

ROSTOUCÍ TREND ROBOTIZACE PŘINÁŠÍ I NOVÉ OTÁZKY OHLEDNĚ BEZPEČNOSTI

Může být robotické pracoviště bezpečné?

Nahrazování lidské práce stroji má rostoucí tendenci i proto, že díky novým sensorům a funkcím mohou roboty realizovat čím dál složitější úlohy. Intenzivní robotizace je logickým důsledkem technologického rozvoje a zároveň nedostatku pracovních sil. Ve firmách se používají samostatně pracující konvenční průmyslové roboty a stále častěji i koboty, které pracují po boku lidí ve výrobě s cílem převzít obtížné operace. Ještě však nejsme ve fázi, kdy by bylo možné člověka z výrobního procesu úplně vyloučit, a proto hraje důležitou roli ochrana bezpečnosti a zdraví osob při práci.

Robotika proniká do všech sfér našeho života, vazby mezi strojem a člověkem se zužují a je nutné, aby se člověk s robotem domluvil, aby spolu dokázali komunikovat a spolupracovat, aby si nepřekáželi, aby si naopak vycházeli vstříc a uměli využít synergických efektů. O robotické bezpečnosti, o prevenci nebezpečných kolizí a ochraně zdraví lidí na pracovištích vybavených roboty jsme hovořili z Ing. Jaroslavem Antošem ze společnosti VÚTS Liberec.

Průmyslové roboty mohou mít nosnost více než 2 t s dosahem až několika desítek metrů v případě použití sedmé (lineární) osy a tyto parametry, v kombinaci s vysokou rychlostí a nemalými točivými momenty jednotlivých os, jsou potenciálním rizikem. Nebezpečí je navíc zvýšeno použitím technologií na chapadle s ostrými hranami, oslňujícími paprsky blesku, měřicími lasery, svářecími hořáky nebo lakovacími hlavami.

Především ty neočekávané a nestandardní. Paradoxně se nemusí jednat o učení robotu, kdy je s ním programátor v přímém kontaktu, protože musí k němu do klece a definovat těžko přístupné polohové body s přesností na tisíce milimetrů. Povinností je zde přepnout řízení robotu bezpečnostním klíčkem do „učicího“ režimu, kdy se omezí rychlost robotu do 250 mm/s bez ohledu na příkazy v programu. Po celou dobu pohybu je nutné držet tlačítko s výstřihem názvem „mrtvý muž“, které má tři polohy: volno, stisknuto a promáčknuto. První poloha uvede robot do pohybu, druhá ho zastaví v případě, že je chyba v programu a robot pojedede neočekávaně jiným směrem do blízkosti člověka. Třetí reaguje na nepřiměřeně silný stisk tak, že robot zastaví. To je pro případ, že člověk reaguje nestandardně, třeba když se lekne a dostane křeč do ruky. Bylo totiž zjištěno, že v krizových situacích existují dvě možné reakce lidí: jedni ruku křečovitě stisknou a druhí ji naopak pustí. Na takovou situaci ale jsou programátoři připraveni.

Nečekaná, nestandardní, a tudíž nebezpečná situace může v provozu nastat například, když při noční směně výrobní linky dojde ke kolizi a linku s robotem je nutné rychle zprovoznit. Telefonická ani technická podpora není dostupná a operátor je v daný okamžik sám. V takové situaci se může rozhodnout pro neodborný servis bez spolupráce a nedodržení servisního postupu na provoz robotu. Ten může být velmi horký nebo se neočekávaně opět rozjet plnou rychlostí i v otevřené kleci. Taková situace je nebezpečná, a měla by proto být ošetřena a zahrnuta do analýzy rizik.

Další situací může být nepozornost obsluhy při práci. V sériové výrobě může dojít k tomu, že obsluha sice potvrdí tlačítkem, že dala proklad do krabice, ale v realu se tak nestalo a dojde ke kolizi.

Jak tedy můžeme bezpečnost robotů zvýšit?

Pokud někdo uvažuje o stavbě robotického pracoviště, je důležité si všechny základní otázky týkající se bezpečnosti zodpovědět už v rané fázi projektu. A to nejlépe v době, kdy je k dispozici zadání aplikace a základní koncept uspořádání jednotlivých částí pracoviště, buňky nebo výrobní linky. V tu dobu je ideální hledat řešení a opatření, která umožní postavit cenově efektivní, produktivní a zároveň bezpečnou aplikaci.

Standardním nástrojem, který ale obvykle nepoužívají kolaborativní roboty, je bezpečnostní klec. Ta v dnešní době neznamená pouze plot, ale kombinaci dveří s bezpečnostními elektronickými zámky, optickými branami, nášlapnými rohožemi, 3D scannery pohybu a také ucelenými bezpečnostními softwarovými systémy. Výrobci průmyslových robotů nabízejí jako doplňkové opce bezpečnostní systé-

my, které definují kombinaci pracovních a zakázaných prostorů. Tyto zóny mají tvar podobný ochranným klecím a v případě kontaktu robotické obálky s hranicí této zóny dojde k definované akci, například ke snížení rychlosti nebo k zastavení.

Vysoká bezpečnost je zajištěna také díky funkci predikce zastavení, kdy je robot schopen spočítat polohu, ve které musí začít brzdit tak, aby se zastavil na hranici povoleného prostoru. Díky této funkci nedojde k překročení hranice pracovní nebo zakázané zóny. Kromě sledování polohy robotu je možné sledovat i maximální rychlost středu nástroje nebo jednotlivých kloubů. Takovýto systém doplněný o bezpečnostní vstupy a výstupy je moderní nástroj na zajištění vysoké úrovně bezpečnosti.

Takže oplocení může být i digitální; co si pod tím máme představit?

Jedním ze základních a dnes běžných bezpečnostních prvků je optická brána. Díky vysílači a přijímači se vytvoří laserová bariéra, a pokud do ní člověk



Ing. Jaroslav Antoš, VÚTS Liberec

dává do krabice výrobky, ale potřebuje člověka k dodání prokladů, které robot nezvládne.

Dalším nástrojem snížení rizik je 3D simulátor. Díky němu můžeme zkontrolovat kolize nejen statické, ale i dynamické, které mohou nastat během většiny plánovaných operací. Robot

„Ve finálním provozu jsou roboty ovládány většinou automaticky. To znamená, že jezdí samy podle naprogramované procedury a nikdo u nich nemusí stát a mačkat tlačítko. Zákazník dostane takový robot i s obslužným softwarem s aktivovanými bezpečnostními prvky. Získá přístupové právo k účtu a zadá si, co potřebuje.“

nechtíc pronikne, robot se automaticky zastaví. Dojde k automatickému stopu, kategorie 0 – 0.

Optická brána se používá na pracovištích, kde je potřeba spolupráce člověka a robotu. Mechanickou zábranou, klecí nebo plotem, člověk neprojde, někdy je ale potřeba, aby do určitého prostoru měl přístup robot i člověk, nikoliv však ve stejný okamžik. To se dělá tak, že zmenšíme pracovní prostor robotu na úroveň optické brány, čímž

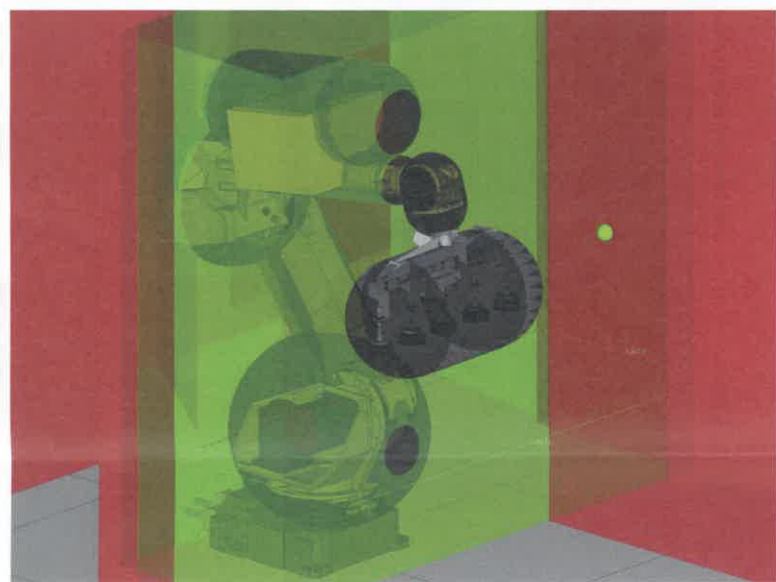
i s chapadlem, které má různorodý tvar, obalíme neviditelnou pohyblivou obálkou. Ta je vlastně součástí robotu. Výpočetně vychází nejlépe „tvar pilulky“, to jsou v podstatě dva body v prostoru a definovaný průměr. Pomocí dat pak robot naučíme, v jakém prostoru se může pohybovat. Výhodou je, že mohou při instalaci robotu na finální pracoviště neviditelnou obálku zvětšit, pokud by se chapadlo robotu dostalo mimo vymezený pro-



Značky-piktogramy na robotickém pracovišti

člověka pustíme blíž k robotu. Pokud ji však přeruší, dojde k zastavení robotu „na brzdy“. Ve chvílích, kdy jsou zavřené dveře a tlačítkem potvrzeno, že není člověk uvnitř, může robot využít celý prostor, tedy i za hranicemi deaktivované optické brány. Tím je zajištěna například situace, kdy robot

stor. Samozřejmostí je implementace překážek v CAD souborech. Takový nástroj odhalí kolize mezi robotem a okolím. Také pomůže naplánovat celou sekvenci s ohledem na periferie, jako jsou například dopravníky nebo palety. Simulátor přispěje také k lepší analýze rizik tím, že integrátor robo-



Simulace – neviditelná obálka, která chrání robot před kolizí s ochrannou klecí

rec, který se ve svém výzkumu zabývá zdokonalením robotického pracoviště tak, aby se nebezpečným kolizím zabránilo. „Roboty přinášejí řadu výhod, ale také určitá rizika,“ říká a zdůrazňuje, že trend robotizace přináší i nové otázky ohledně bezpečnosti.

Co všechno robotická bezpečnost zahrnuje?

Jedná se o ochranu zdraví lidí a prevenci poškození strojů. Včasnou analýzou rizik můžeme zajistit příjemnější, méně stresující pracovní prostředí a méně prostojů v místech, kde jsou použity průmyslové roboty. Na bezpečnost se můžeme dívat ze dvou úhlů.

Ten první je bezpečnost mezi strojem a člověkem. To znamená zajištění nežádoucích kontaktů mezi průmyslovým robotem a jednotlivými částmi lidského těla. Musíme si uvědomit, že

Druhým úhlem pohledu na bezpečnost je kontakt mezi strojem a člověkem. Zde už nedochází k přímému ohrožení člověka, ale může dojít ke kolizi mezi robotem a periferiemi, které jsou okolo něj. To jsou například dopravníky, palety, ploty, přírodní technologie, výrobky, ale také další roboty, které mají sdílený pracovní prostor. I tento pohled přináší rizika narušení bezpečnosti člověka, například servisního technika, který musí danou kolizi vyřešit.

Robot dokáže člověku pomoci na základě velmi sofistikovaných signálů a algoritmů. Interakce mezi roboty a lidmi je aktuální, zajímavá a mezioborová problematika, ale nemůže se řešit na úkor bezpečnosti.

Jaké situace jsou na robotických pracovištích nejvíce nebezpečné?



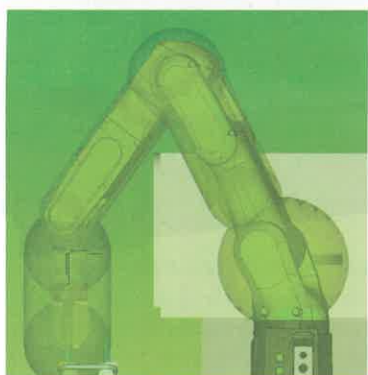
Víceúčelové chapadlo, které musí být chráněno před kolizí

tických stanic si lépe představí rizikové situace a kombinace v komplikovaných úlohách již ve fázi jejich návrhu, a díky tomu jim předejde.

Člověk se tedy může v prostoru pohybovat jen tak, aby nepřerušil tu optickou bránu. Ta nám také umožní vytvoření další zóny, takže k již standardní pracovní a zakázané zóně máme třetí, zpomalovací. Protože máme často malý a členitý prostor a nelze přesně definovat každé místo, kde bude robot pracovat, tak volíme kompromis: matematicky vytvoříme větší prostor a do něj přidáme třetí zpomalovací zónu. Tak se dostáváme z hlediska bezpečnosti do situace, že robot je sice od místa, kde pracuje člověk, oddělen optickou branou, ale pokud se už dostal do blízkosti zakázané zóny, výrazně zpomalí, čímž zabrání kolizi v případě, že člověk optickou bránu přerušil v rizikové vzdálenosti. Díky tomu se člověk s robotem nestřetne, protože se už pohybuje pomalu a stihne zastavit.

■ VÚTS se zaměřuje také na integraci robotů. Jak zajišťujete jejich bezpečnost; můžete uvést konkrétní příklad?

Koncem minulého roku jsme na zakázku pro sklářský průmysl vyvinuli a předali zákazníkovi robot na leštění skla v mikroskopech. Jednalo se o kompaktní řešení, kde je standardní průmyslový robot usazen napevno v kleci, plní jeden z kroků ve výrobním procesu a výrazně ulehčuje ruční leštění, při kterém měla obsluha problém s karpálními tunely. Při instalaci ho bylo potřeba trochu „doladit“. Museli jsme silový (force) senzor připravit na to, že robot bude leštit pod určitým tlakem a v daném směru. Robot tak získal „cit“, který má obsluha v ruce, ale z hlediska bezpečnosti se jedná o permanentní kolizi, která byla omezena pouze do určitého povoleného limitu.



Simulace robotické obálky s force senzorem a kontrola dosahů

Prevencí nebezpečných kolizí jsme se zabývali také například při konstrukci linky pro sériovou výrobu vzduchových filtrů pro brzdový systém nákladních automobilů. Tady je důležitou operací vyzvednutí a odložení čtyř vyprázdňených krabic od polotovarů z montážního prostoru, kterou je nutné z důvodu předepsaného výrobního taktu provést v jednom kroku. Vyprázdňené krabice však nelze aretovat, a není tedy možné definovat předem jejich polohu. Proto jsme implementovali specializovaný kamerový systém, který odhalí různé polohy a tvary palet. Vysoký požadavek na výrobní takt a omezení pohybu robotu byly důvodem, proč zabudovaný vision systém snímá pouze jednu paletu z možných. To vedlo k nebezpečným kolizím mezi chapadlem robotu a odebíranými krabicemi. Zdokonalení robotického pracoviště z hlediska bezpečnosti spočívalo v doplnění pracoviště inspekčními optickými branami, implementací speciálních algoritmů do systému robotu, nadřazeného řídicího systému výrobní linky a vizualizace HMI. Při aktualizaci jsme brali ohled na vysoké

bezpečnostní standardy a požadavky automobilového průmyslu.

■ A bezpečnost u vás při vývoji?

Přestože se předpokládá, že na laboratorní pracoviště nepříjde nikdo neočekávaně, nemůžeme si dovolit bezpečnostní prvky zcela ignorovat. V rámci výzkumu je však můžeme zjednodušit.

Uvedu příklad: kolega Jan Hochman pracuje s robotem, který je naprogramován na výrobu formy dílu pro vrtulník a broušení trupu kluzáků. Po-



Automatický mód robotického pracoviště

dle modelu vytyčil robotu softwarově mantinely, za které nepojede. Když robot dosáhne hranice vytyčeného prostoru, zastaví se. Ovládá ho manuálně a samozřejmě má k dispozici bezpečnostní tlačítko „mrtvý muž“. Robot váží tunu a nosnost na konci ramene činí 60 kg. Je tedy nutné předejít nejen střetu s člověkem, ale i poškození nástroje nebo obráběného objektu. Software je dostatečně bezpečný pro laboratorní pracoviště, ale pro plný provoz jsou kritéria přísnější.

Ve finálním provozu jsou roboty ovládány většinou automaticky. To znamená, že jezdí samy podle naprogramované procedury a nikdo u nich nemusí stát a mačkat tlačítko. Zákazník dostane takový robot i s obslužným softwarem s aktivovanými bezpečnostními prvky. Získá přístupové právo k účtu a zadá si, co potřebuje. Finální pracoviště musí být navíc vybaveno snímačem a optickým čidlem a zábranami – ať už mechanickými, nebo digitálními. Když robot přijede k tomu optickému čidlu na 4 m, zpomalí, a pokud se přiblíží ještě víc, zastaví.

K úrazům při práci s roboty dochází nejčastěji během nestandardních pracovních podmínek. Například když operátor dočasně vstoupí do ochranné zóny kvůli programování, testování, údržbě nebo nastavení robotu. K tomu, aby byla bezpečnost práce s roboty na pracovištích zajištěna co nejlépe, nestačí pouhé jasné vymezení bezpečnostní zóny kolem robotu, ale právě také tlačítka pro jeho okamžitě zastavení.

■ Na čem nyní pracujete?

Máme novou poptávku: vyřešit problém automatické výměny cívek na tkacím stroji, která by obsluhu ulehčila namáhavou práci. Jsme v počáteční fázi vývoje systému a chceme využít nového trendu v logistice, což jsou AGV vozíky osazené kolaborativními roboty. Zde řešíme bezpečnost z hlediska kolaborativního chapadla. Jde o to, že samotný robot je sice bezpečný, ale když na něj přiděláme ostré chapadlo, přestává být kolaborativní. Už v této první fázi, kdy kontaktujeme výrobce, se zaručujeme bezpečnostními prvky: robot musí jezdit pomalu, pohybovat se s malou silou a chapadla

nesmějí být ostrá. Také musí umět monitorovat okolí, aby se před překážkou zastavil. Dále musíme vyřešit životnost baterie mobilního vozíku, aby vydržel pracovat minimálně osmihodinovou směnu.

■ Myslí na bezpečnost robotických pracovišť i legislativa?

Každé robotické pracoviště uváděné do provozu musí projít procesem pro zajištění shody s platnou evropskou legislativou.

Důležitým nástrojem je dodržování mezinárodní bezpečnostní normy ČSN EN ISO 10218-1 Roboty a robotická zařízení. Byla schválena v roce 2012 a obsahuje požadavky na bezpečnost průmyslových robotů, popisuje základní nebezpečí spojená s roboty a definuje požadavky k jejich eliminaci nebo přiměřenému omezení rizik spojených s těmito nebezpečími (zdroj: factoryautomation.cz a technicke-normy-csn.cz). Norma je doplněna seznamem (tabulkou) možných rizik, který člověku pomůže domyslet další situace.

Je v něm například uvedeno, že stabilní nebo nestabilní dodávky energie nesmí způsobit nebezpečí, že barva indikačního světla musí splňovat požadavky normy, stav ovladačů musí být jasně indikován apod. Taková tabulka pomáhá představit si možné kritické situace, ke kterým může dojít a ke kterým dochází.

Mohu uvést konkrétní příklad, kdy bylo špatně umístěno tlačítko, a v důsledku toho pak logistika vozíkem narážela do tlačítka a byla nutná úprava.

S uživatelem už ve fázi simulace řešíme rizika v obecné rovině i možná rizika v konkrétním specifickém prostoru. Někdy se však stane, že se simulace od reality liší, to když je určitý díl v realu přichycen jinak nebo, jak se nám stalo, obsluha dala vozík z druhé strany. Robot vyfotil stranu bez vozíku a kolize byla na spadnutí. Ne všechny rizikové situace odhadneme ve fázi vývoje a musíme je řešit až na místě při instalaci.

Samozřejmě že norma sama o sobě nikoho neochrání, ale její dodržování a dodržování technologické kázně patří mezi základní povinnosti. Jen tak lze zvýšit bezpečnost robotických pracovišť napříč hranicemi jednotlivých států. V automatizovaných provozech je v ideálním případě pro návrh a dodržování pravidel vyhrazen kvalifikovaný pracovník, který se orientuje v předpisech i v praxi.

S dodržováním platné normy souvisí bohužel opomíjený nástroj zvýšení bezpečnosti práce, a to jsou čitelné a jasné symboly a značky. Už jsem se setkal s tím, že symboly, třeba „potvrdit“ nebo „otevřeno“ či „zavřeno“, byly na tlačítku nejasné. Člověk ponořený do práce může taková tlačítka poplést a způsobit komplikace. Ještě riziko-



Verifikace force senzoru pro sklářský průmysl

větší je, když jsou symboly nejasné na obrazovce, jejímž prostřednictvím robot komunikuje s člověkem. Z osobní zkušenosti mohu potvrdit, že když se zakryje slovní výklad grafických značek, hodně lidí neví, co který symbol znamená. Tyto zdánlivě a často opomíjené drobnosti mohou být v konkrétní situaci pro bezpečnost dost zásadní. Proto je tak důležité pravidelné školení obsluhy, která použitým značkám a symbolům dobře rozumí. Tyto informace nemají hlavní účel omezovat obsluhu, ale především chránit její bezpečnost a zdraví při práci a předcházet nehodám. Značky musí být v době viditelné, čitelné a jednoznačné.

Tlačítka bezpečného zastavení musí být na normou definovaných místech, kde jsou v dosahu, ale zároveň chráněna před nechtěným stisknutím, například vysokým vozíkem. Také srozumitelný servisní návod musí být vždy po ruce. Je potřeba počítat s tím, že ho budou číst lidé, kteří robot nevyvíjeli a budou ho jen obsluhovat. Určitě mi ale dá řada lidí za pravdu, že prokousat se návodem je někdy o nervy. V návodu navíc často nebývají uváděny informace, kdo a v jakém rozsahu může zasahovat do řídicího softwaru zařízení (PLC).

■ Máte osobní zkušenosti s nebezpečnými situacemi na robotickém pracovišti?

Viděl jsem na videu záběry smrtelných úrazů způsobených porušením bezpečnostních zásad. Osobně mohu potvrdit důležitost tlačítka „dead man“. Když jsem ve fázi učení programoval robot v realu, najednou jsem zjistil, že mě něco šimrá na krku. Já jsem v zápalu práce sjel robotickým ramenem dolů a ostrý plech se dotkl mého krku. Zmáčknutím tlačítka jsem ho zastavil.

Také se mi stalo, že robot, který měl chybu v sekvenci pořadí programů, jež na sebe navazovaly, a ještě nebyla v této vývojové fázi dokončena DCS [dual check safety – inteligentní integrované softwarové řešení zajišťující

bezpečnost obsluhy, robotů i nástrojů – pozn. red.], jel proti mně celý plot. Byla to opravdu nebezpečná situace.

Takové zkušenosti jsou nepřenositelné, ale z vlastních zkušeností potvrzuji, že bezpečnost je opravdu důležitá. Vývoj a technologie jdou dopředu a bezpečnosti musíme věnovat minimálně stejnou pozornost jako technologiím. I s malým předstihem a pozorností můžeme předejít velkému neštěstí.

■ Takže závěrečná otázka. Může být robotické pracoviště opravdu bezpečné?

Určitě, za podmínky použití dostupných nástrojů ke snížení rizik, počínaje dodržováním norem až po sofistikované bezpečnostní systémy.

Důležitá je také prediktivní údržba, protože robot se hýbe a opotřebovává se, povolují se šrouby nebo se něco posunuje. V podstatě ale výrobci robotů počítají se servisními periodickými zásahy, robot si sám spočítá, kolik času naběhal, kolikrát se která osa hýbala a na displeji oznámí, že je čas údržby. Výsledkem tak může být robotické pracoviště, ve kterém jsou dopředu i během provozu analyzována a neustále snižována rizika poškození zdraví a ochrana zařízení.

I když úsilí a investice do zvýšení bezpečnosti nemusí být malé, přináší již zmíněné benefity v podobě bezpečnějších a méně stresujících pracovišť i snižování prostojů ve výrobě.

Bohužel, někdy bývá bezpečnost až na posledním místě, a řeší se, až když se něco stane. Otázkám bezpečnosti se však musíte věnovat už od začátku.

Samozřejmě že všechny rizikové situace nemůžeme předpokládat, ale můžeme rizika podstatně eliminovat. Navzdory rizikům spojených s nároky na takt sériových linek nebo i jednoúčelových pracovišť a přes možné kombinace situací, ke kterým může dojít, může být tedy robotické pracoviště bezpečné.

Jaroslava Kočárková



Robotické broušení s force senzorem

