

Vývoj strojů a technologií s lepšími užitnými vlastnostmi

Projekt Centrum kompetence Strojírenská výrobní technika (CK-SVT) je největší projekt aplikovaného výzkumu v oboru výrobní techniky, který je aktuálně v České republice řešen. Partneři projektu jsou tři největší české technické univerzity, České vysoké učení technické v Praze, Vysoké učení technické v Brně a Západočeská univerzita v Plzni společně se sedmi předními výrobci obráběcích a tvářecích strojů v České republice, kterými jsou TAJMAC-ZPS, a.s., KOVOŠVIT MAS, a.s., TOS VARNSDORF, a.s., TOS KUŘIM, a.s., Škoda Machine Tool, a.s., TOSHULIN, a.s. a Šmeral Brno, a.s.

Ing. Jan Smolík, Ph.D. a Ing. Petr Kolář, Ph.D., RCMT

Projekt přijatý k realizaci v letech 2012 až 2019 je spolufinancován ze státního rozpočtu prostřednictvím Technologické agentury České republiky. Zaměřuje se na orientovaný („základní oborový“) výzkum v oboru strojírenské výrobní techniky a na aplikaci výsledků tohoto výzkumu na konkrétní firemní řešení. Hlavním cílem projektu je zvyšování konkurenceschopnosti konsorciálních firem prostřednictvím zlepšování šesti hlavních technických užitných vlastností strojů a technologií: přesnosti, jakosti, produktivity, spolehlivosti, hospodárnosti a minimalizace dopadu na životní prostředí.

V současné době má projekt za sebou téměř dvě třetiny období svého řešení. Na konci roku 2016 bylo dosaženo celkem 42 závazných výsledků, přičemž více než čtvrtina výsledků je již využívána v praxi. Další výsledky se do fáze praktického nasazení budou dostávat průběžně v dalších letech. Výsledky projektu jsou uplatněny ve všech oblastech vývoje, realizace a provozu vyvíjených obráběcích a tvářecích strojů.

Vybrané výsledky v oblasti vývoje obráběcích strojů

Třemi hlavními technickými požadavky na obráběcí stroje je vysoká tuhost, malá hmotnost a dobré tlumení. Tyto parametry jsou

základem pro dosažení vysoké produktivity při obrábění. V projektu CK-SVT je naplnění těchto požadavků sledováno ve třech pracovních balíčcích s uplatněním odlišných vývojových metod. Prvním přístupem jsou pokročilé strukturální a teplotně-strukturální optimalizace dílců nosných struktur. Uplatnění pokročilých matematických metod umožňuje rychle hledat efektivní rozmístění materiálu v konstrukčním prostoru stroje tak, aby došlo k maximalizaci statické tuhosti v definovaném místě, minimalizaci hmotnosti a maximalizaci vlastních frekvencí. Metody umožňují i optimalizaci stroje na určitý průběh dynamické poddajnosti (hodnoty tlumení jsou však při výpočtu pouze odhadnuty). V tomto případě je struktura stroje optimalizována již přímo na konkrétní definovanou technologii obrábění.

Konkrétním výsledkem uplatnění těchto metod je strukturální optimalizace dílců nosné struktury strojů řady FRF z produkce TOS KUŘIM, a.s., nebo návrh nosné struktury nové horizontky velikosti 110 představené počátkem dubna firmou TOS VARNSDORF, a.s.

Jiným příkladem uplatnění strukturální optimalizace v kombinaci s modelováním hydrostatického vedení byl vývoj těžkého otočného stolu na přesuvných saních TDV 50 z produkce Škoda Machine Tool, a.s.

Na nosné struktuře se podařilo ve srovnání s předchozí generací stolu ušetřit 15 % materiálu při zachování nosnosti a tuhosti stolu.

Druhým přístupem je zvyšování tlumení nosných struktur. Z pohledu vývoje nového stroje je významné použití hybridních struktur neboli kombinace několika typů materiálů v konstrukci. V zásadě se jedná o základní litinové odlitky nebo ocelové svařence vyplněné strukturami z částicových nebo vláknových kompozitů. Výběr vhodných typů materiálů, jejich modelování, hledání možností realizace spojování odlišných materiálů a také celková strategie jejich efektivního uplatnění z technického i finančního hlediska patří k hlavním úkolům orientovaného výzkumu v projektu.

Nasazení získaných poznatků vedlo ke konkrétním realizovaným výsledkům. Ve spolupráci s firmou Škoda Machine Tool, a.s. byl realizován na zákaznickém stroji pohon kuličkovým šroubem vertikální osy Y se zdvihem 6 500 mm, jehož jádro bylo odvrtno a naplněno částicemi jiného materiálu. Výsledkem těchto opatření byl posun kritických otáček kuličkového šroubu, který umožnil navýšit maximální posuvovou rychlost osy na zákazníkem požadovaných 20 m/min. Bez těchto opatření by byly kritické otáčky omezeny tak, že by posuvová rychlost byla nejvýše 8 m/min.

Jiným příkladem realizovaných hybridních struktur je smykadlo stroje 7032 firmy TAJMAC-ZPS, a.s. Výpočtově optimalizovaná kompozitová výtěž vlepená do litinového vnějšího pláště, který zajišťuje ochranu kompozitu a současně je rozhraním pro připojení dalších konstrukčních prvků, snížila na samotném dílci smykadla dynamickou poddajnost až čtyřikrát ve srovnání se stejným litinovým dílcem. Přínos na celém smontovaném stroji je o něco menší z důvodu vlivu dalších dílců a rozhraní v konstrukci stroje. Při testech však bylo dosaženo zvýšení produktivity obrábění.

Jiným přístupem ke zvýšení tlumení mechanických struktur strojů jsou dodatečné aplikace aktivních hltičů. Společně s firmou TOSHULIN, a.s. byl vyvinut a otestován prototyp soustružnického adaptéru s jednoosým hltičem. Výhodou navrženého řešení je schopnost řídicích algoritmů hltiče tlumit dvě vybrané vlastní frekvence a současně reagovat na jejich změnu v závislosti na vysunutí smykadla. Testy na stroji ukázaly, že hlcení kmitů ve směru Y (tangenciální směr z pohledu obrábění) snižuje dynamickou poddajnost cca o 30 % na obou sledovaných frekvencích. Hltič je nyní připravován pro nasazení na dalších řadách karuselů TOSHULIN, a.s., což s sebou nese nutné změny připojovacího rozhraní na jiné typy smykadel.

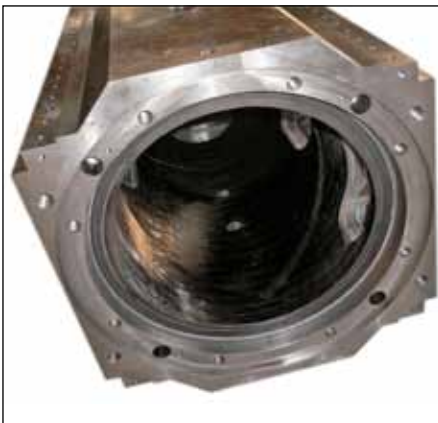




Obr 1: Otočný stůl TVD50 firmy Škoda Machine Tool, a.s. s optimalizovanou strukturou a hydrostatickým vedením

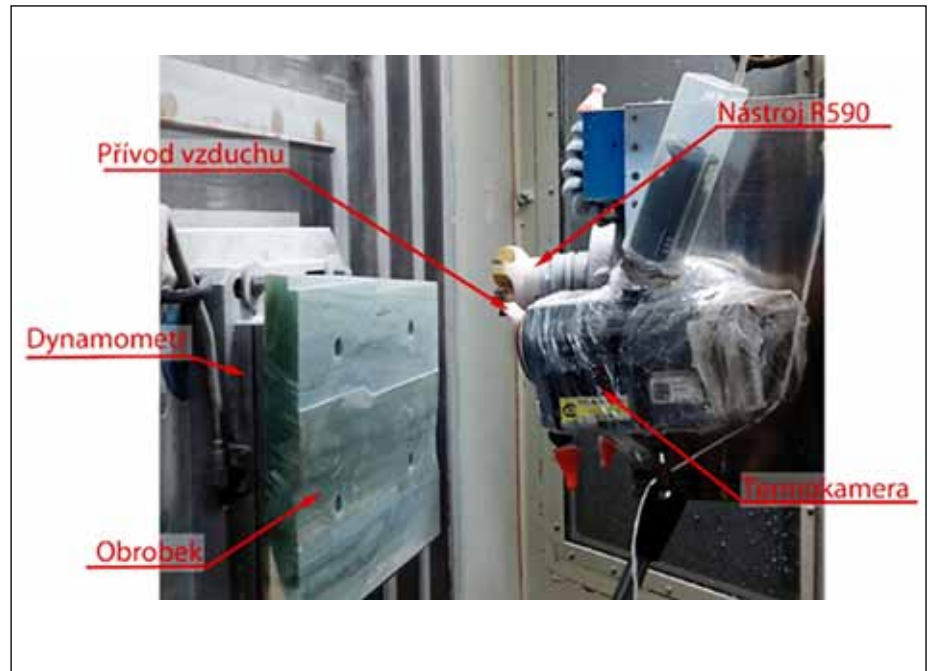


Obr 2: Soustružnický adaptér s integrovaným hltičem na karuselu firmy TOSHULIN, a.s.



Obr 3: Hybridní smykadlo stroje 7032 firmy TAJMAC-ZPS, a.s. s litinovým pláštěm a kompozitovou výztuhou

Obr 4: Ukázka experimentálního posuzování vlivu řezných parametrů a strategie obrábění při obrábění kompozitu GFK. Za povšimnutí stojí extrémní prašnost při obrábění tohoto materiálu na sucho.



Vybrané výsledky v oblasti vývoje obráběcích technologií

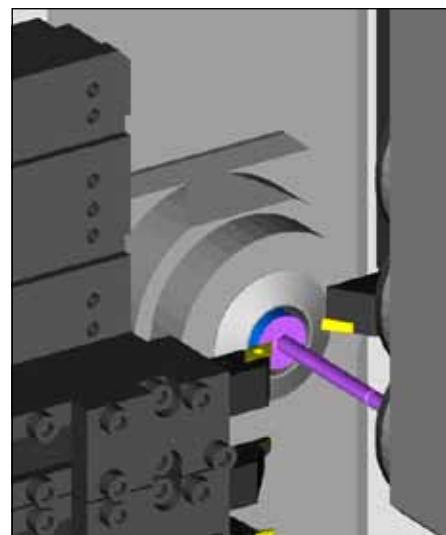
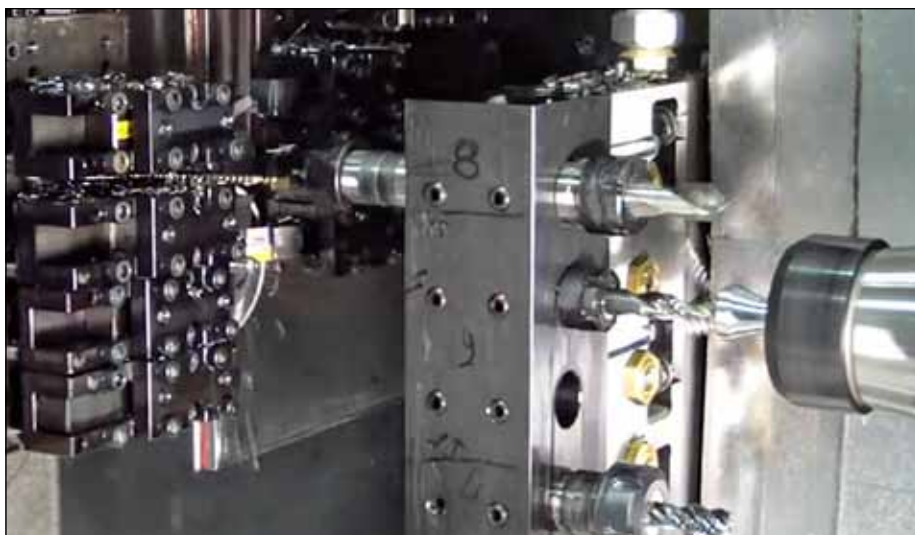
Výše uvedené příklady jsou ukázkami toho, jak se výrobci strojů snaží zvýšit produktivitu pomocí vhodného návrhu a realizace stroje. Uživatel stroje samozřejmě již nemůže zasahovat do jeho konstrukce a obvykle ani do jeho softwarového vybavení. Pro zvyšování produktivity obrábění má však širokou paletu jiných možností, především v oblasti volby nástrojů, řezných podmínek, řezného prostředí a při přípravě NC kódu.

Příkladem zvýšení produktivity vhodnou volbou řezných podmínek a řezného prostředí je obrábění kompozitů. Podíl aplikací kompozitů v konstrukci všech typů produktů roste. Obrábění často zůstává poslední operací, která dává dílci konečný tvar a přesné rozměry. Kompozitní materiály mají obecně různé typy a kombinace materiálů matrice a výztužných vláken, což zvyšuje náročnost volby vhodných řezných podmínek a strategie obrábění. **Ve spolupráci s firmou Škoda Machine Tool, a.s. byla provedena analýza technologie**

frézování kompozitu označeného GFK-termosetového kompozitu vyztuženého aramidovými vlákny. Klíčovým požadavkem koncového zákazníka bylo suché obrábění. Hledanými výstupy byla vhodná kombinace řezných podmínek pro zajištění minimálních otřepů, dobré jakosti povrchu, malého teplotního ovlivnění dílce a snížení řezných sil zatěžujících stroj i obrobek. Z mnoha provedených experimentů frézování vysokorychlostní frézou s PCD břity bylo patrné, že pro minimalizaci velikosti otřepu je nutno použít menší posuv na zub (0,05 mm). Produktivitu lze zvýšit použitím vysokých řezných rychlostí (úspěšně byly otestovány rychlosti až 600 m/min). S řeznou rychlostí roste ale také teplota na povrchu dílce. Pro snížení tohoto nepříznivého jevu se ukázal velmi efektivní ofuk místa řezu standardním tlakovým (případně podchlazeným) vzduchem a použití nesouřadného frézování. Řezná síla je významně ovlivněna orientací vláken. Nárůst může být až o 100 % při obrábění podél vláken. Také zde se ukazuje efektivní strategie malých posuvů

na zub a velkých řezných rychlostí. Orientace vláken naopak nemá na teplotu obrábění vliv. S využitím těchto zkušeností byla konečná zákaznická aplikace optimalizována pro dosažení vyšší produktivity obrábění a požadované kvality povrchu dílce.

Vysokotlaké chlazení řeznou emulzí při obrábění odlitků bylo testováno společně s firmou TOS VARNSDORF, a.s. na stroji WHTEC 130 vybaveném agregátem ChipBlaster GV-20. Vysokotlaké chlazení řezného procesu je alternativa vedoucí ke zvyšování produktivity a hospodárnosti obrábění. Podmínkou však je správná volba a nastavení důležitých parametrů, jako je způsob dodávání, tlak a průtok kapaliny v místě výstupu z řezného nástroje. Nedostatečný tlak a objem procesní kapaliny na břitu nástroje nevedou k výraznějšímu zlepšení procesu. Příliš vysoké hodnoty parametrů již obráběcí proces dále nezefektivňují, ale naopak zvyšují energetickou náročnost a v konečném důsledku představují i nemalý dodatečný náklad na stavbu a provoz stroje. Optimum parametrů se však mění podle



Obr. 5. Pracovní prostor dlouhotočného automatu Manurhin ze společnosti TAJMAC-ZPS Zlín, a.s. a ukázka virtuálního simulačního modelu stroje.

konkrétního stroje a jeho rozvodů procesní kapaliny, materiálu obrobku, řezných podmínek a použitého řezného nástroje.

Výstupem testů prováděných na dvou vybraných typických dílcích byla proto doporučení pro nastavení parametrů vysokotlakého chlazení (tlak a průtok) pro různé typy nástrojů. Tato doporučení byla parametricky závislá na geometrické charakteristice obráběného prvku (například vliv průměru a hloubky vrtaného otvoru). Pro zjednodušení přípravy technologie byla navržena implementace volby chlazení do postprocesoru generujícího NC program z CAM, aby nemohlo docházet k chybám předpisu chlazení. Aplikací souboru doporučení tak došlo ke zvýšení efektivity obrábění.

Další možností, jak zvýšit produktivitu, je uplatnění vhodných SW prostředků při přípravě, optimalizaci a verifikaci NC kódu. To má význam především u multifunkčních strojů, které integrují v pracovním prostoru několik druhů třískových technologií. Ty vyžadují pokročilejší nástroje pro přípravu NC kódu a jeho verifikaci. Vzhledem k realizaci odlišných druhů technologií je nutno vyvíjet pro tyto typy strojů nestandardní softwarová řešení.

Do této oblasti patří vyvinutý postprocesor s rozšířenou technologickou funkcí pro stroj MCU700VT-5X firmy KOVOSVIT MAS. Jedná se o multifunkční pětiosé centrum s otočně sklopným stolem. Postprocesor má mimo jiné vytvořenu speciální funkci pro generování víceosých soustružnických operací se souvislým řízením naklápěcí osy. To umožňuje technologovi realizovat soustružení v různých polohách naklopení obrobku, včetně přístupu do míst, která by byla při standardním (dvuosém) soustružení s daným nožem nepřístupná. Postprocesor je dále doplněn o funkci automatického rozpoznání dráhy nástroje s nutností použití cyklu 800 pro polohování rotačních os stroje a víceosé dráhy nástroje, kdy je zapotřebí použít funkci TRAORI. Dále byl implementován technologický modul pro korekci

posuvové rychlosti. Ten umožňuje dodržet požadovanou hodnotu posuvové rychlosti nástroje vůči obrobku. Nasazení postprocesoru umožňuje připravit dráhy nástroje tak, aby nedocházelo k nerovnoměrnému zatěžování břitu řezného nástroje a bylo dosaženo zvýšení kvality obrobku (ve smyslu tvarové přesnosti i drsnosti povrchu) především v místech, kde se relativní rychlost mezi nástrojem a obrobkem blíží nule. **Vyvinutý postprocesor tak představuje komplexní řešení pro úplné využití možností uvedeného multifunkčního centra.**

Jiným příkladem komplexního multifunkčního stroje jsou dlouhotočné automaty Manurhin firmy TAJMAC-ZPS, a.s. V tomto případě je nutno pro dosažení vysoké produktivity vhodně zvolit nástrojové osazení suportů a nájezdy nástrojů do záběru tak, aby nedošlo ke kolizím a současně byly minimalizovány neaktivní časy řezu. Vzhledem k omezenému prostoru je právě vysoké riziko kolize klíčovým parametrem limitujícím zkracování vedlejších časů. **Pro tento typ strojů byl vyvinut speciální software pro antikolizní kontrolu a optimalizaci NC programování.** Software umožňuje realizovat efektivní ruční tvorbu programů. Zadané NC věty jsou bezprostředně spuštěny na virtuálním stroji, což umožňuje prověřit riziko kolizí, sledovat aktivní využití nástrojů v řezu i posuzovat volbu řezných podmínek. Základem softwaru je virtuální model stroje a simulace úběru materiálu s průběžnou kontrolou kolizí a detekcí aktivních a neaktivních časů řezu. Pracovní prostor stroje je reprezentován kinematickým modelem, v němž jsou definovány pohybové suporty, vyměnitelné držáky nástrojů a nástroje. Pohyb jednotlivých pohybových skupin je řízen na základě odbavení NC kódu zapisovaného přímo v prostředí vyvinutého software.

Další výhledy

Projekt CK-SVT bude pokračovat v řešení dalších výzkumně-vývojových úkolů do roku 2019. **Odborná agenda projektu byla od roku 2016 rozšířena o další dvě témata:**

aditivní výrobní technologie a problematika Průmyslu 4.0.

V oblasti průmyslové výroby mají stroje dedikované pro aditivní výrobu dílců postupně zdokonalované ovládání a výrobní postupy pro realizaci dílce. Vedle toho jsou aditivní technologie považovány za další technologie, které je možno integrovat do multifunkčního obráběcího stroje. Tím vzniká **kategorie tzv. hybridních výrobních strojů, což odkazuje na možnost vyrobít dílec aditivními a subtraktivními postupy.** Průmyslové aditivní technologie (dále jen AM) představují náročné výrobní procesy, které pro přesnou a produktivní práci vyžadují přesný nosič pracovní hlavy. Z tohoto pohledu je obráběcí stroj ideálním zařízením pro integraci. Převážná většina AM technologií pro výrobu z kovu využívá laserové pracovní hlavy pro nanášení kovu z prášku nebo z drátu. Tyto pracovní hlavy je možno do stroje integrovat, aniž by došlo k narušení původní schopnosti přesného a produktivního obrábění. **Hybridní stroje lze po roce 2015 považovat za etablovanou skupinu výrobních strojů odvozenou od multifunkčních obráběcích strojů. Navzdory pokroku ve vlastní technologii však zůstává realizace plně funkčního hybridního výrobního stroje stále doménou nejzkušenějších výrobců strojů, kterých je v současné době na celém světě přibližně deset.**

Z pohledu koncového uživatele je patrné, že konstruktéři a technologové stále hledají způsob, jak aditivní výrobu efektivně využít pro realizaci svých součástí. **Právě hledání vhodných aplikačních příkladů spojených s reálnými testy technologie pro zajištění a verifikaci stálých kvalitativních výsledků je jedním z hlavních aktuálních trendů v oblasti AM a hybridní výroby.** Vývoj v této oblasti lze očekávat podobný, jako v případě obráběcích multifunkčních strojů: dříve či později budou schopni téměř všichni výrobci strojů vyrábět také stroje pro hybridní výrobu. Kdo s tím ale začne dříve, dostane se dříve přes fázi vývoje stroje do fáze vývoje technologie. A technologická znalost a zkušenost je klíčovým faktorem pro úspěšnou nabídku takového typu stroje.

Pro efektivní využití investice do rozšíření technologických možností stroje je nutno nejprve popsat příklady typických vhodných operací (např. opravy dílců, návary funkčních povrchů aj.), definovat potřebné požadavky procesu na stroji a především porozumět vlastnímu procesu. V tomto směru lze vnímat rozšíření výzkumné agendy projektu o výzkum aditivních technologií jako podchycení aktuálního trendu, který může být firmami využit v příštích letech.

Průmysl 4.0 byl v roce 2016 v České republice velmi intenzivně skloňovaným tématem.

Lze říci, že tato oblast dosáhla v roce 2016 prvního vrcholu na typické hype křivce a zájem o ni začíná klesat. Ubývá prázdného marketingu, objevují se realisticky využitelná řešení s technickým a ekonomickým přínosem. Mnoho firem však stále hledá odpověď na otázku, jak by jim zavedení principů Průmyslu 4.0 technicky nebo finančně pomohlo. Průmysl 4.0 jako trend nelze ignorovat, ale nelze ho ani bez rozmyslu převzít dle příkladů velkých německých firem. V této oblasti je tedy nutno pokračovat ve

vyhledávání pozitivních příkladů a současně sledovat, jak mohou být vyvíjená řešení ve všech pracovních balíčcích projektu vzájemně kombinována, aby naplňovala principy Průmyslu 4.0 (v principech je možno hledat inspiraci) a současně přinesla jasnou přidanou hodnotu pro koncového uživatele.

Článek ukazuje vybrané výsledky projektu CK SVT. Byly v něm využity texty publikované autory v časopise MM Průmyslové spektrum.

Dvě třetiny strojírenských společností se chystají vychovávat pro své potřeby budoucí zaměstnance už na školách

Výsledky výzkumu analytické společnosti CEEC Research

S odbornými školami spolupracuje za účelem získání nových zaměstnanců téměř sedm z deseti strojírenských společností, v případě velkých firem je spolupráce navázána dokonce v osmi z deseti případů. Nejčastější formou této spolupráce je praxe v rámci výuky, kterou společnost vyhodnocuje. Vzdělání současných absolventů podle typu školy označují firmy za průměrné až lehce nadprůměrné. Za posledních deset let ale přitom došlo podle 60 procent ředitelů strojírenských společností ke zhoršení úrovně technického vzdělávání. Vyplyvá to z výzkumu zpracovaného analytickou společností CEEC Research ve spolupráci se společností CooperStandard.

Na stupnici od 0 do 10, kde desítka představuje nejvýznamnější způsob nábory nových pracovníků, přiřadili ředitelé strojírenských společností **náboru mezi žáky vykonávajícími praxi v rámci školní výuky známku 8,5**. Dalšími často používanými způsoby nábory je nabídka pracovních míst inzerovaná přímo ve školách (8,0 bodu z maximálních 10) a exkurze studentů na pracovištích (7,6 bodu z maximálních 10). Nejméně naopak strojírenské firmy využívají vyhlašování soutěží a poskytnutí technického vybavení odborným školám (5,2, respektive 5,6 bodu z maximálních 10).

„Poskytujeme firemní školící střediska na odborný výcvik a odbornou praxi středním školám, platíme stipendia, nabízíme odborníky z praxe do výuky, podporujeme nový obor Mechatronik na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích s veškerou praktikou studentů u nás v závodě, zveme pedagogy na stáže do firem, nabízíme témata diplomových prací, konáme Dny otevřených dveří, HiTech Dny pro vysoké školy, sponzorujeme Formuli Student na Vysokém učení technickém Brno, darujeme technické hry základním školám (Merkur, Roto), organizujeme soutěže školních týmů s použitím těchto her a podobně. A hlavně voláme po zřizování kariérních poradců při školách a jejich aktivnější práci v regionu. Bez znalosti firem v okolí škol nelze přesvědčovat rodiče o vhodné nebo méně vhodné variantě curricula pro jejich dítě,“ shrnuje spolupráci se školami **Pavel Roman, Head of Corporate Communications, Bosch Group CZ and SK.**

Kvalita dosaženého odborného vzdělání se podle ředitelů strojírenských společností pohybuje na průměrné až lehce nadprůměrné úrovni. Odpovídat mohli pro jednotlivé typy škol na stupnici od 0 do 10, kde nula představovala nemožnost takového absolventa

zaměstnat a desítka velmi kvalitní dosažené vzdělání. **Základní vzdělání tak ve výsledku získalo průměrné hodnocení 4,6 bodu, střední vzdělání s výučním listem 5,2 bodu, střední vzdělání s maturitou 5,6 bodu, vyšší odborné vzdělání 6 bodů a vysokoškolské vzdělání 6,8 bodu z maximálních 10.** Horší zkušenosti s kvalitou základního a vyššího odborného vzdělání mají velké firmy, které jim přiřadily 3,6, respektive 5,5 bodu z maximálních 10.

„Základním a všeobjímajícím problémem je, že střední školy vůbec nevyučují klasické předměty nezbytné pro vzdělání strojaře, jako bylo technické kreslení, stavba a provoz strojů, konstrukční cvičení, strojírenská technologie, mechanika, elektrotechnika a podobně. Další stupeň je pak otázka kvality vzdělání. Pro strojní obory její úroveň vlastně ani nelze hodnotit – prostě žádné takové vzdělání neexistuje. Neexistující učňovské školství zase nevyučuje základní učební obory pro strojírenskou výrobu. Z toho důvodu nejsou na trhu práce k dispozici profese jako obráběč kovů, kotlář, zámečnick a podobně. Školy zapomněly, že výpočetní technika je jen prostředkem, jak zefektivnit práci v kvalifikovaných profesích. Podobně jako angličtina je jenom prostředkem,

Společnost **CEEC Research** je přední analytickou a výzkumnou společností zaměřující se na vývoj vybraných sektorů ekonomiky v zemích střední a východní Evropy. Její studie jsou využívány v současné době více než 17 000 společnostmi. CEEC Research vznikl v roce 2005 jako analytická organizace specializující se na zpracovávání výzkumů a analýz stavebního sektoru, následně se analytické pokrytí rozšířilo i na další vybrané sektory ekonomiky, včetně strojírenství.

CEEC Research navíc k pravidelným a bezplatným analýzám organizuje také vysoce specializované odborné konference, kterých se účastní generální ředitelé nejvýznamnějších společností, prezidenti klíčových svazů, cechů a komor a rovněž i ministři a nejvyšší představitelé státu z vybraných zemí.

