky (*: harmonizovány jsou části 1 až 7 této normy)	