

Bezpečnost kolaborativních robotů

Článek je záznamem a překladem přednášky Roberty Nelson Sheavové z firmy Universal Robots. Seznamuje s aktuálními standardy a specifikacemi v oblasti kolaborativních robotů a věnuje se zejména možnostem a omezením použití funkce omezení výkonu a síly. Klade důraz na to, že je vždy třeba pečlivá analýza rizik celého pracoviště vybaveného kolaborativními roboty.

Jak je to vlastně s bezpečností kolaborativních robotů? Ještě před dvěma roky jsem na semináři na toto téma slyšel – nikoliv od výrobce těchto robotů, ale od odborníka na certifikaci bezpečnosti strojů a strojních zařízení: na kolaborativní roboty ve výrobním podniku zapomeňte, robot nikdy nesmí přímo spolupracovat s člověkem. Že tomu v současné době už tak není, jsme psali v technickém článku *Nové přístupy k bezpečnosti robotů* [1]. Tento článek uvedené informace doplňuje a dále rozvádí. Je záznamem přednášky Roberty Nelson Sheavové z firmy Universal Robots, která v prosinci loňského roku krátce navštívila Českou republiku.

Představení autorky výchozí přednášky

Dovolte mi nejprve představit autorku výchozí přednášky. Roberta Nelson Sheavová přišla do firmy Universal Robots teprve před krátkou dobou a pracuje zde na pozici Global Technical Compliance Officer. V oblasti bezpečnosti strojů a strojních zařízení však není žádným nováčkem, ale naopak uznávanou odborníci. Pracovala na různých pozicích ve firmách Rockwell Automation, Symbotec LLC, Applied Manufacturing Technologies, Pilz Automation a Honeywell a Procter & Gamble. Celkem 23 let pracovala jako předsedkyně (nyní emeritní předsedkyně) výboru ANSI/RIA R15.06 Robot Safety Committee.

Sama Roberta Nelson Sheavová o sobě říká: „Už více než třicet let je mou vášní robotika... Mým cílem je demystifikovat roboty a ujistit, že bariéry jejich využití postupně padají. Jsem zastáncem globální harmonizace požadavků na bezpečnost, protože ta snižuje náklady na konstrukci, výrobu a posuzování shody.“

Jsou normy povinné?

Při diskusi o globalizaci standardů je nutné se nejprve soustředit na otázku, do jaké míry je jejich dodržování v různých částech světa povinné. Na tuto otázku Roberta Nelson Sheavová odpověděla takto: „V USA, v Kanadě nebo v Japonsku jsou požadavky na bezpečnost dány zákonem, zatímco v Evropské

unii evropskými směrnicemi a nařízeními. Ovšem povinnost jejich dodržování může být a je i zde stanovena zákony jednotlivých zemí. V tom tedy velký rozdíl není. Jeden ze zásadních rozdílů je v tom, že v USA je dodržování bezpečnosti práce vždy povinností koncového uživatele, zatímco v Evropě prokazuje shodu s bezpečnostními normami výrobce či prodejce při uvádění výrobku na trh a uživatel se spoléhá na jeho prohlášení.“

V oblasti posuzování bezpečnosti robotů a pracovišť s roboty jsou nejdůležitější mezinárodní normy ISO 10218-1 a ISO 10218-2. Obě normy jsou akceptovány v EU i v USA a Kanadě. V Evropě k nim byl přidán doplněk ZX, aby byly v souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES o strojních zařízeních. V této podobě vyšly jako EN ISO 10218-1 a EN ISO 10218-2 a byly pod stejným označením přijaty jednotlivými členskými státy EU. V České republice jde tedy o normy ČSN EN ISO 10218-1 *Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty* a ČSN EN ISO 10218-2 *Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace*. Obě vstoupily v platnost v roce 2012. V USA i v Kanadě existovaly normy pro bezpečnost robotů již dříve, proto zde byly normy ISO přijaty pod původním označením, v USA jako ANSI/RIA R15.06 (doplněná o předmluvu) a v Kanadě jako CAN/CSA Z434 (doplněná o předmluvu a specifické úpravy). V obou případech normy obsahují obě části ISO 10218.

Bude užitečné připomenout, co je to vlastně norma a kdo je jejím autorem. Technická norma je dokument, který stanovuje důležité vlastnosti různých materiálů, výrobků, součástek nebo postupů a může definovat také používané pojmy. Autory norem jsou sami výrobci, uživatelé, integrátoři, výzkumné a vývojové instituce nebo státní orgány; jde-li o státní normy, je autoritou příslušný státní úřad, např. v Česku Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Poznamenejme, že autoři norem nemají k normám autorská práva, ta má vždy vydavatel normy. Státní normy se podřizu-

jí normám mezinárodním, zejména normám ISO. Na státní normy mohou navazovat normy oborové nebo podnikové.

Je třeba podotknout, že normy, ani státní, obecně nejsou závazné. V právním řádu je však mnoho odkazů na normy, buď výlučných, kdy je dodržení normy jedinou možností, jak být v souladu se zákonem, nebo indikativních, kde je norma doporučena jako jeden z prostředků, jak splnit zákonné nařízení.

Které normy se týkají robotů a pracovišť s roboty?

Roberta Nelson Sheavová dále pokračovala výkladem o soustavě bezpečnostních norem ISO. Bezpečnostní normy lze rozdělit na tři typy:

- Normy typu A (základní bezpečnostní normy) stanovují základní pojmy a zásady pro projektování a konstrukci a obecná hlediska, která mohou být použita u všech strojů. Příkladem je ČSN EN ISO 12100 (83 3001) *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika*.
 - Normy typu B (skupina bezpečnostních norem) se zabývají jedním bezpečnostním aspektem nebo jedním typem bezpečnostního zařízení, které může být použito pro větší počet strojů. Normy typu B1 se týkají jednotlivých bezpečnostních aspektů (např. bezpečných vzdáleností, teploty povrchu, hluku apod.). Příkladem může být ČSN EN ISO 13857 (83 3212) *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami*. Normy typu B2 se týkají příslušných bezpečnostních zařízení (např. dvouručního ovládacího zařízení, blokovacího zařízení apod.). Příkladem je ČSN EN ISO 13850 (83 3311) *Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci*.
 - Normy typu C (bezpečnostní normy pro stroje) určují detailní bezpečnostní požadavky pro jednotlivý stroj nebo skupinu strojů. Sem patří obě již zmíněné normy pro bezpečnost robotů ČSN EN ISO 10218-1 a ČSN EN ISO 10218-2.
- V tab. 1 jsou shrnuty bezpečnostní normy, které při konstrukci robotů respektuje společnost Universal Robots. Až na jednu jde o normy převzaté jako ČSN, proto je v tabulce uveden název jejich českého překladu. Kromě nich však Universal Robots bere v úvahu ještě tyto normy a specifikace, jež buď zatím nejsou harmonizované, nebo nejde o normy týkající se výslovně bezpečnosti:
- ISO/TS 15066: *Robots and robotic devices – Collaborative robots*. Jde o technic-



Obr. 1. Roberta Nelson Sheavová, Global Technical Compliance Officer, Universal Robots

Tab. 1. Přehled norem uplatňovaných při posuzování bezpečnosti pracovišť s roboty

ČSN EN ISO 12100 (83 3001)	<i>Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika</i>
ČSN EN ISO 13849-1 (83 3205)	<i>Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci</i>
ČSN EN ISO 13850 (83 3311)	<i>Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci</i>
ISO 14118	<i>Safety of machinery – Prevention of unexpected start-up (neharmonizovaná; jako ČSN nepřevzata)</i>
ČSN EN ISO 13857 (83 3212)	<i>Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami</i>
ČSN EN ISO 13855 (83 3303)	<i>Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla</i>
ČSN EN ISO 10218-1 (18 6502)	<i>Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty</i>
ČSN EN ISO 10218-2 (18 6502)	<i>Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace</i>

kou specifikaci (nikoliv normu) doplňující normy ISO 10218-1 a ISO 10218-2 o části věnované speciálně kolaborativním robotům používaným v průmyslu. Specifikace byla zveřejněna v únoru 2016.

- ČSN EN ISO 9409-1: *Manipulační průmyslové roboty – Mechanická rozhraní.*
- ČSN EN ISO 9946: *Manipulační průmyslové roboty – Uvádění charakteristických vlastností*
- ČSN EN ISO 9283: *Manipulační průmyslové roboty – Technické parametry a související zkušební metody.*

Nová specifikace ISO/TS 15066

Autorem specifikace ISO/TS 15066: *Robots and robotic devices – Collaborative robots* je technická komise ISO/TC 299 (dříve TC 184/SC 2). V této komisi jsou zastoupeni všichni významní výrobci průmyslových kolaborativních robotů: Universal Robots, ABB, Rethink Robotics, Kuka, Fanuc, Denso Wave a Yaskawa. Výsledný text je konsenzem všech zúčastněných a všechny jejich nové kolaborativní roboty jsou s touto specifikací ve shodě (UR: UR3, UR5, UR10, ABB: YuMi, RR: Baxter, Sawyer, Kuka: IIWA, Fanuc: CR-35iA...).

Co se změnilo v oblasti kolaborativních robotů po únoru 2016, kdy byla specifikace zveřejněna? V normách ISO 10218-1 a 10218-2 byla kolaborativním robotům věnována jedna strana. Tyto normy byly totiž poprvé publikovány v roce 2006, tedy v době, kdy obor průmyslových kolaborativních robotů ještě v podstatě neexistoval. Nová specifikace ISO/TS 15066 přináší třicet stran informací a doporučení věnovaných jen tomuto novému oboru robotiky.

Technická specifikace ovšem není standard. Jde opravdu jen o soubor informací a doporučení pro konstruktéry robotů a robotizovaných pracovišť. Obvyklý postup je takový, že technická specifikace je po určité době používána v praxi, sbírají se zkušenosti, které jsou použity k revizím specifikace, jež se následně může stát normou nebo součástí

normy: v tomto případě se počítá s tím, že se stane součástí norem ISO 10218-1 a 10218-2.

Normy ISO 10218-1 a 10218-2 rozlišují průmyslový robot, který se skládá z robotického ramene a řídicího systému, a robotický systém, jehož součástí jsou robot, efektor (chapadlo nebo nástroj) a manipulovaný či zpracovávaný díl. Roberta Nelson Sheavová uvedla stručný přehled způsobů, jimiž je podle ISO 10218-1 zajištěna bezpečnost kolaborativních robotů: bezpečnostní monitorované zastavení, ruční navádění, sledování rychlosti a vzdálenosti a omezení rychlosti a výkonu. Naše čtenáře můžeme odkázat na článek [1], kde jsou tyto způsoby popsány podrobněji.

Z hlediska řízení jsou bezpečnostní funkce zajištěny takto:

- u bezpečnostního monitorovaného zastavení je robot řízen automaticky až do okamžiku, kdy je funkce aktivována; potom může být ovládnut ručně a po deaktivaci funkce, tedy když osoby opustí pracovní prostor robotu, je opět řízen automaticky (nejde tedy o bezpečnostní zastavení kategorie 0 nebo 1, jež by vyžadovalo restartování systému) – používá se zejména při údržbě, výměně nástroje apod.,
- u ručního navádění robotu je robot naváděn lidskou obsluhou a po ukončení funkce je opět řízen automaticky; při ručním navádění tedy obsluha a řídicí systém robotu spolupracují – typicky se tato funkce používá pro učení,
- při sledování rychlosti a vzdálenosti je robot řízen svým řídicím systémem tak, aby v okamžiku, kdy dojde ke kontaktu s obsluhou, zastavil nebo se pohyboval bezpečnou rychlostí a vyvozoval bezpečnou sílu – tato funkce je vhodná tam, kde obsluha spolupracuje s robotem jen po určitou dobu pracovní operace a během této doby je pohyb robotu výrazně zpomalen či zastaven,
- při omezení síly a výkonu je robot řízen tak, aby obsluze nemohl ublížit; je to jediná funkce, která umožňuje trvalou a plnou spolupráci řídicího systému robotu s obsluhou.

Roberta Nelson Sheavová dále věnovala pozornost právě funkci omezení síly a výkonu (PFL – *Power and Force Limited*). Tato funkce vychází z myšlenky, že je v podstatě lhostejné, dotkne-li se člověk bezpečně stojícího ramene robotu, nebo ramene robotu, které se pohybuje bezpečnou rychlostí a vyvíjí jen bezpečnou sílu. Důležité je, že nestačí, je-li bezpečný samotný robot. Nese-li robot ve svém chapadle např. ostrý, horký nebo jinak nebezpečný předmět, musí být jeho bezpečnost zajištěna bez ohledu na to, že je schopen se pohybovat jen limitovanou rychlostí a vyvinout jen limitovanou sílu: v tomto případě musí být robot umístěn za bezpečnostní oplocení a přímá spolupráce s ním není možná.

Specifikace ISO/TS 15066 ve své příloze stanovuje konzervativní limity bolestivosti při kvazistatickém a přechodném kontaktu obsluhy s robotem (kvazistatický kontakt je takový, kdy je část těla přímáčkuta mezi rameno robotu a pevnou součást robotické buňky, přechodný kontakt je takový, kdy má obsluha možnost ucuknout). Limity jsou stanoveny na základě pokusů na velkém souboru osob pro různé části těla.

Klasické a kolaborativní roboty

V dalším výkladu Roberta Nelson Sheavová nastínila cestu, kterou se ubírá robotika od klasických průmyslových robotů, jež pracují obvykle v prostorech, které jsou pro člověka nebezpečné nebo nepříjemné, a kde se tedy ani nepočítá s tím, že by zde roboty spolupracovali s lidskou obsluhou, protože je snaha přítomnost osob v takovém prostředí zcela vyloučit, ke kolaborativním robotům, jež pomáhají lidem vykonávat zejména obtížné a únavné práce. V prvním případě jde obvykle o složitá robotizovaná pracoviště a z hlediska bezpečnosti jsou zajištěna externími snímači, spínači a bezpečnostním systémem. V druhém případě jde zpravidla o jednodušší úlohy – složitější jsou výjimkou – a bezpečnost bývá zajištěna přímo robotem.

Klasické průmyslové roboty, pracující v oddělených prostorech, tedy vyžadují více místa k montáži. Obvykle jsou pevně namontovány i naprogramovány: počítá se s tím, že budou po dlouhou dobu vykonávat stále stejné operace. Jejich pořizovací cena je vyšší a doba návratnosti delší.

Naproti tomu kolaborativní roboty pracující na jednom pracovišti s lidskou obsluhou, jsou tedy prostorově úspornější, lze je snadno přemístit i přeprogramovat, měly by být levnější a doba jejich návratnosti je kratší.

Posuzování rizika

Roboty UR jsou roboty s omezeným výkonem a silou. Protože jejich vlastní bezpečnostní funkce PFL splňuje požadavky úrovně vlastností PL d, lze tyto roboty bez dalších bezpečnostních bariér nebo spínačů používat v úlohách, kde by mohlo dojít k lehkým zra-

Tab. 2. Opatření pro zajištění bezpečnosti pracovišť s kolaborativními roboty

	Opatření	Popis	Poznámka
Bezpečná konstrukce (zajišťuje výrobce robotu, chapadla, nástroje)	eliminace	eliminace nebezpečí skřípnutí nebo nebezpečného dotyku; v této části je nutný také správný návrh celého pracoviště	
	náhrada	méně nebezpečné materiály, omezení energie, rychlosti, rozsahu pohybu	
	omezení interakcí	vyloučení dotyku s obsluhou, zvláště dotyku s citlivými částmi těla (omezení rozsahu pohybu)	
Bezpečnostní prostředky a doplňující opatření	bezpečnostní prostředky	kryty, zámky, mříže, bezpečnostní spínače, funkce a systémy	parametry je třeba nastavit podle konkrétních podmínek
	doplňující opatření	nouzové zastavení, bezpečné odpojení momentu, zabezpečení přístupu, možnosti úniku z nebezpečné zóny, prevence pádu	
Opatření na straně uživatele	výstražná zařízení	signální světla, majáky, sirény, bezpečnostní tabulky a značení	
	administrativní opatření	SOP, školení, inspekce, kontroly bezpečnosti práce	
	osobní ochranné prostředky	ochranný oděv, boty, brýle, rukavice apod.	

něním, ale četnost vystavení nebezpečným podmínkám je malá. Znovu je třeba připomenout, že vždy je nutné posuzovat celé pracoviště, tedy včetně chapadel, nástrojů a manipulovaných předmětů.

Z hlediska implementace specifikace ISO TS 15066 je možné funkci PFL bez omezení použít v oblastech, kde obsluha ucítí dotyk robotu, ale ten jí nezpůsobí bolest. V oblastech, kde už je kolize s robotem bolestivá, ale ještě nezpůsobí žádné zranění, je možné funkci PFL použít s podmínkou malé četnosti výskytu takových situací. Může-li dojít k lehkému zranění, je nutné funkci PFL doplnit o vhodné bezpečnostní kryty nebo spínače. Hrozí-li riziko závažných zranění, nelze funkci PFL použít vůbec a bezpečnost musí být zajištěna jiným způsobem.

Posuzování rizika je stejné jako u klasických průmyslových robotů. Navíc je ještě nutné podle ISO TS 15066 posoudit zamýšlené a předvídatelné kontakty robotu s obsluhou, určit typ kontaktu (přechodný, kvazistatický), část těla, na níž může dojít ke kontaktu, a četnost kontaktů.

Podle přílohy A specifikace ISO TS 15066 je třeba v první řadě zabránit kontaktu robotu s částmi těla výše, než je krk. Nejde-li to jinak, je nutné používat ochrannou helmu a štít chránící oči a obličej. Konstrukce robotu, včetně

chapadla nebo nástroje, musí zajistit, že při pohybu robotu nemůže dojít ke skřípnutí částí těla mezi pohybující se částmi, a uspořádání pracoviště musí zajistit, že k tomu nemůže dojít ani mezi robotem a částmi pracoviště nebo stěnou. Pracoviště se validuje počítačovými simulacemi, zkouškami při využití snímačů síly nebo předmětů, které modelují části těla (např. zmražené párky místo prstů obsluhy). Počítá se s tím, že tato část specifikace bude dále upravována, aby validace byla ještě jednodušší a jednoznačnější.

Co udělat pro to, aby u robotu mohla být uplatněna funkce PFL? Je třeba se vyvarovat všech míst, kde by mohlo dojít ke skřípnutí částí těla. Konstrukčně je třeba omezit pohyb robotu tak, aby nemohl dosáhnout na citlivé části těla, zejména na krk a hlavu. Dále je výhodné konstrukčně omezit momenty setrvačnosti pohyblivých součástí robotu. Energií působící při kontaktu omezí zmenšení rychlosti pohybu robotu a vzniku zranění lze předejít zvětšením možných styčných ploch, které kontaktní sílu rozloží do větší plochy, nebo jejich změkčením (povrchovou úpravou). Opět je však třeba připomenout, že je zapotřebí posuzovat bezpečnost celého pracoviště, nikoliv robotu samotného.

Možné prostředky ke snížení rizika jsou shrnuty v tab. 2. Využit lze všechny, ale do-

poručuje se využívat zejména ty v horních řádcích, směrem dolů jde o prostředky doplňující a pomocné, které riziko sice snižují, ale samy o sobě nikoliv dostatečně.

Závěr

Roberta Nelson Sheavová konstatovala, že kolaborativní roboty jsou stále ještě poměrně nové a bezpečnostní standardy teprve vznikají. Mají-li být roboty používány v přímé interakci s člověkem bez ochranného oplocení a jiných bezpečnostních systémů, musí být samy vybaveny bezpečnostními funkcemi, spínači a systémy.


Není ovšem možné tvrdit, že robot vybavený bezpečnostním systémem je vždy bezpečný. V každém případě je třeba udělat důkladnou analýzu rizik a posuzovat bezpečnost celého pracoviště.

(S využitím podkladů firmy Universal Robots a záznamu přednášky Roberty Nelson Sheavové, prosinec 2016.)

Literatura:


- [1] RETHINK ROBOTICS, INC. Nové přístupy k bezpečnosti robotů. *Automa*. Děčín, 2016, (6), 22–23. ISSN 1210-9592.

Petr Bartošík




DREAMland PLC


CELOSVĚTOVÝ DODAVATEL
PRŮMYSLVÉ AUTOMATIZACE




**PRODEJ
PRŮMYSLVÉ
AUTOMATIZACE**



**OPRAVY
A DIAGNOSTIKA
AUTOMATIZACE**



**ODKUP
A LIKVIDACE
TECHNOLOGIE**



**VÝROBA
JEDNOÚČELOVÝCH
STROJŮ**

www.DREAMland-plc.cz

