



Cestovní mapa oboru SVT strojírenská výrobní technika

6/2022



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

Dokument zpracovaný v rámci projektu

Technologická platforma strojírenská výrobní technika IV

Registrační číslo projektu: CZ.01.1.02/0.0/0.0/17_105/0018877

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Určení priorit témat VaVal pro obor SVA.....	4
2.1	Určení priorit témat VaVal ve vazbě na Národní RIS3 strategii	4
2.2	Určení priorit témat VaVal ve vazbě na KETs (RIS3)	6
2.3	Určení priorit témat VaVal ve vazbě na oborovou strategii SVA.....	7
2.4	Hybné síly oboru strojírenská výrobní technika	8
3	Strategická témata oboru strojírenská výrobní technika – prioritní témata VaVal.....	10
3.1	Snižování spotřeby energie a uhlíkové stopy	10
3.2	Zvyšování efektivity výroby	13
3.3	Zkracování průběžné doby výroby	15
3.4	Digitalizace pro výrobu.....	17
3.5	Chytré výrobní systémy	19
3.6	Flexibilní automatizace.....	22
3.7	Využití principů cirkulární ekonomiky	24
3.8	Zvyšování dosažitelné přesnosti, jakosti a výkonnosti výrobních procesů ve vazbě na náklady	30
3.9	Vzdělávání a zvyšování profesních kompetencí	32
4	Propojování organizací ve výzkumu, vývoji a inovacích	36
4.1	Propojení veřejného a soukromého sektoru ve výzkumu, vývoji a inovacích	36
4.2	Propojování podniků a firem navzájem pro společný výzkum, vývoj a inovace	37
4.3	Možnosti změn hodnotových řetězců ve firmách oboru SVT.....	39
4.4	Představení organizací pro možnou spolupráci ve VaVal v oboru SVA	42
5	Potenciál sdílené ekonomiky a uplatnění konceptu Průmysl 4.0 v oboru SVA	68
5.1	Potenciál sdílené ekonomiky v oboru SVT.....	68
5.2	Uplatnění konceptu Průmysl 4.0 v oboru SVT	69
6	Závěr	71

1 Úvod

Cílem dokumentu Cestovní mapa oboru SVT je zvýšit připravenost českých podniků (malých a středních i velkých) v oboru strojírenská výrobní technika na nástup pokročilých technologií, které vyžadují kombinaci různých kompetencí a inovativních řešení a které mohou přispět k rozvoji nových meziodvětvových a mezisektorových hodnotových řetězců.

Vazba cestovní mapy (roadmap) oboru SVT na **Národní výzkumnou a inovační strategii pro inteligentní specializaci České republiky (Národní RIS3 strategie)** je realizována v relevantní prioritní aplikační doméně 1.1. Pokročilé stroje/technologie pro silný a globálně konkurenceschopný průmysl – 1.1.1 Strojírenství – mechatronika. Tato doména je z velké části tvořena právě oborem strojírenská výrobní technika a aktivitami průmyslu v rámci CZ NACE 28 Výroba strojů a zařízení j. n. a 33 Opravy a instalace strojů a zařízení, které platforma TPSVT primárně reprezentuje. Vazba cestovní mapy na znalostní domény je realizována v oblastech KETs „Pokročilé materiály“, „Nanotechnologie“, „Mikro- a nanoelektronika“, „Pokročilé výrobní technologie“ a „Fotonika“, ve kterých obor SVT formuloval své potřeby uvedené v Národní RIS3 strategii.

Vazba cestovní mapy (roadmap) oboru SVT na **strategickou výzkumnou agendu (SVA) oboru a na její implementační akční plán (IAP)** je realizována na základě výchozích a aktualizovaných dokumentů SVA. Využit je také aktuální dokument oborového technologického foresightu. Projednání priorit a reflexe těchto strategických materiálů s průmyslovými i výzkumnými organizacemi v rámci zpracování cestovní mapy bylo uplatněno také jako jeden z podkladů pro aktualizaci oborových strategických dokumentů SVA a IAP v rámci řešení projektu v roce 2022.

Vazba cestovní mapy (roadmap) oboru SVT na téma **propojení veřejného a soukromého sektoru ve výzkumu, vývoji a inovacích v technologických oblastech významných pro podnikatelskou sféru** je realizována na základě určení priorit v oblasti **aplikační domény, znalostních domén a oborové výzkumné strategie** (SVA a IAP) a na základě **identifikace disponibilních VaVal kompetencí na straně výzkumných organizací a existující výzkumné a inovační infrastruktury** v ČR i v zahraničí.

Dokument Cestovní mapa oboru SVT obsahuje screening komerčních i výzkumných organizací, které mohou být partnery pro výzkum, vývoj a inovace v oboru SVT, a prezentuje příležitosti a bariéry v oblasti sdílené ekonomiky a uplatňování konceptu Průmysl 4.0.

V rámci aktualizace SVA oboru byla určena strategická výzkumná témata, která tvoří odborné priority, a proběhlo zmapování kompetencí organizací vyhledaných v rámci screeningu, zejména výzkumných organizací, výzkumných infrastruktur a organizací technologického transferu pro možnou spolupráci mezi podniky a výzkumnými organizacemi v určených prioritních technologických tématech, která představují strategická výzkumná témata oboru SVT.

Dokument Cestovní mapa oboru SVT si klade za cíl také přispět k propojování podniků navzájem v rámci konceptu Open Innovation pro společný proces VaVal a k propojování podniků v rámci sdílení informací, služeb a infrastruktur s možností otevřené spolupráce mezi podniky produktově navazujícími i mezi podniky, které si konkurují. Proběhlo zmapování stávajících hodnotových řetězců ve výrobních podnicích oboru SVT a zmapování možností nabídky a otevřenosti ke sdíleným inovacím, informacím, službám a infrastrukturám s cílem podniků dosáhnout vyšší efektivity, vyšší technologické úrovně a nižších rizik. Významná je zejména identifikace těch omezení a bariér, které brání vyšší úrovni vzájemné otevřené spolupráce.

Dokument dále identifikuje příležitosti a bariéry v oborovém výzkumu, vývoji a inovacích v oblasti implementace principů sdílené ekonomiky v rámci uplatňování konceptu Průmysl 4.0. Cílem je hledat příležitost pro další rozvoj inovací a konkurenceschopnosti oboru s využitím potenciálu nových konceptů sdílené ekonomiky a konceptu Průmysl 4.0.

Jednotlivé uvedené oblasti zájmu představuje dokument v samostatných kapitolách. Obsah vychází z platných strategických dokumentů, screeningu, rešerší, workshopů a dotazníkových šetření mezi zástupci SME a velkých podniků z oboru strojírenské výrobní techniky.

2 Určení priorit témat VaVal pro obor SVA

Abychom mohli upřesnit, ve kterých strategických tématech VaV mohou jednotlivé organizace v prostředí VaVal nabízet svoji spolupráci a součinnost, je třeba určit prioritní oblasti odborných témat, které jsou pro VaVal v oboru SVT aktuálně nejvýznamnější. Určení prioritních oblastí odborných témat pro budoucí VaV v oboru bylo provedeno na základě workshopů a dotazníkových šetření mezi zástupci organizací, které působí v oboru SVT. Jednalo se jak o zástupce MSP, tak i o zástupce velkých podniků. Zapojeni byli respondenti jak z členské základny TPSVT, tak i z organizací mimo naši technologickou platformu. Jako vhodné zdrojové dokumenty, které obsahují formulaci výzkumných a vývojových témat relevantních pro obor SVT, byly využity dvě strategie.

První výchozí strategií je Národní výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci České republiky (Národní RIS3 strategie). Tato strategie má v dokumentu „Příloha 1. Karty tematických oblastí“ v části „1.1 Pokročilé stroje/technologie pro silný a globálně konkurenceschopný průmysl – 1.1.1 Strojírenství – mechatronika“ formulována témata VaVal relevantní pro obor SVT. V této strategii byla témata VaVal rozdělena do pracovních skupin, a to na témata vycházející z předchozí RIS3 strategie a na témata vzešlá z analytické studie provedené TC AV. V roce 2021 došlo ke konsolidaci uvedených dvou množin témat do množiny strategických témat VaVal v rámci každé odvětvové skupiny Národní inovační platformy (pro nás je relevantní NIP I). Vzhledem k tomu, že TPSVT je součástí procesu konsolidace a formulace strategických výzkumných témat pro nové znění dokumentu „Příloha 1. Karty tematických oblastí“, byla pro dotazníkové šetření v rámci identifikace priorit využita již tato aktuální data, která jsou součástí platné RIS3 strategie. Součástí RIS3 strategie jsou také formulovaná témata VaVal, která svým zaměřením spadají pod množinu Key Enabling Technologies (tzv. KETs). KETs je množina témat VaVal, jejichž řešení přináší pozitivní dopad do více oborů a odvětví průmyslu a společnosti. Příkladem může být například internet, mobilní telefony a LCD displeje. Jedná se o technologie na různých úrovních, následně ovlivňující velkou množinu navazujících oborů a odvětví a otevírající v nich nové možnosti zlepšování a zvyšování parametrů hlavních užitečných vlastností. Náš obor SVT je v tomto specifický, protože čerpá z mnoha oblastí KETs, ale také je sám součástí KETs, protože pokročilé výrobní technologie a dosažitelné limitní parametry opět určují možnosti dalších oborů a odvětví. Oblast témat KETs, resp. oblast témat ve znalostních doménách vázaných na oblast strojírenství je v RIS3 strategii v současnosti formulována s menší mírou kvality než oblast formulovaných strategických výzkumných témat, a proto je i celková relevance následně určených priorit v oblasti KETs na nižší úrovni než relevance priorit určených nad strategickými tématy VaVal.

Druhou výchozí strategií je tzv. oborová strategie v našem oboru SVT. Oborová strategie je formulována ve dvou komplementárních dokumentech. Jedná se o dokument Strategická výzkumná agenda oboru (SVA) a o dokument Implementační akční plán (IAP). Dokument SVA formuluje zejména to, co by mělo být předmětem zájmu výzkumu, vývoje a inovací v oboru SVA a jaké sledujeme cíle v budoucích užitečných vlastnostech, a dokument IAP formuluje příklady možných konkrétních řešení zaměřených na výzkumné a vývojové aktivity a na projekty, které mohou vést k naplňování cílů SVA, tedy dokument říká, jak. Pro formulování cestovní mapy oboru je třeba určit priority v oblasti zacílení témat VaVal a určit, co je předmětem zájmu budoucího výzkumu a vývoje. Proto bylo dotazníkové šetření postaveno na výstupech výchozího dokumentu SVA a v něm formulovaná témata byla podrobena hodnocení jejich významnosti. Výsledky byly dále užity pro aktualizaci SVA, a tím i pro identifikaci prioritních strategických témat pro tento dokument.

V následujících podkapitolách jsou představeny výsledky dotazníkových šetření, kterými jsme identifikovali priority témat VaVal ve vazbě na obě uvedené výchozí strategie – nad strategií RIS3 byla odděleně hodnocena strategická témata VaVal a témata KETs.

2.1 Určení priorit témat VaVal ve vazbě na Národní RIS3 strategii

Priority byly hodnoceny nad výchozí množinou strategických výzkumných témat a jejich podtémat vycházejících z RIS3 a z dokumentu „Příloha 1. Karty tematických oblastí“ v části „1.1 Pokročilé stroje/technologie pro silný a globálně konkurenceschopný průmysl – 1.1.1 Strojírenství – mechatronika“. Šetření vychází z pracovní verze konsolidovaných strategických výzkumných témat a podtémat, jak s nimi pracuje MPO v rámci NIP I.

Šetření se zúčastnilo 34 respondentů, z toho 4 zástupci MSP a 6 zástupců velkých podniků.

V následujícím diagramu uvádíme 10 nejvýznamnějších témat – detail hodnocení všech témat je uveden v podkladovém materiálu a v něm jsou dále uvedeny komentáře respondentů.

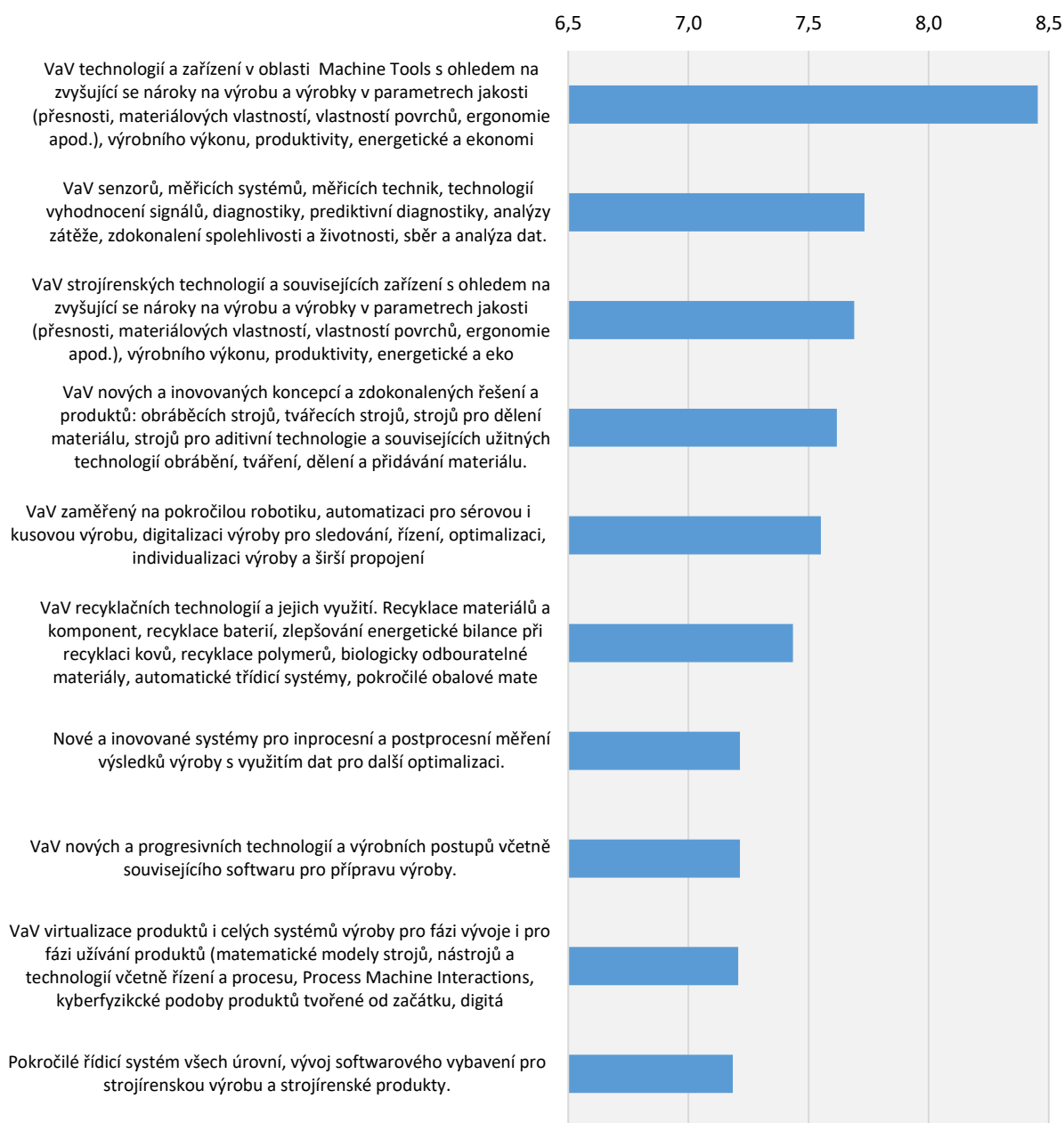
Zde uvádíme podněty a požadavky popisující ty potřeby podniků a průmyslu v oboru SVT, které Národní RIS3 strategie neobsahuje:

- *Není řešena kybernetická bezpečnost, kompatibilita softwaru.*
- *Není věnována pozornost marketingu – co přinese vyřešení konkrétního úkolu VaV a komu, jaký je přínos výrobci, čím se přesvědčí zákazník. Nedostatečná propagace.*
- *Registrujeme dramatický pokles zakázek, přičemž na EMO chybí propagace, a to i na webových stránkách výrobců OS; pokuste si otevřít jejich web a najdete nějaké novinky. Finanční náklady na účast veletrhu.*

- Průběžné sledování situace na trhu a novinek předních výrobců – lidské kapacity.
- Chybí propagace a srovnání s konkurencí. Konzervativní myšlení.
- VaV metody zvyšování užitečných vlastností výrobní techniky.
- Znalost produktového marketingu, nízká podpora veletržní činnosti.
- Revize koncepce vzdělávání od odborných učilišť po VŠ. Potřeba vytvořit skupinu ze zástupců těchto škol, výzkumných organizací a firem, která mezi uvedenými potřebnými naváže dialog s cílem modernizovat proces vzdělávání ve strojírenských a elektro strojních oborech. Velmi rozdílná úroveň vzdělávání na VŠ ve strojních oborech v rámci ČR. Velmi podfinancovaný učňovský obor vzdělávání. Problém středních strojních škol je v tom, že hlavní výukové hodiny jsou věnovány školení v komerčních programech vlivových obchodních firem (zejména systémy CAD a CAM).

10 nejvýznamnějších témat VaV v rámci strategických témat

RIS3 (Priorita- Aritmetický průměr)

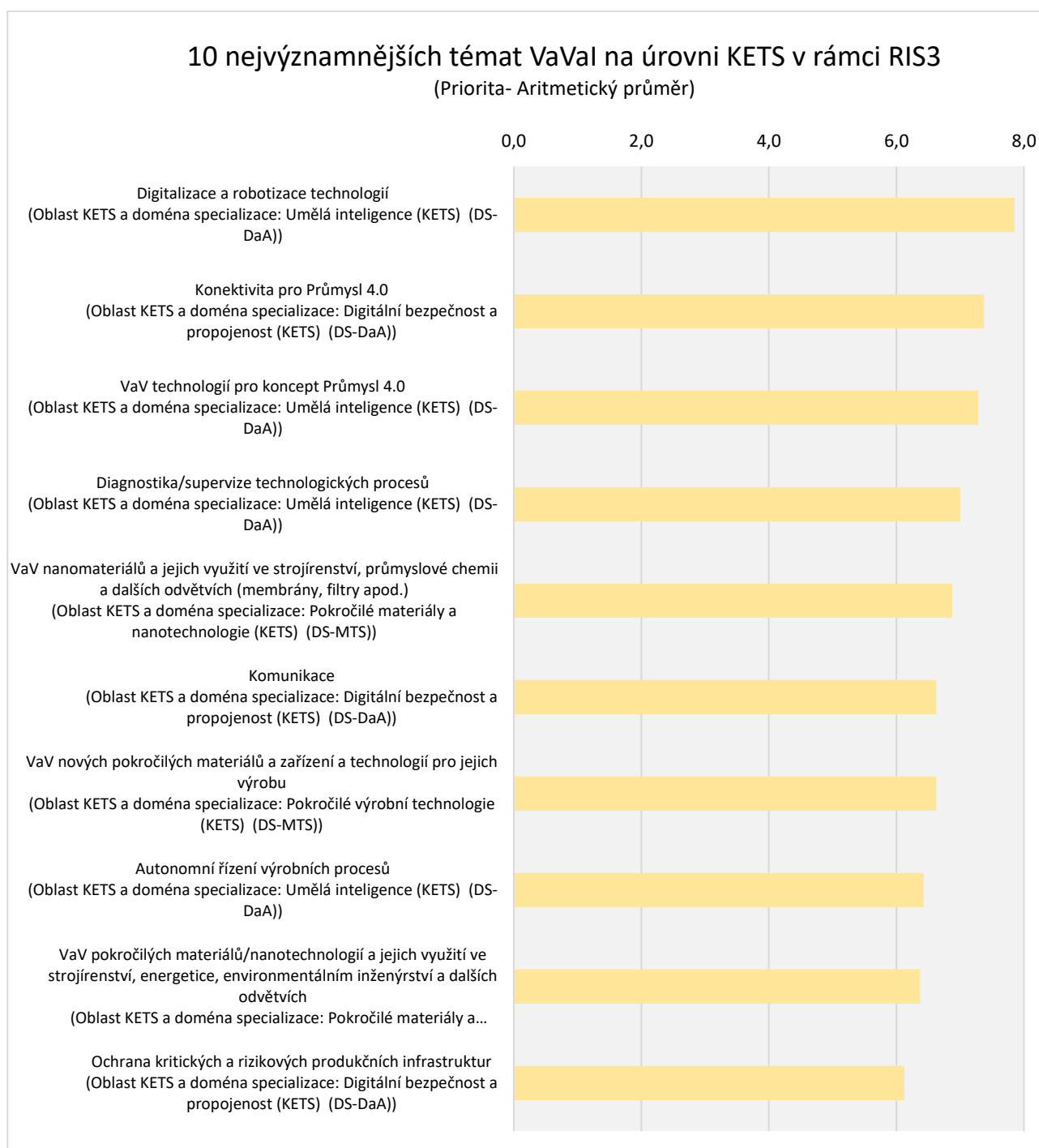


2.2 Určení priorit témat VaVal ve vazbě na KETs (RIS3)

Priority byly hodnoceny nad výchozí množinou témat VaVal, která svým zaměřením spadají pod množinu Key Enabling Technologies (tzv. KETs). KETs je množina témat VaVal, jejichž řešení přináší pozitivní dopad do více oborů a odvětví průmyslu a společnosti. Vycházíme z původních KETs témat uvedených v RIS3 a v dokumentu „Příloha 1. Karty tematických oblastí“ v části „1.1 Pokročilé stroje/technologie pro silný a globálně konkurenceschopný průmysl – 1.1.1 Strojírenství – mechatronika“ ve verzi V2.

Šetření se zúčastnilo 10 respondentů, z toho 4 zástupci MSP a 6 zástupců velkých podniků.

V následujícím diagramu uvádíme 10 nejvýznamnějších témat VaVal na úrovni KETs v rámci RIS3 – detail hodnocení všech témat je uveden v podkladovém materiálu a v něm jsou dále uvedeny komentáře respondentů.

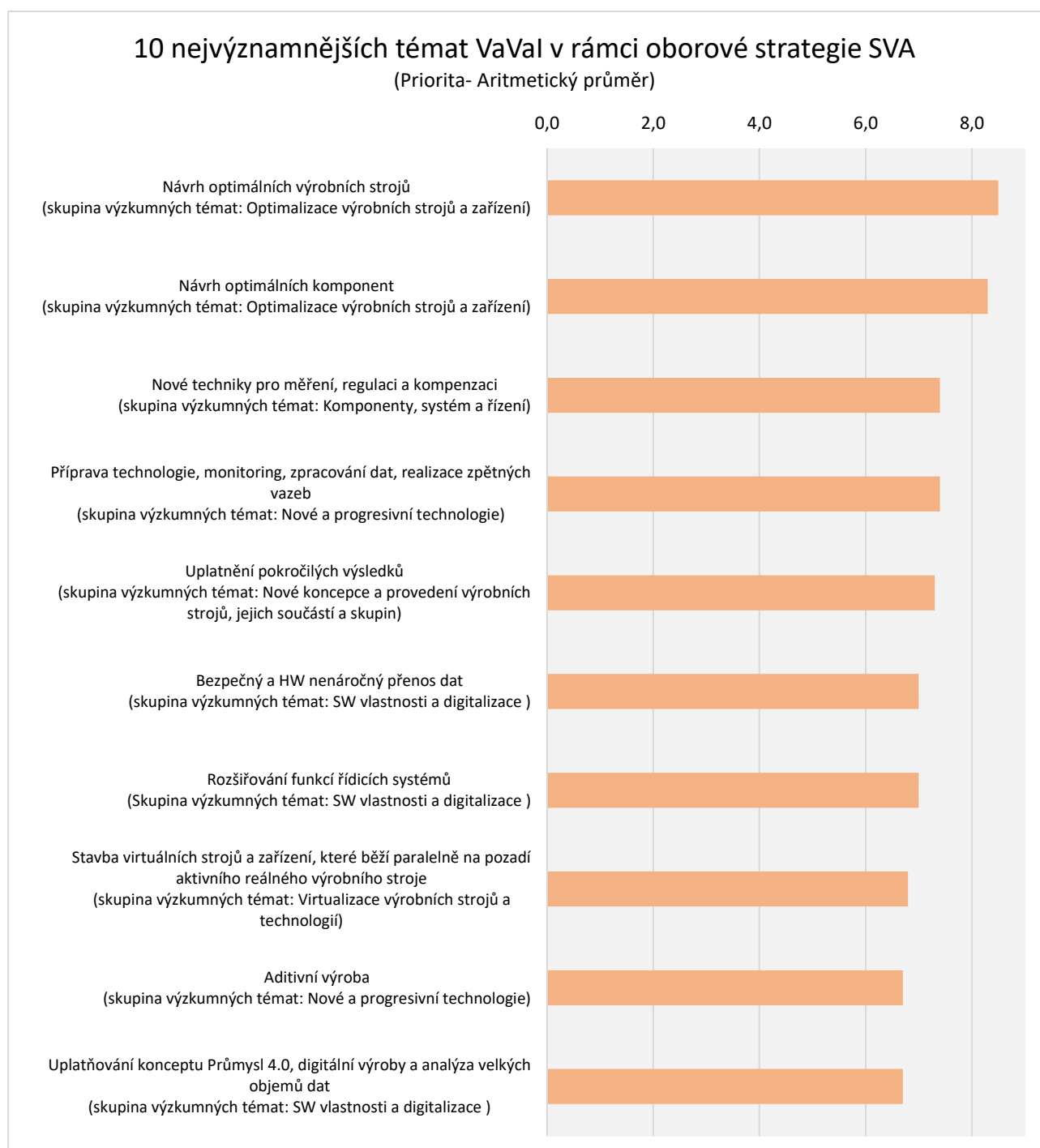


2.3 Určení priorit témat VaVal ve vazbě na oborovou strategii SVA

Priority byly hodnoceny nad výchozí množinou výzkumných témat formulovaných v dokumentu Strategické výzkumné agendy (SVA) oboru SVT. Využili jsme dokument SVA před aktualizací a výsledky šetření uplatnili při aktualizaci tohoto dokumentu. Pro formulování cestovní mapy oboru je třeba určit priority v oblasti zacílení témat VaVal a určit, co je předmětem zájmu budoucího výzkumu a vývoje. Proto bylo dotazníkové šetření postaveno na výstupech platného dokumentu SVA a v něm formulovaná témata byla podrobena hodnocení jejich významnosti, resp. priority.

Šetření se zúčastnilo 34 respondentů, z toho 4 zástupci MSP a 6 zástupců velkých podniků.

V následujícím diagramu uvádíme 10 nejvýznamnějších témat VaVal v rámci oborové strategie SVA – detail hodnocení všech témat je uveden v podkladovém materiálu a v něm jsou dále uvedeny komentáře respondentů.



2.4 Hybné síly oboru strojírenská výrobní technika

Hybné síly ovlivňující obor strojírenské výrobní techniky formulujeme na základě pohledu do tří oblastí, které jsou v interakci s oborem SVT. Oblasti vlivů: 1. megatrendy, politické, legislativní, obchodní, sociální a společenské síly; 2. potřeby zákazníků a uživatelů strojírenské výrobní techniky, resp. co chtějí a co potřebují zákazníci – uživatelé strojírenské výrobní techniky; 3. nabídka konkurence a subdodavatelů, resp. co dělají firmy v oboru – konkurenti, nekonkurenti, výrobci CNC, pohonů, komponentů, vřeten apod.

Hybné síly, které jsou pro obor strojírenské výrobní techniky nejvýznamnější, vycházejí z hybných sil identifikovaných analýzou uvedených tří oblastí vlivu a doplněných o ty, které vycházejí z motivace samotného cíle oboru prosperovat.

Téma „legislativně-regulatorní prostředí“, které představuje imperativy zejména ze strany státu a Evropské unie v oblasti bezpečnosti, udržitelnosti, ochrany životního prostředí a dekarbonizace a které jsou určovány legislativou, spojujeme s tématem „Průmysl 4.0 a digitalizace“, které je součástí národních strategií Ministerstva průmyslu a obchodu a které je současně průmyslovým a společenským trendem, jenž se postupně prosazuje.

Téma „ochrana klimatu, životní prostředí“ ponecháváme jako samostatnou hybnou sílu, která je určována postupně rostoucí náročností vázané legislativy, ale jedná se také o samostatné velmi významné společenské téma v rámci zachování udržitelnosti společnosti a v rámci boje proti nežádoucí klimatické změně.

Jako nové samostatné téma připojujeme mezi hybné síly významné pro obor strojírenské výrobní techniky „konkurenceschopnost“. Jedná se současně o výsledek inovačních aktivit, které vytváří nové produkty a služby s přiměřenou přidanou hodnotou pro zákazníka a s přiměřenými náklady. Současně je však konkurenceschopnost také prizmatem, kterým je možné nahlížet celý podnik, firmu nebo organizaci a jejich nabízená tržní řešení. Konkurenceschopnost je pak měřítkem srovnání s konkurencí a je hybnou silou, kterou určuje globální prostředí trhu, v němž obor strojírenské výrobní techniky podniká a uplatňuje svoji produkci.

Téma „zvyšování užitečných vlastností strojů a technologického využití“ je samostatné a jedno z nejvýznamnějších pro inovační proces, výzkum a vývoj v technické oblasti a pro srovnání s konkurencí. Zvyšování užitečných vlastností patří k oboru výrobních technologií od počátku a každá nová generace výrobní techniky, nástrojů a technologií musí nabízet vyšší a lepší užitečné vlastnosti než generace předchozí. Hlavní užitečné vlastnosti strojírenské výrobní techniky zůstávají dlouhodobě stálé a lze jimi komplexně hodnotit jakost produktu. Nově se mezi požadavky na přesnost, jakost povrchů, výrobní výkon, spolehlivost a hospodárnost v poslední dekádě včleňuje energetická náročnost a energetická účinnost a lze předpokládat, že budoucnost přinese delší ze změn, které hlavní užitečné vlastnosti rozšíří. Zvláštní pozornost je třeba věnovat vazbě na hospodárnost a na výkon strojů a technologií, respektive na ekonomiku a produktivitu, se kterou jsou stroje a technologie nabízeny na trh. Některá jednodušší a méně sofistikovaná řešení se pak mohou ukázat v kombinaci pohledu na náklady a produktivitu jako vhodnější než pokročilé možnosti výrobní techniky a technologie. V oblasti ekonomiky a produktivity je zde silný imperativ racionality a je třeba věnovat pozornost všem technickým a ekonomickým řešením, nikoli jen těm z oblasti hi-tech. Do tématu „zvyšování užitečných vlastností strojů a technologického využití“ začleňujeme také hybnou sílu „nákladnost energií“. Energie bude v ČR dražší a v jiných státech může být levnější – projeví se i v surovinách – a to vede k nutnosti zvyšovat energetickou účinnost výrobních strojů a technologií a k nutnosti boje s konkurencí, která bude na globálním trhu vyrábět stroje a technologie v lokalitách s levnější energií a levnějšími surovinami.

Dalším tématem, které patří mezi hybné síly, je „individualizace zákaznických požadavků“. Vždy existovala jistá míra individuálních požadavků zákazníků, a tak specifická oblast zákazníků a produkce strojírenské výrobní techniky byla řešena odděleně od produkce sériové. Proměny trhu však vedou ke stále rostoucímu množství zakázek, které musí být individualizované, a tak stroje a technologie musí být řešeny s vysokým stupněm customizace. Je velkou výzvou, jak zvládnout zákaznické řešení při zachování nízké a akceptovatelné ceny. Řešení vede k vysoké optimalizaci efektivity výroby i při kusové výrobě a to velmi úzce souvisí s uplatňováním digitalizace a dalších nástrojů. Obor strojírenské výrobní techniky však neřeší „individualizaci zákaznických požadavků“ jen v samotné produkci, tedy jak zvládnout individualizaci a kusovou výrobu s efektivitou té sériové, ale také musí řešit nové výzvy, plynoucí z toho, že stroje a technologie, které jsou produkovány, musí svým budoucím zákazníkům umožňovat opět individualizaci výroby při vysoké efektivitě.

Téma „kratší doba uvedení výrobku na trh“ patří mezi další samostatné hybné síly a týká se jak výrobce strojírenské výrobní techniky, tak i uživatele. Téma má tři roviny, ve kterých jako hybná síla působí. Jedná se o potřebu zvládnout dostatečně rychlý inovační cyklus na straně výrobce stroje, nástroje, technologie a služby. Je tedy třeba zvládnout vývoj, prototypování a produkci v krátké době, aby bylo možné držet krok s konkurencí a usilovat o nabídku inovací jako první. Druhou rovinou je velmi významný tlak na co nejkratší dobu dodání výrobní techniky od objednání. Tento tlak se projevuje jak ze strany zákazníka, který nechce dlouho čekat, tak i ze strany výrobce, který nechce mít finanční prostředky v rozpracované výrobě dlouho vázány. Třetí rovinou, ve které imperativ „kratší doby uvedení výrobku na trh“ působí, je motivace samotných uživatelů výrobní techniky, aby se dokázali rychle adaptovat na vlastní nové, inovované výrobky. Stroje, nástroje, software a technologie jim to však musí umožnit, aby uživatelé mohli efektivně a rychle měnit svoji výrobu. V této rovině se téma blíží tématu „individualizace zákaznických požadavků“ a jeho zvládnutí.

Téma „nedostatek kvalifikovaných pracovníků“ je tématem společenským i technickým. Neustále klesající zájem o práci v oblasti strojírenství a techniky se dostal na kritickou úroveň. Je třeba hledat způsoby, jak zvýšit motivaci pro práci v technických oborech na všech úrovních: od dělnických profesí přes středoškolské pozice až po úroveň inženýrů a manažerů. Tato hybná síla vede ke dvěma úkolům: hledat způsoby, jak o práci v oboru výrobní techniky zvýšit zájem, a současně hledat technická řešení, jak zvládnout využívání

strojírenské výrobní techniky s menším množstvím personálu. Technická řešení pak vedou k nutnosti inovací v automatizaci procesů, v přesunu materiálu, ale i v technologické přípravě výroby, v kontrole a dalších krocích výrobního řetězce. Z hlediska zvýšení motivace pro práci a studium v technických oborech je nutná zejména osvěta, informovanost a hledání způsobů, jak práci v oboru atraktivnit.

Téma „profesní znalosti a dovednosti“ se váže na téma „nedostatek kvalifikovaných pracovníků“, ale je samostatnou hybnou silou, která v oboru strojírenské výrobní techniky nutí hledat nová technická řešení pro technickou přípravu výroby a pro samotnou výrobu, kdy mohou stroje, technologie a software nahradit kvalifikaci pracovníků. Toto téma vytváří velkou motivaci pro výzkum, vývoj a inovace v oblasti diagnostiky strojů i procesů a v oblasti uplatnění strojového učení a umělé inteligence tak, aby stroje, software a technologie dokázaly zvládnout to, co dříve řešil zkušený technolog, obráběč, kontrolor, diagnostik a servisní technik. Současně je však toto téma výzvou k hledání způsobů, jak profesní znalosti a dovednosti rozšiřovat a doplňovat i u pracovníků bez předchozího odpovídajícího odborného vzdělání.

Samostatnou hybnou silou je téma „principy oběhového hospodářství, nové obchodní modely“, které usiluje o to, aby se minimalizovala zbytečná spotřeba a aby se maximum materiálu, komponentů a součástí využívalo co nejdéle a aby byla zvládnutá jejich opravitelnost a recyklace. Specificky u strojírenské výrobní techniky je velkou výzvou prodloužování životnosti, repasování a dobrá opravitelnost. V současnosti naráží obor na skutečnost, že repasování výrobních strojů je na hranici rentabilnosti. Je třeba hledat nejen technická řešení pro uplatňování principů cirkulární ekonomiky, ale v oboru strojírenské výrobní techniky je nutné hledat také nové obchodní modely, které prodlouženou životnost, dobrou opravitelnost a repasovatelnost promění v přidané hodnoty, jež výrobcům výrobní techniky umožní prosperitu. Současné obchodní modely usilují téměř výhradně o prodej nových strojů, a nikoli o udržení strojů co nejdéle ve funkci.

Hlavní hybné síly pro obor strojírenské výrobní techniky v horizontu do roku 2030:

1. Legislativně-regulační prostředí, koncept Průmysl 4.0 a digitalizace.
2. Ochrana klimatu a životní prostředí.
3. Konkurenceschopnost.
4. Zvyšování užitečných vlastností strojů a technologického využití.
5. Individualizace zákaznických požadavků.
6. Kratší doba uvedení výrobku na trh.
7. Nedostatek kvalifikovaných pracovníků.
8. Profesní znalosti a dovednosti.
9. Principy oběhového hospodářství, nové obchodní modely.

3 Strategická témata oboru strojírenská výrobní technika – prioritní témata VaVal

Na základě výchozích strategických materiálů na úrovni oboru i státu, na základě šetření a analýz a na základě identifikovaných hybných sil relevantních pro obor strojírenské výrobní techniky bylo formulováno devět strategických témat oboru. Tato strategická témata oboru strojírenská výrobní technika představují základ SVA oboru a jsou prioritními tématy VaVal, kterým by měla být věnována primární pozornost, kapacity a investice v období 2022–2028. Strategická témata dále představíme.

3.1 Snižování spotřeby energie a uhlíkové stopy

Význam tématu

Rostoucí globální spotřeba energie v průmyslu má za následek značné dopady nejen ekonomické, ale zejména environmentální. Průmyslová výroba rozhodujícím způsobem přispívá ke zvyšování standardu životní úrovně společnosti. Zásadní výzvou současnosti je ovšem otázka, jak dosáhnout trvalé udržitelnosti dalšího rozvoje a minimalizace negativních dopadů na životní prostředí. Průmysl spotřebovává suroviny a energii a produkuje teplo, hluk, vibrace, zplodiny, ale vyvolává také zátěž pro člověka (obsahuje), produkuje další zátěžné faktory pro životní prostředí a v konečném důsledku také odpad (produkty na konci životnosti).

Moderní průmyslová výroba se musí podílet na řešení environmentálních otázek a snižování zátěže na několika rovinách, které nejsou v současné době dostatečně řešeny a akcentovány: 1. Spotřeba elektrické energie. Řada strojů, technologií a výrob již byla energetické optimalizaci v prvních dvou dekádách 21. století podrobena, ale rostoucí závažnost zatěžování Země skleníkovými plyny a rostoucí náklady na výrobu energií vedou nyní k nutnosti druhé a podstatně intenzivnější a náročnější vlny energetické optimalizace všech spotřebičů ve strojírenském průmyslu i k nutnosti strategií jejich využití (přímá vazba na proces). 2. Smysluplné využívání materiálu. Využití materiálu ve strojírenství je předmětem dimenzování a optimalizací. Dimenzování a optimalizace je možné zdokonalovat dvěma způsoby, tedy zpřesňovat samotné metody návrhu produktů (výpočtové a optimalizační techniky, virtuální modelování, digitální dvojčata) a také zpřesňovat okrajové podmínky a zátěžná spektra. Snaha po optimálním využití materiálů a jejich kombinací je jedním ze stěžejních témat současnosti, přesto v řadě oblastí strojírenství existuje stále potenciál pro další zvyšování účinnosti využití materiálů a pro uplatňování pokročilých technik v oblasti navrhování struktur. 3. Prodlužování životnosti a využitelnosti produktů. Jedná se pro průmysl o velmi nové téma. Průmysl směrem ven (spotřební zboží) i směrem dovnitř (B2B) má postaven hodnotový řetězec a komerční koncept podnikání na opakovaném prodeji nových produktů, strojů a zařízení. Podnikání, které by vedlo k prodlužování životnosti, k řešení zdokonalené opravitelnosti a k repasovatelnosti a znovupoužití, je nyní v globální míře opomíjeno. Zde je třeba hledat nové obchodní modely současně s novým technickým přístupem, aby bylo možné konzumní systém nahradit systémem cirkulární ekonomiky, kdy účastníci vydělávají a prosperují, ale nikoli za cenu zbytečného zpracovávání dalšího materiálu a energií.

Snižování spotřeby energie a environmentálního dopadu průmyslové výroby patří k nejnaléhavějším aktuálním tématům s dlouhodobou platností. Dotýká se všech aktivit průmyslové společnosti, jejíž další schopnost udržitelného rozvoje a existence významně ovlivňuje, a představuje proto jedno z klíčových společensko-politických témat. V oblasti výrobní techniky a průmyslové výroby je předmětem zejména aplikovaného výzkumu na úrovni TRL 5–8 s primární motivací uvádět do praxe ověřené technické koncepty. Výzkum a vývoj pro snižování spotřeby energie a pro snižování uhlíkové stopy vyžaduje interdisciplinární přístup, který zahrnuje konstrukci a vývoj výrobní techniky, systémů a produktů, organizaci výroby, elektroniku a řízení, informatiku, senzoriku, měření a diagnostiku, materiálové inženýrství, matematické modelování a simulace.

Stav poznání v průmyslové praxi

Celosvětová výroba elektřiny závisí v současnosti především na využívání fosilních paliv, což představuje v důsledku asi čtvrtinu celosvětových emisí skleníkových plynů [1]. V rámci Zelené dohody pro Evropu (Green Deal) si EU stanovila závazný cíl dosáhnout do r. 2050 klimatické neutrality a do roku 2070 dosáhnout nulových emisí CO₂. To je kritickým předpokladem pro klimatický cíl nárůstu průměrné globální teploty do 2 °C. K tomu je zapotřebí, aby se emise skleníkových plynů výrazně snižovaly již v nejbližších desetiletích – EU se zavázala snížit emise CO₂ do r. 2030 alespoň o 55 % (tzv. balíček Fit for 55). Naproti tomu stojí ovšem stále nedostatek obnovitelných zdrojů, aktuální krize v oblasti dodávek zemního plynu a drastický nárůst cen energií.

Na celosvětové spotřebě energie ve výši 22 964 TWh se průmysl podílel z 38 % (oba údaje k r. 2018) a odhaduje se, že 5–10 % z tohoto podílu připadá na spotřebu energie výrobních strojů [1]. Lze tedy odhadovat, že se stroje podílí 2–4 % na globální spotřebě energie, přičemž 70–80 % připadá na stroje pro třískové obrábění. Výrobní stroje se vyznačují poměrně velkými energetickými ztrátami. Na optimalizaci spotřeby energie na úrovni jednotlivých strojů i výrobních systémů se zvýšená pozornost zaměřuje zejména v posledních dvou dekádách a intenzita tohoto zájmu prochází různými vlnami. Zájem výrobců obráběcích strojů o tuto problematiku je do značné míry motivován legislativně-regulačními podmínkami a iniciativami. Jednou z nejviditelnějších iniciativ, které našly jasnou

marketingovou odezvu výrobců strojů v letech 2014–2015, byla iniciativa Blue competence, vyhlášená v r. 2012 asociací evropských výrobců strojů CECIMO.

Z podstaty definice je zvýšení energetické účinnosti stroje dosaženo maximalizací řezného výkonu při současné minimalizaci celkové spotřeby energie. Řešení vedoucí k zvyšování energetické účinnosti, resp. k snižování spotřeby energie výrobních strojů vyžadují komplexní a systémový přístup, vyplývající z řady vzájemných vazeb. Primárním požadavkem je, aby nebyla narušena spolehlivost provozu stroje, aby nebyly dotčeny klíčové užité vlastnosti a aby návratnost zvýšených vstupních pořizovacích nákladů byla maximálně 2–3 roky. Optimalizační opatření lze nacházet v praxi na straně periferních agregátů např. v úpravách dodávky řezného a chladicího oleje s využitím frekvenčního řízení, v menším dimenzování čerpadel, optimalizaci chlazení řezného procesu, změnách emulzního hospodářství, využití efektivních chladicích agregátů nebo v úsporách použití stlačeného vzduchu. V oblasti stavby strojů se na snižování spotřeby energie podílí zejména snižování hmotnosti a lepší využití disponibilního materiálu, a to nejen v provozu stroje, ale i při jeho výrobě. To vede sekundárně k dalším úsporám v podobě nižších požadavků na instalovaný výkon pohonů. Významný příspěvek k vyšší energetické účinnosti výroby má také optimalizace strategií obrábění a výrobních cyklů, což vede ke zkracování výrobních časů. Kratší výrobní časy znamenají zejména menší spotřebu energie pohonů a periferních zařízení.

V poslední době, jak o tom svědčila výstava EMO 2021, lze nacházet cílené snahy o dosažení vyšší energetické účinnosti provozu strojů zejména u japonských výrobců. Např. společnost MAZAK představuje mix řešení v oblastech zvyšování řezných rychlostí, využití chytrého LED osvětlení, využití úsporných režimů, úprav chladicích a hydraulických agregátů a mazání lineárních vedení. K vyšší energetické účinnosti výroby a provozu strojů přispívají také moderní prostředky digitalizace a monitorování, které na úrovni celých výrobních systémů vedou k účinnějšímu využití disponibilní kapacity strojů a k minimalizaci prostojů. Vyšší energetická efektivita je v tomto případě měřena na úrovni výsledného produktu, který je vyroben s nižšími nároky na spotřebu energie.

Stav poznání ve výzkumu

Výzkum v oblasti spotřeby energie strojů probíhá v několika směrech. V první řadě je to systémová úroveň rozboru energetické náročnosti provozu strojů a identifikace hlavních spotřebičů energie v různých výrobních procesech. Zatímco z hlediska podílů instalovaného výkonu představuje vřeten o obvykle nejvyšší podíl cca 50 % podílem a pohony os představují dalších téměř 25 %, v procesech obrábění se na celkové spotřebě energie podílí vřeten a pohony obvykle 25 %. Zbývajících cca 75 % spotřeby energie připadá na periferie [2], [3]. Cesta k energeticky účinnému stroji tak vede zejména přes energeticky účinné procesy, energeticky účinné komponenty, energeticky účinný návrh systémů a energeticky účinné řízení a energetický management.

Otevřenými výzkumnými tématy podle [1] jsou v oblasti konstrukce strojů aktuálně 1) možnosti náhrady pneumatických a hydraulických komponent za elektromechanické pohony („bezmédiový obráběcí stroj“), 2) pokročilé teplotně-mechanické modely se snadnou implementací pro účinný teplotní management, 3) inteligentní pohotovostní režimy pro periferie a pro komponenty obráběcích strojů a 4) strategie pro dovybavení stávajících obráběcích strojů energeticky účinnějšími komponenty.

Kromě konstrukce stroje je energetická účinnost strojů do značné míry určena jejich provozem. Parametry procesů by měly být voleny tak, aby maximalizovaly produktivitu. Při zvyšování intenzity procesů obrábění je ovšem potřeba brát v úvahu vedlejší účinky, jako je zvýšené opotřebení nástroje nebo vyšší požadavky na chladicí kapalinu. Značný potenciál pro úspory energie představuje suché obrábění. K otevřeným výzkumným tématům podle [1] patří v oblasti energeticky účinných procesů 1) výzkum vzájemných závislostí mezi produktivitou a opotřebením nástrojů, 2) identifikace skutečně požadovaného objemu řezné kapaliny a tlaku, 3) další výzkum minimálního množství mazání (MQL) a téměř suché obrábění, stejně jako 4) strategie pro energeticky efektivní výběr procesních parametrů a pro optimalizaci dráhového řízení a adaptivní strategie chlazení včetně samooptimalizace na základě procesních dat.

Postupy vedoucí ke snižování environmentálních dopadů průmyslové výroby spočívají také ve strategiích znovuvýroby a znovupoužití materiálů z průmyslového odpadu a z produktů [4]. Toto nové paradigma může podpořit výzvy udržitelnosti ve strategických průmyslových odvětvích. Navíc návrhy systémů pro demontáž a renovaci, jakož i řízení a kontrolní přístupy a pokročilé technologické prostředky hrají klíčovou roli při podpoře modelu oběhové ekonomiky.

Reference

- [1] Denkena, B. et al. *Energy Efficient Machine Tools*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 69 (2) (2020), pp. 646–667, DOI: 10.1016/j.cirp.2020.05.008
- [2] Denkena, B. (2013). *Abschlussbericht zum BMBF-Verbundprojekt NCplus: Prozessund wertschöpfungsorientiert gesteuerte Werkzeugmaschine*. Report, Gottfried Wilhelm Leibniz University Hannover
- [3] Dufloy, J. R. et al. *Towards energy and resource efficient manufacturing: a processes and systems approach*. CIRP Annals, 61 (2012), pp. 587–609, DOI: 10.1016/j.CIRP.2012.05.002
- [4] Tolio, T. et al. *Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems*. CIRP Annals – Manufacturing Technology 66 (2017) 585–609, DOI: 10.1016/j.cirp.2017.05.001

Vazby na hybné síly

Vývoj v oblasti energetické náročnosti výroby reaguje na řadu hybných sil. V první řadě je toto téma pod velkým tlakem legislativně-regulatorních podmínek, které jsou určující pro definici cílů a požadavků dalšího vývoje. Hlavní hnací motivací je ochrana klimatu a životního prostředí. Zvyšování energetické účinnosti strojů je současně jedním z řešení, která přispívají ke snížení provozních nákladů, a tudíž ke zvyšování užitečných vlastností strojů. Hnací silou pro vývoj pokročilých řešení vedoucích k nižší energetické náročnosti provozu strojů je i nedostatek kvalifikovaných pracovníků, vedoucí k nahrazování chybějící zkušenosti autonomními systémy optimalizovaného řízení provozu strojů. Schopnosti servisovatelnosti a znovupoužití strojů, které ve svém důsledku šetří spotřebu materiálu a energií, souvisí s hledáním nových obchodních modelů a s principy oběhového hospodářství.

Vize vývoje a aplikací tématu

Výzvy snižování spotřeby energie a vyšší energetické účinnosti provozu strojů budou v blízké budoucnosti stále sílit jak ve vazbě na krizové scénáře globálního vývoje stavu klimatu a na stav životního prostředí, tak na rostoucí ceny energií a hrozbu jejich nedostatku. K hlavním směrům vývoje bude patřit zejména:

- „Lightweight“ stavba strojů s nižšími nároky na instalovaný výkon pohonů pohybových os a s nižším objemem materiálu.
- Vývoj digitálních dvojčat simulace spotřeby pohybových os.
- Vývoj periferních agregátů s inteligentním řízením spotřeby energie.
- Vývoj řešení pro snižování pasivních odporů pohybových os (např. teleskopické kryty).
- Optimalizace obráběcích strategií pro minimalizaci časů a spotřeby energie.
- Monitorovací systémy v oblastech vytížení strojů a plánování výroby.
- Rozvoj strategií týkajících se znovupoužití, opravitelnosti a prediktivní údržby.

3.2 Zvyšování efektivity výroby

Význam tématu

Pojem efektivity výroby lze definovat jako zvyšování celkové účinnosti výrobního procesu konaného výrobním systémem. Jednoznačným zadáním pro výrobu je produkt s požadovanou funkcionalitou, kvalitou provedení a v potřebném objemu/počtu kusů a ceně, resp. v potřebné velikosti výrobních nákladů. Vlastnosti výrobku jsou klíčovými aspekty jeho konkurenceschopnosti. Ze zmíněného pohledu lze efektivitu měřit a hodnotit rychlostí (produktivitou) a hospodárností (výrobní náklady) výroby. Důležitým rozměrem budoucí výroby se stále více stává její efektivita z hlediska celkové udržitelnosti, tj. energetické náročnosti, dále snižování objemu, možnost opětovného zpracování a využití odpadního materiálu, stejně jako snižování objemu produktů používaných pro výrobu zatěžující životní prostředí.

Možnosti zvyšování účinnosti výrobních procesů mají v první řadě přímou vazbu na výrobní systém, jeho nastavení, způsob použití, vlastnosti a omezení, stupeň automatizace a na její stav. Vedle samotného systému efektivita souvisí s fázemi přípravy výroby, například ve vazbě na plánování a řízení procesů a na celkovou organizaci práce včetně logistických řetězců, a nakonec i s fázemi dokončování výroby, jako je například inspekce, metrologie a čištění. Šíře oblastí ovlivňujících efektivitu výroby vede k široké paletě konkrétních přístupů. Procesy pro zvyšování efektivity výroby jsou její nezbytnou součástí pro zajištění technického pokroku v průmyslu. K tomu je zapotřebí pokračující intenzivní výzkum a vývoj.

Účinnost procesů je dlouhodobým tématem a předmětem převážně aplikovaného výzkumu na úrovni TRL 3–8, a to jak v oboru strojírenské výrobní techniky (stroje a komponenty, nástroje a příslušenství), tak částečně i mimo tento obor (např. ekonomika, optimalizační a statistické techniky, vývoj softwaru a hardwaru apod.).

Stav poznání v průmyslové praxi

Potřeba efektivnější výroby se akcentuje ve spojení s hi-tech inženýrskými oblastmi, jako je automobilový, letecký a medicínský průmysl a energetika. Všechny tyto oblasti procházejí v důsledku dopadů celosvětové pandemie radikálními změnami, tvořenými legislativou a regulacemi, a výrazným narušením dodavatelsko-odběratelských vztahů. Na základě potřeby kvalitnějšího a produktivnějšího zpracování moderních materiálů (legované oceli, slitiny Al, Co, Ti, Ni a kompozitní materiály) vznikají dílčí trendy a přístupy, aby se snížila hmotnost a zvýšila účinnost zařízení a techniky. Z pohledu charakteru výrobní technologie nastává prudký rozvoj a uplatnění nekonvenčních (např. laserových), aditivních a hybridních (např. aditivní + subtraktivní) způsobů výroby s cílem minimalizovat spotřebu materiálů, selektivně zpracovávat pouze funkční plochy (nástřiky, návary a jiné formy depozice) a snížit náklady na montáž a servis.

Mezi výrobními technologiemi pro hi-tech produkty z pokročilých materiálů má nezastupitelnou roli třískové obrábění, zejména v podobě dokončovací, finální operace, a jeho nenahraditelné parametry ve vztahu ke kvalitě a flexibilitě tvaru, rozměru a povrchu dílce. V současnosti jsou v průmyslu stále více uplatňována řešení s využitím speciálních (tvarově i materiálově) obráběcích nástrojů připravených „na míru“ pro konkrétní aplikaci. To umožňuje další zvyšování pracovních podmínek, zkracování času výroby, náhradu operací a optimální využití nástroje. Inovace jsou spojené i s výrobním strojem a s maximalizací využití jeho potenciálu. Takový potenciál spočívá v řešeních přinášejících spolehlivost, bezobslužnost a opakovatelnost výroby. S tím souvisí i masivně se rozšiřující průběžně zdokonalované CAD/CAM systémy, a to i pro přípravu jednoduššího obrábění na CNC strojích s možností základních simulací výroby. Další skupinou v praxi uplatňovaných přístupů je automatizace (paletizace a robotické manipulace s polotovary a výrobky, automatická kontrola) a pokročilé systémy umožňující přesnost a opakovatelnost upnutí obrobku. Užité vlastnosti výrobních strojů jsou v praxi významně zvyšovány softwarovými opcemi a funkcionalitou řídicích systémů.

Systémy a procesy nekonvenčního, aditivního a hybridního zpracování materiálu jsou využívány v případech nedostatečné efektivity a jakosti zavedených, konvenčních přístupů. Limity konvenčních technologií přicházejí s aplikací nových (obtížně obrobitelných) materiálů a nových konstrukčních řešení dílců, s potřebou selektivního zpracování a s miniaturizací výroby. Rozvoj uplatnění těchto technologií je podmíněn intenzivním výzkumem vlivu procesních parametrů a způsobu použití zařízení na efektivitu a kvalitu výroby dílce. Výzvami pro další uplatňování v praxi je snižování pořizovací ceny a provozních nákladů a výrobních nákladů přepočtených na dílec, rozšiřování portfolia zpracovatelných materiálů, opakovatelnost a automatizace výroby.

V praxi se dnes stále více uplatňují systémy pro monitoring výroby. Sledování průběhu procesu a také stavu a režimu stroje se stává nástrojem pro zvyšování efektivity výroby prostřednictvím zajištění opakovatelnosti a snížení zmetkovitosti, dodržení optimálního nastavení výroby a technologické kázně. Monitorované výrobní stroje jsou vertikálně propojovány na úroveň systémů pro plánování výroby (MES). Zde vzniká přímá provázanost s dalšími strategickými tématy, kterými jsou chytré výrobní systémy, využití dat a digitalizace výroby. Jedním z významných omezení dalšího rozšiřování a využití monitoringu výrobních procesů je vazba správnosti interpretace sbíraných dat na příčiny chování systému a procesu a na přenositelnost znalostí mezi různými výrobními procesy.

Stav poznání ve výzkumu

Výsledky výzkumu jsou zdrojem znalostí pro naplňování výše uvedených trendů. Zaměření výzkumu je odlišné v závislosti na typu výrobní technologie (třískové, aditivní, nekonvenční, hybridní).

Významným výzkumným směrem v případě obrábění je vývoj, úprava a použití nástrojových materiálů (např. supertvrdých) a povlaků pro vyšší podmínky obrábění v hi-tech konstrukčních materiálech [1], [2]. Jinou zkoumanou oblastí se stejným cílem je využití takového procesního prostředí, u kterého je zvyšován chladicí, čistící a mazací účinek. V souvislosti se snižováním ekologické zátěže je stále intenzivněji zkoumán přístup pro bezkapalinové obrábění (suché, minimální mazání aerosolem nebo kryogenním plynem) [3], [4]. Ve vazbě na efektivitu procesu jsou zkoumány i nové způsoby/strategie obrábění, vedoucí jak k dalšímu zvyšování kvality obrobku, tak i ke zkrácení času výroby [5]. Důležitým výzkumným směrem nejen pro obrábění je predikce průběhu a výsledků procesu. V případě třískových technologií se jedná o vazbu mezi nastavením procesu, použitým nástrojem a materiálem na jedné straně a silovou interakcí, teplotním působením, dynamickým chováním, deformací obrobku a ovlivněním jeho povrchu na straně druhé [6].

Výzkum v oblasti aplikace laserových technologií jakožto důležitého představitele nekonvenčních metod zpracování je v současnosti koncentrován do popisu interakce laserového paprsku s materiálem, aby bylo možné nastavit podmínky pro efektivní a jakostní zpracování bez nežádoucího ovlivnění povrchu/materiálu ultrakrátkopulzními laserovými zdroji [7]. Další směry výzkumu zde směřují k využití laseru pro efektivní čištění, svařování, řezání nebo navařování [8].

Výzkum pro zvyšování efektivnosti aditivních výrobních technologií do jisté míry výše uvedené přístupy kopíruje. Klíčovým bodem výzkumu je dosažení vysoké kvality výrobku (homogenita mechanických vlastností a struktury materiálu, jakost povrchu), minimálně srovnatelné s alternativními výrobními metodami, a modelování a simulace této kvality v závislosti na pracovních podmínkách a vstupním materiálu. Navazuje výzkum týkající se rozšíření portfolia zpracovatelných materiálů a zvyšování parametrů procesu pro zkrácení doby výroby. [9]

Reference

- [5] Genga, A. L. – Cornish, R. et al. (2018) *Microstructure, mechanical and machining properties of LPS and SPS NbC cemented carbides for face-milling of grey cast iron*, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 73, pp. 111–120
- [6] Bouzakis, K.-D. – Bouzakis, E. et al. (2014) *Effect of cutting edge preparation of coated tools on their performance in milling various materials*, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 7/3, pp. 264–273
- [7] Yildiz, Y. – Nalbant, M. (2008) *A review of cryogenic cooling in machining processes*. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* [online]. 2008, 48(9), 947–964
- [8] Said, Z. – Gupta, M. (2019) *A comprehensive review on minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using nano-cutting fluids*, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol 105, pp. 2057–2086
- [9] Vavruska, P. – Zeman, P. – Stejskal, M. (2018) *Reducing Machining Time by Pre-Process Control of Spindle Speed and Feed-Rate in Milling Strategies*, *Procedia CIRP*, Vol. 77. pp. 578–581
- [10] Ceretti, E. – Lucchi, M. – Altan, T. (1999) *Finite Element Simulation of Orthogonal Cutting: Serrated Chip Formation*. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 95, pp.17–26.
- [11] Gamaly, E. G. (2011) *The physics of ultra-short laser interaction with solids at nonrelativistic intensities*. *Physics Reports*. Vol. 508(4), pp. 91–243
- [12] Buchfink, G. (2007) *The laser as a tool: a light beam conquers industrial production*. Würzburg: Vogel Buchverlag. ISBN 978-3-8343-3072-7.
- [13] Yang, L. et al. (2017) *Additive Manufacturing of Metals: The Technology, Materials, Design and Production*, Springer International Publishing AG, ISBN: 3319551272, p. 168

Vazby na hybné síly

Vývoj efektivnosti výroby reaguje na řadu hybných sil. Klíčovým hybným prvkem je udržení konkurenceschopnosti výrobků, resp. způsobů jejich výroby. Vedle kvality a funkčních vlastností produktů jejich pozici na trhu určuje značným podílem právě efektivita výroby ve vazbě na produktivitu a na hospodárnost. Progrese efektivnosti výroby může být založena na zvyšování užitečných vlastností strojů a technologického využití. V této oblasti se stále nachází relativně velký prostor, a to zejména u moderních strojů s pokročilým hardwarovým a softwarovým vybavením. Nárůst spotřeby ve spojení s individualizací zákaznických požadavků na výrobky působí přímo na výrobu. Reakcí je progres v digitalizaci a monitoringu procesů, stejně jako progres ve vývoji výpočetních a simulačních nástrojů. Správné a efektivní nastavení výrobního procesu je do značné míry založeno na zkušenostech, profesních znalostech a dovednostech pracovníků. Zkušených pracovníků disponujících potřebným know-how je ovšem ve firmách zpravidla nedostatek. Výchovou mladých odborníků a školením pracovníků lze tuto situaci alespoň částečně napravit. V neposlední řadě je pro efektivní výrobu třeba vnímat potřeby a principy oběhového hospodářství a hledat nové obchodní modely.

Vize vývoje a aplikací tématu

Další zvyšování efektivnosti výrobních procesů lze očekávat zejména ve spojení s těmito faktory: (i) vývojem výrobních systémů a využitím jejich potenciálu, (ii) novými řešeními v oblasti příslušenství strojů, nástrojů (i softwarových), pracovních parametrů a prostředí; (iii)

úsporami energií a vstupních a odpadních materiálů; (iv) monitoringem strojů a procesů; (v) řízením, organizací a predikcí výroby v předvýrobní i výrobní fázi. K hlavním směrům vývoje budou patřit zejména tato témata:

- Nové přístupy z hlediska strategií, nástrojů, komponent, prostředí a lepšího využití strojů.
- Budování a použití znalostních databází zachycujících vazby mezi nastavením procesu a jeho efektivitou a kvalitou.
- Vývoj softwarových a dílčích aplikací pro predikci a vizualizaci průběhu a výsledku procesu.
- Vývoj modelů pro komplexní hodnocení efektivitu výroby (náklady, energie, jakost, produktivita).
- Ekologické, energeticky a materiálově méně náročné procesy.
- Stanovení životního cyklu výrobku včetně jeho výroby.

3.3 Zkracování průběžné doby výroby

Význam tématu

Pojem průběžná doba výroby lze chápat jako součet doby organizačních, přípravných, logistických, výrobních a dokončovacích (včetně montážních) aktivit, které vedou k požadované podobě výrobku v daném počtu kusů a v daném čase. Průběžná doba výroby je proto spojena s celkovou produktivitou činností souvisejících s výrobou. Vlastnosti výrobku, jeho množství a termín dokončení (výrobku připraveného pro prodej) jsou primárními parametry konkurenceschopnosti.

Možnosti zkracování průběžné doby výroby souvisí v první řadě s organizačními a logistickými kroky. Včasnou dodávku a přípravu potřebného počtu polotovarů a nakupovaných komponent je nezbytné synchronizovat s připraveností výroby a následné montáže. Právě pořízení komponent a polotovarů může v době narušených dodavatelsko-odběratelských vztahů silně ovlivňovat a znesnadňovat zkracování průběžné doby výroby. Správné nastavení toku materiálu tak, aby byl vždy ve vhodný okamžik připraven u daného výrobního nebo montážního pracoviště, ovlivňuje často existující velikost difference mezi teoretickou a reálnou dobou vzniku produktu. Do oblasti logistických činností patří i nezbytná optimalizace počtu a typů pracovišť pro výrobu a montáž a jejich uskupení a rozmístění.

Mezi přípravné aktivity jsou řazeny ty, které mají přímou vazbu na následnou výrobu a montáž. Virtuální odladění a simulace průběžné doby dílčích procesů i celého výrobního cyklu jsou jednoznačným a nezbytným trendem. Je to nástroj pro snižování zmetkovitosti a počtu najížděcích kusů a pro eliminaci oprav dílců. Příprava výroby zastává stále důležitější roli ve zvyšování produktivity.

Výrobní aktivity ovlivňují průběžnou dobu výroby výrobními časy, a to jak časy přípravnými (seřízení a příprava pracoviště, upnutí dílce, vyjmutí a očištění dílce / odepnutí a odložení montážního celku), tak i časy automatického chodu stroje. To, bude-li delší čas vynaložen na výrobu samotnou, nebo na její přípravu, závisí především na charakteru konkrétní výroby, vycházející z parametrů a vlastností dílce. Trendem pro zkracování časů je zvyšování pracovních podmínek (rychlost, posuv, hloubka řezu), což umožňuje progresivní vývoj moderních strojů, nástrojů a upínacích prvků. Důležitými směry jsou dále digitalizace a principy konceptu Průmysl 4.0, konkrétně například vývoj systémů pro inprocesní kontrolu, dále monitoring a adaptivní řízení procesu.

Dokončovací činnosti se ve zkracování doby výroby promítají jak případnou potřebou ručního dokončování a oprav dílců – ať již z podstaty výroby, nebo na základě její dílčí nekvality – tak i aktivitami spojenými s čištěním a konzervací dílců, stejně jako s jejich přípravou pro montáž a pro uložení do skladu. Aktuální trendy jsou jednoznačně vázány na eliminaci ručních zásahů, rychlou a jednoznačnou identifikaci výrobků, automatizaci skladového hospodářství a na další přístupy.

Stav poznání v průmyslové praxi

V praxi se stále častěji přistupuje ke zdokonalené organizaci zakázek a práce, plánování výrobních a montážních činností a optimalizaci toku materiálu. To probíhá u výrobků uplatnitelných ve všech segmentech průmyslu a v kombinaci se skutečností, že se v těchto řešeních nachází velký potenciál časových úspor, to činí z této aktivity jeden z klíčových atributů spojených se zvyšováním produktivity výroby. Uplatňování poznatků však ve výrobách probíhá s nedostatečnou šíří a rychlostí, což je dále komplikováno nestabilní a nejistou situací subdodávek materiálu a komponent. Problémem je také rostoucí tlak na flexibilitu výroby a z toho plynoucí nároky na dynamickou organizaci zakázek a práce.

Uplatňovány jsou postupně také virtuální modely výrobních a montážních pracovišť a procesů. Při vhodné aplikaci jsou již ideálně v předvýrobní fázi známy její parametry a výsledky. Problémem však bývá úplnost a identičnost sestavených modelů v porovnání s reálnou výrobou, jejich vhodné použití a z toho plynoucí přesnost a věrohodnost výsledků predikce. Lze očekávat, že trendem bude další rozšiřování virtuálních modelů (tzv. dvojčat) v průmyslu.

Zřejmě nejčastěji jsou pro zkracování průběžné doby výroby v průmyslu uplatňovány zásahy v oblasti výroby samotné. Tyto zásahy lze rozdělit na dvě základní skupiny: (i) pro zkracování vedlejších časů výroby a (ii) pro zkracování časů automatického chodu stroje. Vedlejší časy jsou ovlivňovány automatizací manipulace s dílci a výrobky (např. robotické zakládání a vyjímání výrobků a automatizace výměny palet), automatizací a opakovatelností upínání (např. automatické svěráky, přesné a modulární přípravky a tzv. systémy zero-point), ale i dalšími přístupy, jako je správa a příprava nástrojů a automatické a inprocesní měření obrobků s možností následné korekce parametrů výroby. Kratších časů automatického chodu výrobního stroje je dosahováno postupným uplatňováním moderních, multifunkčních strojů s vyššími parametry rychlosti, výkonu a přesnosti a dále je jich dosahováno koncepcí pro sdružování operací a pro eliminaci počtu

přepnutí dílce. V průmyslu jsou uplatňovány i nejmodernější nástroje a způsoby jejich použití. Monitoring procesu pro adaptivní zásahy do výroby je uplatňován v omezeném segmentu výroby. Je však třeba jeho další rozšíření.

Stav inovace v oblasti dokončovacích činností bezprostředně navazuje na výstupy výrobních kroků a je ovlivněn jejich kvalitou. Potřeba ručního dokončování dílců (například broušení nebo leštění) bývá minimalizována již vhodnými zásahy do výrobního procesu (např. automatickým odstraňováním otřepů nebo na základě výsledků virtualizace procesu) a uplatněním robotických dokončovacích pracovišť. Příspěvkem, který se pro zpracování těchto časů využívá, je i eliminace procesních kapalin v průmyslu, jejichž použití může vést k potřebě nákladného čištění a k nutnosti ošetřovat výrobky před expedicí nebo montáží.

Stav poznání ve výzkumu

Výsledky výzkumu jsou zdrojem znalostí pro naplňování výše uvedených trendů v průmyslu. Zaměření výzkumu je velmi rozdílné v závislosti na fázi řetězce, na kterou se potřeba zkrácení času průběhu vztahuje.

Důležitým směrem výzkumu je optimalizace a management toku materiálu pro realizaci nových ekonomických přínosů. Uplatňuje se hledisko ekonomicky a ekologicky efektivní výroby, aby byla dlouhodobě udržitelná ve vazbě na sociální aspekty. Krátká průběžná doba výroby je jedním z důležitých předpokladů [1].

Širokou výzkumnou oblastí je výzkum virtuálních dvojčat obráběcích procesů a systémů s dílčími příspěvky pro jednotlivé části celého řetězce [2]. Lze předpokládat další rozvoj výzkumu, pokud jde o zvyšování přesnosti predikce časů, silové a teplotní působení a vlastnosti obrobků (kvality povrchu, rozměrů, mechanických vlastností). Výzkum bude směřovat i do vyšších detailů výstupů a do jejich uplatnitelnosti v praxi.

Výzkum monitoringu procesu a adaptivního řízení je rozvíjen i v souvislosti s potřebami přístupů pro koncept Průmysl 4.0 – jde tedy o sběr, analýzu a použití velkého množství dat z procesu a o flexibilní a zákaznický modifikovanou výrobu [3]. Stejný trend ve směřování výzkumu lze očekávat i v dalších obdobích, neboť se jedná o pilíře udržitelné, bezobslužné a cirkulární výroby.

Výzkum procesu obrábění se se snižováním průběžného času výroby spojen ve více dílčích oblastech. Mezi hlavní lze zařadit příspěvky z výzkumu týkajícího se zvyšování pracovních podmínek, nových strategií a operací pro přesnější a produktivnější obrábění. Současně je významným a zcela konkrétním trendem výzkum a vývoj supertvrdých řezných materiálů jakožto náhrady slinutých karbidů [4]. Ukazuje se, že je to přístup důležitý nejen pro zvyšování pracovních podmínek, ale i pro úspory materiálu (včetně vzácných kovů) a ekologizaci procesu, neboť se využívá nekonvenčních řezných prostředí [5].

Reference

- [14] Hinz, K. (2006) *Material Flow Management*, Physica-Verlag Heidelberg, ISBN 978-3-7908-1591-7, p. 206
- [15] Qiao, Q. – Wang, J. et al. (2019) *Digital Twin for Machining Tool Condition Prediction*, *Procedia CIRP*, Vol. 81, pp. 1388–1393
- [16] Vijayaraghavan A. – Dornfeld D. (2010) *Automated Energy Monitoring of Machine Tools*. *CIRP Ann. – Manuf. Technol.* Vol. 59/1, pp. 21–24.
- [17] Da Silva, R. B. – Machado, A. R. et al. (2013) *Tool life and wear mechanisms in high speed machining of Ti–6Al–4V alloy with PCD tools under various coolant pressures*, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 213/8, pp. 1459–1464
- [18] Priarone, P. C. – Klocke, F. et al. (2016) *Tool life and surface integrity when turning titanium aluminides with PCD tools under conventional wet cutting and cryogenic cooling*, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 1–4/85, pp. 807–816.

Vazby na hybné síly

Zkracování průběžné doby výroby reaguje na větší počet hybných sil. Zcela zásadní vazbou je konkurenceschopnost, daná jak kvalitou a výrobními náklady, tak i objemem výrobků na trhu v daném čase. Vzniká dále vazba na celkovou efektivitu výroby, kterou lze zkracováním doby výroby zvyšovat. Jedním z prostředků tedy může být i zvyšování užitečných vlastností strojů a technologického využití. Silné podněty plynou z uplatňování prvků konceptu Průmysl 4.0, včetně aspektu individualizace zákaznických požadavků, který má velmi významný dopad na plynulost, efektivitu, ale i kvalitu výroby. Související hybnou silou jsou požadavky na zkracující se dobu nutnou pro uvedení výrobku na trh. Digitalizace, automatizace a monitoring propojení dat na úrovni systémů MES a ERP jsou nástroje, které mohou k naplňování hybných sil individualizace a ke zkracování uvedení na trh významně přispívat. Zkracování průběžné doby výroby bude významně vycházet ze zkušeností, profesních znalostí a dovedností pracovníků. Trend je bohužel takový, že zkušených pracovníků v průmyslu spíše ubývá. Je proto důležité soustředit pozornost na výchovu mladých odborníků se zájmem o obor a na školení pracovníků v podnicích. Jednou z hybných sil tématu je hledání nových principů a prosazování principů oběhového hospodářství a nových obchodních modelů.

Vize vývoje a aplikací tématu

Zkracování průběžné doby výrobních a montážních procesů lze spojovat především s těmito faktory: (i) vývojem systémů a znalostí pro organizaci výroby, optimalizací toku materiálu a rozmístěním a využitím pracovišť, virtuálními modely strojů a procesů, (ii) novými řešeními pro produktivnější, přesnější a opakovatelnější výrobu, (iii) rozvojem digitalizace, automatizace a monitoringu výrobních i nevýrobních procesů a činností, (iv) rozvojem a uplatňováním ekologizace procesů.

K hlavním směrům vývoje budou patřit zejména tato témata:

- Vývoj pro optimalizaci modelování procesů a systémů včetně toku materiálu.
- Vývoj přesných virtuální dvojčat systému a procesu.
- Výzkum a vývoj pro automatizaci výroby a měření.
- Vývoj nových strojů, nástrojů a komponent a výzkum jejich zdokonaleného využití.
- Výzkum a vývoj metod monitoringu procesu a způsobu uplatnění poznatků pro ovlivnění procesu.
- Vývoj ekologických, energeticky a materiálově méně náročných procesů.

3.4 Digitalizace pro výrobu

Význam tématu

Digitalizace, resp. digitální transformace je klíčovým prostředkem, který umožňuje nástup inteligentního průmyslu. Výroba a procesy související s distribucí materiálů a zboží a poskytováním služeb se v době průmyslové revoluce označované jako Průmysl 4.0 stávají zdrojem masivního množství dat. Přístup k nim, rychlost sběru, zpracování a analýzy jsou zásadními nástroji pro schopnost výrobní procesy efektivněji plánovat a řídit a současně dosahovat jejich vyšší produktivity. Digitalizace je trendem, který zahrnuje řadu témat. K hlavním oblastem, které souvisí primárně se strojírenskou výrobní technikou, patří a) sběr dat a datový management, b) propojení zařízení do internetu věcí (IoT), c) rozvoj distribuované výroby a pružné podnikové provozní strategie. Digitalizaci v kontextu strategických témat SVA chápeme jako řešení, které je předpokladem pro navazující využití dat v konceptu chytré výroby.

Postupy měření ve výrobě a monitorování výrobních procesů byly rozvíjeny dlouho před skokem, který přinesla digitalizace v rámci konceptu Průmysl 4.0. Ta se stala díky nástupu výkonných hardwarových a softwarových prostředků hlavním urychlovačem, který do té doby často samostatná a nepropojená data posouvá na kvalitativně vyšší úroveň. V průmyslovém světě představuje digitalizace jedno ze zásadních, aktuálních a naléhavých témat, bez kterých nebudou podniky schopny v nejbližší budoucnosti obstát na trhu a udržet konkurenceschopnost. Týká se to primárně zejména velkých a středně velkých podniků, pro které digitální transformace představuje přechod na nové modely řízení, na nové modely v oblasti nabídky produktů a služeb a na nové modely v oblasti komunikace se zákazníky. Bez odezvy nemůže digitální transformace zůstat ani pro malé podniky, pro které je její přijetí v současnosti nejvýznamnější výzvou. V tomto smyslu je téma digitální transformace významným společensko-politickým tématem, které definuje další rozvoj průmyslové společnosti. Jedná se o dlouhodobé téma s předpokladem masového rozšíření v budoucnu, a to díky dalšímu vývoji hardwarových a softwarových řešení, která povedou k stále většímu usnadnění technické implementace digitalizace v průmyslové praxi.

Rozvoj řešení digitalizace je předmětem zejména aplikovaného výzkumu na úrovni TRL 5–8. Aplikovaný i základní výzkum v oblasti digitalizace se odehrává významně mimo obor strojírenské výrobní techniky v oblasti senzoriky, elektroniky, softwarového inženýrství nebo kybernetické bezpečnosti. Oborový výzkum navazuje na výsledky v uvedených oblastech, zejména pokud jde o integraci řešení týkajících se monitorování strojů a procesů a datové komunikace. Cílem tohoto výzkumu je vývoj průmyslových řešení pro získání co nejúplnějších informací o průběhu celé výroby nebo o stavu jednotlivých výrobních operací a schopnost lepšího plánování a pružného řízení výroby. Úspěšný rozvoj digitalizace vyžaduje intenzivní a úzké provázání VaV témat oboru s tématy mimo obor.

Stav poznání v průmyslové praxi

Digitalizace je širokou oblastí, která prostupuje průmyslovou výrobu intenzivně již téměř půl století. Historické počátky souvisí s NC řízením strojů a se zaváděním CAD/CAM prostředků do navrhování produktů a s NC programováním. Od 90. let se použití CAD/CAM systémů stává postupně standardem a dochází také k integraci těchto nástrojů do CNC řízení.

Během poslední dekády se rozvíjí širší využití digitalizace zejména jako nástroje pro zajištění lepší konkurenceschopnosti a udržitelnosti výrobních procesů. Do vývoje v posledních dvou letech významně zasáhla koronakrize, která zásadně přispěla ke globálnímu urychlení digitální transformace a posunula digitalizaci o 3–5 let dopředu [1]. Např. podle výzkumu provedeného ve Velké Británii [20] téměř 80 % respondentů uvedlo, že během koronakrize navýšilo rozpočet na digitální transformaci. Došlo přitom k zmírnění překážek, jako je nedostatek jasné strategie (37 %), získání souhlasu vedení (35 %), neochota nahradit starší software (35 %) a nedostatek času (33 %). Obdobně v ČR téměř polovina výrobních firem uvádí, že bude v roce 2022 investovat do nových technologií [21]. Větší ochotu investovat uvádí zejména malé a střední podniky (59 %) oproti dvou pětinám (40 %) velkých firem, jak uvádí stejný zdroj. Za nejužitečnější přitom firmy uvádí analytiku velkých dat [21].

Sběr dat a datová komunikace jsou hlavními prostředky pro dosažení pokročilé úrovně monitorování procesů, pro identifikaci stavu stroje a procesu a pro využití dat důležitých k plánování a řízení výroby. Zásadním předpokladem je standardizace komunikačních formátů. V současnosti jsou rozvíjeny a v širším měřítku sdíleny např. protokoly MT Connect a OPC-UA. Významným omezujícím problémem je kybernetická bezpečnost dat a jejich suverenity. To jsou klíčové faktory pro úspěšné operace s daty ve vzdálených úložištích (cloud) a na lokálních zařízeních (EDGE computing) a pro aplikace dalších nástrojů, jako jsou digitální dvojčata a strojové učení (ML), umělá inteligence (AI), rozšířená a virtuální realita, stejně jako prediktivní údržba. Nové standardy a pravidla se snaží iniciovat komunita Gaia-X, která vznikla v r. 2021 [22]. Jejím cílem je vývoj softwarového rámce kontroly a správy dat, který lze aplikovat na jakákoliv data ukládaná a zpracovávaná vzdáleně, a zajistit transparentnost, ovladatelnost a přenositelnost napříč daty a službami. Služby Gaia-X budou vytvářeny, provozovány a přijímány prostřednictvím operátorů, kteří se standard Gaia-X rozhodnou přijmout.

Masivní rozšiřování množství senzorů ve výrobě a propojení výrobních pracovišť do internetu věcí (IoT) je v současnosti posilováno rozvojem 5G mobilní sítě. Ta umožní větší využití hybridních cloudů, které jsou kombinací lokální infrastruktury v podniku a veřejných cloudových služeb. Široké uplatnění v praxi nachází v současnosti měření efektivity zařízení a nástrojů Overall Equipment Effectiveness (OEE), které je prostředkem pro sledování vytiženosti strojů a jejich efektivního využití. V průmyslové praxi se v poslední době rozšiřuje využití výrobních informačních systémů (MES) a systémů zajišťujících plánování a řízení výroby (ERP), pro něž jsou podstatným vstupem data monitorovaná na výrobních zařízeních.

Díky těmto komunikačním prostředkům se rozvíjí koncept distribuované výroby, která se vyznačuje zvýšením transparentnosti výrobních procesů, pružnější komunikací, vzdálenou spoluprací mezi výrobními pracovišti a v neposlední řadě také schopností efektivní vzdálené spolupráce pracovníků. Distribuovaná výroba umožňuje efektivně reagovat na požadavky zákazníků a umožňuje vyrábět individualizované výrobky s produktivitou hromadné výroby.

Stav poznání ve výzkumu

Výzkumná témata v užším vymezení oblasti digitalizace jako zdroje dat jdou od klasifikace dat až po monitorování procesů. Klíčovou roli hraje rychlost sběru dat a rychlost odezvy jejich využití pro analýzu stavu procesů nebo jejich řízení od rychlých dat v řádu milisekund až po data v řádu hodin a dnů [9]. Přehledová publikace [24] uvádí postupy datové analytiky, které budou významně přispívat k pokroku v chytré výrobě. Se stále se zrychlujícím rozvojem informačních, komunikačních a snímacích technologií, jako je průmyslový internet věcí (IIoT) a vysoce výkonné nástroje, se očekává, že data z výroby porostou exponenciálně a budou generovat takzvaná „velká data“. Slibnou cestu zpracování velkých dat představují např. postupy statistického monitorování procesů (statistical process monitoring (SPM)) [25].

Cloudová výroba jako trend budoucí výroby bude schopná poskytnout společnostem nákladově efektivní, flexibilní a škálovatelná řešení sdílením výrobních zdrojů jako služeb s nižšími náklady na podporu a údržbu. Jedním ze směrů výzkumu je např. vývoj internetového a webového servisně orientovaného systému pro monitorování dostupnosti strojů a plánování procesů [26], [12].

Rostoucí počty variant produktů vyžadují adaptivní a flexibilní metody plánování procesů. To vyžaduje techniky monitorování stroje pro identifikaci stavu stroje téměř v reálném čase. Výzkum [28] využívá adaptivní mechanismus krátkodobého plánování, využívající monitorovací data pro upřesnění výrobních plánů na základě současných a budoucích podmínek výrobního procesu.

Reference

- [19] COVID-19 digital transformation & technology | McKinsey. McKinsey & Company | Global management consulting [online]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/how-covid-19-has-pushed-companies-over-the-technology-tipping-point-and-transformed-business-forever>
- [20] COVID-19 has sped up digital transformation by 5.3 years, says study | IoT Now News & Reports. IoT Publications, News, Magazine & Newsletter | IoT Now [online]. Copyright © 2022 IoT Now. Dostupné z: <https://www.iot-now.com/2020/07/23/104031-covid-19-has-spiced-up-digital-transformation-by-5-3-years-says-study/>
- [21] Národní centrum Průmyslu 4.0. Analýza českého průmyslu 2022: V krizi pomáhají chytré technologie průmyslu inspirovat a tvořit český Průmysl 4.0. NCP4.0 [online]. Dostupné z: <https://www.ncp40.cz/aktuality/analiza-ceskeho-prumyslu-2022-v-krizi-pomahaji-chytre-technologie-prumyslu-40>
- [22] Home – Gaia-X: A Federated Secure Data Infrastructure. Home - Gaia-X: A Federated Secure Data Infrastructure [online]. Dostupné z: <https://gaia-x.eu/>
- [23] Vijayaraghavan, A. – Dornfeld, D. (2010) Automated Energy Monitoring of Machine Tools. CIRP Ann. – Manuf. Technol. 59/1: 21–24.
- [24] Gao, R. X. – Wang, L. – Helu, M. – Teti, R. Big data analytics for smart factories of the future, CIRP Annals, Volume 69, Issue 2, 2020, Pages 668–692, ISSN 0007-8506
- [25] Qinghua, P. He – Wang, J. Statistical process monitoring as a big data analytics tool for smart manufacturing, Journal of Process Control, Volume 67, 2018, pp. 35–43, ISSN 0959-1524,
- [26] Caggiano, A. (2018) Cloud-based manufacturing process monitoring for smart diagnosis services. Int. J. Comput. Integr. Manuf. 31/7: 612–623.
- [27] Wang, L. Machine availability monitoring and machining process planning towards Cloud manufacturing. (2013) CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 6 (4), pp. 263–273.

[28] Mourtzis, D. – Doukas, M. – Vlachou, A. – Xanthopoulos, N. *Machine availability monitoring for adaptive holistic scheduling: A conceptual framework for mass customization (Open Access) (2014) Procedia CIRP, 25 (C), pp. 406–413.*

Vazby na hybné síly

Vývoj v oblasti digitální transformace reaguje na řadu hybných sil. V první řadě jsou firmy pod stále větším tlakem na udržení konkurenceschopnosti, která vyžaduje schopnost flexibilně reagovat na rychle se měnící požadavky a na stále rostoucí individualizaci zákaznických provedení produktů. Předpokladem konkurenceschopnosti bude přitom schopnost vyrábět v takto pružném prostředí výroby stejně produktivně, jako je tomu u hromadné výroby. Významným faktorem, stojícím za digitalizací, je snaha o zkracování doby uvedení výrobku na trh. Klíčový prostředek v tomto představuje monitorování výroby a výrobních procesů, které vede k lepšímu využití výrobní základny, dále lepší plánování a řízení procesů a schopnost flexibilní adaptace na průběžně se měnící vstupy a požadavky v rámci zvyšování užitečných vlastností strojů a technologického využití. Nedostatek kvalifikovaných pracovníků ve výrobě vynucuje intenzivní implementaci řešení, která by dokázala nahrazovat lidské rozhodovací procesy a která povedou k budoucí vizi chytré autonomní výroby. Rozšíření digitální transformace bude vyžadovat modifikaci profesních znalostí a dovedností jak na straně firem formou dodatečného zvyšování a rozšiřování vzdělání pracovníků, tak na straně poskytovatelů vzdělání (zejména střední a vysoké školy), kteří budou nuceni přizpůsobovat profily studia novým požadavkům. Digitalizace a vyšší flexibilita výroby otevře také nové možnosti oběhového hospodářství a nové modely nabídky služeb a produktů. Zastřešujícím faktorem jsou legislativně-regulační podmínky, které ve vazbě na celospolečenské dopady digitalizace budou postupy její implementace řídit a ovlivňovat.

Vize vývoje a aplikací tématu

Další postup digitální transformace průmyslu lze očekávat zejména v masivním rozšíření sběru dat a v monitorování procesů ve výrobních a obslužných provozech. Zdokonalování přehledu o stavu strojů a výrobních systémů je nezbytným předpokladem pro jejich produktivnější využití a zároveň pro schopnost flexibilně reagovat na aktuální vývoj požadavků na trhu. K hlavním směrům vývoje budou patřit zejména tato témata:

- Vývoj systémů datově provázaných a komunikujících zařízení a výrobních pracovišť (IoT).
- Rozšíření bezdrátové komunikace senzorů a zařízení pomocí 5G mobilní sítě.
- Průmyslová implementace jednotného standardu datových modelů.
- Zvyšování kybernetické bezpečnosti a zabezpečení dat.
- Rozvoj datové analytiky a vzdáleného (cloud) nebo lokálního (edge) zpracování dat.

3.5 Chytré výrobní systémy

Význam tématu

Dostupnost dat, komplexní hardwarová a softwarová infrastruktura a rozšíření cloudových a hybridních cloudových aplikací vedou k uplatňování řešení chytré výroby, resp. inteligentního průmyslu. Globálním trendem současnosti a blízké budoucnosti je postupná transformace řízených mechanických systémů na kyberneticko-fyzické systémy. Jejich hlavním znakem je provázání fyzického stavu na základě experimentálních a provozních dat s virtuální reprezentací pomocí pokročilých simulačních modelů. To umožní v důsledku dokonalejší řízení fyzických systémů, znalost jejich aktuálního stavu, predikci budoucího chování a propojení distribuovaných výrobních buněk a linek do vyšších spolupracujících celků. Chytrá výroba přispívá k naplňování hlavních průmyslových výzev, jako jsou rostoucí požadavky jakosti, výkonu, efektivity, spolehlivosti, individualizace a rozšiřování služeb, kdy kombinace řízení a práce s daty snímanými na reálných i virtuálních simulačních objektech pomůže vytvářet inovativní řešení. K hlavním tématům chytré výroby patří a) využití dat a rozšířená datová analytika, b) autonomní provoz a inprocesní identifikace stavu stroje a procesu, c) digitální dvojčata a kyberneticko-fyzické systémy. Všechna tato témata souvisí s rozvojem výrobních systémů, flexibilní automatizace a průmyslové robotiky.

Oblast datové analytiky představuje zásadní stupeň, který z velkých dat umožní vytěžit relevantní informace o provozním chování systémů nebo formulovat predikce, prognózy a doporučení k dalšímu vývoji. Významným nástrojem je nástup prostředků strojového učení (ML) a umělé inteligence (AI). Tyto prostředky budou nápomocné nejen při třídění dat, ale také při jejich zpracování a tvorbě náhradních, resp. rozšířených modelů.

Inprocesní identifikace stavu stroje a procesu na základě dat je jedním ze základních předpokladů pro naplňování vize autonomního výrobního systému, který bude schopen odbavovat vstupní požadavky na výrobu a její průběh, bude schopen adaptivního řízení na základě autonomního rozhodování o stavu procesu a dokáže sám nastavit procesní parametry. Cílem je eliminace vzniku nejakostních výsledků a maximalizace spolehlivosti procesů, tj. dosažení úrovně „zero-defect production“ a maximalizace produktivity. Tento aspekt bude nabývat zvýšeného významu zejména ve výrobě s vysokou mírou individualizace a customizace produktů.

Koncept digitálního dvojčete zahrnuje tři hlavní části, kterými jsou fyzikální produkty v reálném prostoru, virtuální produkty ve virtuálním prostoru a spojení dat a informací, svazující virtuální a skutečné produkty dohromady. Tato úroveň propojení reálných a virtuálních dat představuje kyberneticko-fyzické systémy (CPS), které se stanou nositelem integrovaných dat a také prostředkem pro

vzdálenou kontrolu průběhu výrobních operací. Kyberneticko-fyzické systémy budou sloužit k real-time monitorování fyzických systémů a procesů a k identifikaci jejich stavu a umožní jejich plnou autonomní kontrolu.

Vývoj chytrých výrobních systémů je jedním ze zásadních, aktuálních a naléhavých témat. Význam má napříč průmyslem od malých po velké podniky, kde bude znamenat významný krok k vyšší autonomnosti výroby. Chytrá výroba je významným společensko-politickým tématem, které definuje další rozvoj průmyslové společnosti. Jedná se současně o téma dlouhodobé. Je předmětem zejména aplikovaného výzkumu na úrovni TRL 5–8, jehož znakem je výrazná multioborovost, která zahrnuje oblasti informatiky, senzorky, měření a diagnostiky, elektroniky, matematického a fyzikálního modelování, simulací a řízení. V řadě z těchto témat je nutný i podíl základního orientovaného výzkumu.

Stav poznání v průmyslové praxi

Základem chytrých výrobních systémů nedaleké budoucnosti je současná úroveň moderní automatizace, robotizace a digitalizace výroby. Hlavní pilíře v těchto oblastech v současnosti představuje průmyslové využití robotů a jejich spolupráce s výrobními stroji, rozvoj datové komunikace mezi stroji a dalšími systémy, automatizovaný sběr procesních dat ze strojů a pokročilé způsoby programování a řízení.

Uplatnění průmyslových robotů je v řadě výrobních, měřicích nebo kontrolních operacích. Typické je uplatnění robotů zejména při montážních aplikacích a lehkých výrobních a obráběcích operacích s malým silovým zatížením. Řízení robotů je rozšiřováno o přídavnou senzorku (silové nebo optické navádění), která pomáhá provádět žádané operace autonomně a v závislosti na jejich aktuálním průběhu. Speciálními oblastmi nejnovějších aplikací je vývoj hybridních pracovišť spolupráce robota a člověka (kolaborativní roboty). Aktuálním trendem je řešení robotizace skladů a řízení zásobování, kdy se kromě nasazování autonomních (AGV) vozíků objevují i semiinteligentní AGV a autonomní skladové roboty.

Datová komunikace je v průmyslové praxi rozvíjena jak na úrovni stroj–stroj (nebo jiné výrobní zařízení), tak na úrovni přenosu dat ze strojů do nadřazených systémů plánování a řízení výroby (systémy MES a ERP). Tyto technologie procházejí intenzivním rozšířením a stojí za nimi průmyslový internet věcí (IIoT). Digitální provádění výrobních příkazů začíná získáním informací ze systému plánování podnikových zdrojů (ERP), na nějž navazuje rozesílání instrukcí na další místa a sběr dat o průběhu výroby. Monitorování výroby umožňuje získávat přehledy o vytížení a využití strojů a vytvářet detailní analýzy OEE (Overall Equipment Effectiveness). Tato data významně urychlují a usnadňují plánování a řízení údržby (prediktivní údržba), díky čemuž je možno přesně v čase plánovat servisní odstávky strojů a plánovat je s výhodou mimo výrobní cykly.

Digitální dvojčata patří mezi technologie s narůstajícím významem pro výrobní podniky a stala se jedním z hlavních nástrojů konceptu Průmysl 4.0 a inteligentního řízení procesů. Hlavním cílem uplatnění digitálních dvojčat je v současnosti virtuální testování, pokud jde o CNC- a PLC-řízení strojů, které je označováno jako tzv. modely virtuálního zprovoznění. Tyto modely jsou založeny na detailních modelech kinematiky stroje a jejího propojení s reálným CNC- a PLC-řízením. Využívány jsou modely virtuálního zprovoznění zejména pro úlohy PLC programování a pro ověření PLC programů dříve, než je postaven fyzický prototyp stroje. Díky věrné reprezentaci geometrie nosné stavby stroje, včetně senzorů a propojení se skutečným CNC řízením, jsou tyto modely výhodně nasazovány také např. k ověření bezkoliznosti NC programů, k ověření časové studie NC obrábění nebo k ověření součinnosti interpolace pohybových os strojů.

Stav poznání ve výzkumu

Výzkum v oblasti chytré výroby zahrnuje mnoho aspektů, které můžeme dělit na úroveň sběru dat, jejich analytiky a vývoje digitálních dvojčat – až po kyberneticko-fyzikální systémy. V první řadě se jedná o senzorku a monitorování stavu stroje a procesu. Jedním z intenzivně zkoumaných témat je např. monitorování opotřebení nástroje a predikce jeho skutečné životnosti, kdy jednou z výzev je využití měření strojních dat [29]. K dalším výzkumným tématům v oblasti monitorování a identifikace procesu patří např. integrita obrobenejších povrchů, stav komponent pohybových mechanismů a detekce samobuzeného kmitání [30]. Vyvíjeny jsou strategie pro monitorování a pro inprocesní identifikaci stavu komponent stroje, např. ložisek, kuličkových šroubů apod.

Rostoucí složitost a vysoká nepředvídatelnost ve výrobních činnostech vyžadují okamžitou reakci na vznikající poruchy, jako je snižování úzkých profilů a zamezení zbrzdění a nečinnosti kritických zařízení, aby se zvýšila produktivita. S agresivním tlakem na „internet věcí“ se data stávají dostupnějšími, což přispívá k prostředí „velkých dat“. Intenzivní pozornost výzkumu je zaměřována na vývoj IIoT sítí, monitorování a sběr dat, „cloudovou výrobu“ s podporou výpočtů na vzdálených úložištích (cloud) [31] a na aspekty kybernetické bezpečnosti dat a přístup k nim.

Výzkum virtuálního modelování strojů započal před více než dvěma desítkami let a v jeho počátcích byly zvládnuty základy propojeného modelování mechaniky stroje na základě metody konečných prvků s mechanikou pohonů a jejich regulací [32]. Intenzivní výzkum proběhl v posledních cca deseti letech zejména v oblastech, jako je pokročilé modelování výrobních procesů (řezný proces, tváření, aditivní technologie), řezný proces, simulace úběru materiálu, procesní síly, zdroje tepla v procesu a vývoj strategií pro modelování interakce stroje a procesu, včetně interakce stroje s poddajným obrobkem a nástrojem. Tyto druhy digitálních dvojčat označujeme jako

procesní digitální dvojčata, která přináší schopnost technologicky orientovaných aplikací s detailní predikcí výsledků výrobních operací, měřených produktivitou, přesností a kvalitou produktů [33].

Jeden z nejvýznamnějších směrů ve vývoji informatiky a informačních a komunikačních technologií představují kyberneticko-fyzikální systémy (CPS), což jsou systémy spolupracujících výpočetních entit, které jsou intenzivně propojeny s okolním fyzickým světem a jeho probíhajícími procesy. Základem kyberneticko-fyzikálních systémů (CPPS) jsou digitální dvojčata strojů a procesů, jejichž využitelnost rozšiřuje výzkum v oblasti informačních a komunikačních technologií a ve zpracování dat s využitím postupů strojového učení, umělé inteligence a výrobních věd a technologií [34].

Reference

- [29] Yen-Po Liu – Kilic, Z. M. – Altintas, Y. *Monitoring of in-process force coefficients and tool wear, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Volume 38, 2022, pp. 105–119, ISSN 1755-5817*
- [30] Teti, R. et al., *Advanced monitoring of machining operations, CIRP Annals - Manufacturing Technology 59 (2010) 717–739*
- [31] Ray, Y. – Zhong, Xun Xu – Klotz, E. – Newman, S. T. *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review, Engineering, Volume 3, Issue 5, 2017, pp. 616-630, ISSN 2095-8099*
- [32] Altintas, Y. – Brecher, C. – Weck, M. – Witt, S. *Virtual Machine Tool, CIRP Annals, Volume 54, Issue 2, 2005, pp. 115–138, ISSN 0007-8506*
- [33] Altintas, Y. – Kersting P. – Biermann D. – Budak E. – Denkena B. – Lazoglu I. *Virtual process systems for part machining operations, CIRP Annals, Volume 63, Issue 2, 2014, pp. 585–605, ISSN 0007-8506*
- [34] Monostori, L. *Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges (Open Access) (2014) Procedia CIRP, 17, pp. 9–13*

Vazby na hybné síly

Chytrá výroba a chytré výrobní systémy reagují na hybné síly z mnoha stran. Autonomnost výrobních systémů, schopnost adaptivně reagovat na změnu provozních podmínek a požadavků výroby a přizpůsobovat další vývoj výrobních operací těmto podmínkám je jedním z hlavních faktorů, které budou přispívat k zvyšování konkurenceschopnosti. Významnou motivací pro uplatnění chytrých výrobních systémů je tlak na individualizaci a customizaci výrobků a současně schopnost pružně reagovat na zákaznické požadavky a zkracovat dobu uvedení výrobku na trh. Díky těmto atributům se chytrá výroba stane jedním z hlavních prostředků nových možností oběhového hospodářství a nových modelů nabídky služeb a produktů. Uplatnění pokročilých postupů inprocesního vyhodnocování stavu stroje a procesu a adaptivního řízení umožní zvyšovat a optimalizovat technologické využití strojů.

Chytrá výroba významně pomáhá kompenzovat nedostatek kvalifikovaných pracovníků zejména díky implementaci postupů autonomního řízení výrobních procesů a díky snižování požadavků na množství operátorů ve výrobě. Nástup chytrých výrobních systémů bude vyžadovat rovněž změny ve struktuře a v zaměření profesních znalostí a dovedností a povede k intenzivnější poptávce po průběžném zvyšování odborných znalostí (up-skilling) a rekvalifikaci (re-skilling). Zastřešujícím faktorem jsou legislativně-regulační podmínky, které ve vazbě na celospolečenské dopady zavádění chytré výroby budou postupy její implementace řídit a ovlivňovat.

Vize vývoje a aplikací tématu

Chytré výrobní stroje a systémy jsou jedním z klíčových řešení moderní výroby. Lze očekávat, že větší uplatnění technologií internetu věcí (IoT), monitorování dat a jejich zpracování a kyberneticko-fyzikálních systémů (CPS), které budou součástí reálných procesů a budou se podílet na jejich autonomním a adaptivním řízení, se stane napříč průmyslovými firmami všech velikostí podstatným prostředkem pro udržení konkurenceschopnosti, vysoké produktivity výroby a schopnosti reagovat flexibilně na vývoj požadavků na trhu. K hlavním tématům vývoje budou patřit zejména:

- Bezobslužná výrobní pracoviště a systémy se schopností datové komunikace (mezi stroji a do nadřazených systémů plánování a řízení výroby) a adaptivního řízení pro bezchybovou výrobu.
- Systémy IoT pro kompletní datovou komunikaci mezi výrobními stroji, systémy plánování a řízením výroby (ERP, MES) a pro vzdálenou komunikaci se zákazníkem.
- Systémy prediktivní údržby a diagnostiky stavu stroje, nástroje a procesu.
- Kyberneticko-fyzikální systémy s real-time integrací experimentálních a simulačních dat. Inprocesní kontrola stavu stroje a procesu, prediktivní identifikace poruchových stavů.
- Procesní a real-time digitální dvojčata pro zdokonalené testování a pro predikci a vizualizaci výsledků výrobních procesů. Modely pro hodnocení výrobních vad produktů (subtraktivní, aditivní procesy), algoritmy a matematické simulační modely pro identifikaci zdrojů geometrických, dynamických a teplotně indukovaných výrobních chyb.
- Využití umělé inteligence (AI) a strojového učení (ML) pro vývoj a adaptivní modifikaci modelů chování systémů a pro využití predikce vývoje jejich stavu.
- Virtuální modely, modely virtuálního zprovoznění a digitální dvojčata strojů pro analýzu funkčnosti a bezkolizního provozu výrobních systémů.

3.6 Flexibilní automatizace

Význam tématu

Flexibilní automatizace představuje soubor hardwarových a softwarových nástrojů, které jsou v současné době klíčovými prvky rozvoje moderních výrobních systémů zajišťujících vyšší kvalitu, produktivitu a spolehlivost výroby při současném snížení energetické náročnosti provozu, tvorby emisí, spotřeby zdrojů a náročnosti obsluhy, to vše navíc s ohledem na vysokou míru individualizace vyráběných dílců. Z pohledu automatizace výroby jde vývojový trend tvořený třemi hlavními směry, které se vzájemně prolínají a doplňují: a) rozvoj robotiky; b) rozvoj spolupráce výrobních strojů a robotů; c) rozvoj datové komunikace mezi stroji a dalšími systémy pro zajištění jejich součinnosti, automatizovaný sběr procesních dat ze strojů, automatizace rozhodovacích mechanismů pro řízení strojů a pokročilé způsoby programování a řízení. Kromě technických atributů se téma prolíná i do oblasti sociální – do spolupráce strojních zařízení s člověkem, vícestrojové obsluhy a bezobslužného provozu výrobních zařízení.

V prostoru průmyslově rozvinutých zemí s vyšší životní úrovní (tj. včetně ČR) se jedná o aktuální téma, které je naléhavě řešeno jako jedna ze strategií zajišťujících nákladovou konkurenceschopnost výroby i v zemích s vyššími mzdovými náklady. Rozvoj nových technických řešení flexibilní automatizace je rozkročen mezi více technických vývojových oblastí – kromě strojírenství je to také elektrotechnika, elektronika, digitalizace a vývoj softwaru. To implikuje postupné změny ve výukové náplni středních i vysokých odborných škol, změnu struktury znalostí pracovníků v průmyslu a potřebu celoživotního vzdělávání. Tímto svým dopadem se z automatizace stává společensko-politické téma s širokým dopadem na společnost a na její rozvoj. Jedná se o téma dlouhodobé, kdy zlepšování je dosahováno postupnou evolucí v dílčích systémech (senzory, pohony a řízení, roboty aj.) i rychlým rozvojem na úrovni revoluce v oblasti digitalizace a datové integrace pro zdokonalený monitoring a řízení strojů a procesů (Průmysl 4.0). Rozvoj řešení je intenzivně hnán potřebami firem v oblasti udržení konkurenceschopnosti. Dominantní objem výzkumu se tedy realizuje na úrovni TRL 5-8, což odpovídá aplikovanému výzkumu (realizovanému firmami i výzkumnými organizacemi). Dílčí VaV témata spojená s flexibilní automatizací jsou obsažena v rámci oboru SVT (zejména na úrovni cílové integrace systémů) i mimo něj (zejména řešení v oblasti digitalizace, průmyslové komunikace a softwaru). VaV v oboru i mimo obor SVT jsou dnes úzce provázána a vzájemně se posouvají dopředu.

Stav poznání v průmyslové praxi

Oblasti rozvoje robotiky je v praxi firem velmi obsáhlá a pokrývá rozvoj průmyslových (nekolaborativních) robotů, kolaborativních robotů a mobilních robotů. Jedná se zejména o zajištění výrobních operací s komplexní kinematikou procesu, potřebou přídavné sensoriky a menším silovým zatížením robotu, jako jsou např. technologie aditivní výroby, laserové technologie, technologie textilní výroby, měřicí, kontrolní a montážní technologie. Samostatnou část tvoří průmyslové roboty pro třískové výrobní operace, které navíc reflektují vliv tuhosti a tlumení robotu na výrobní proces. S požadavkem flexibility výroby je spojeno i téma synchronní spolupráce robotů, automatická výměna pracovních hlavic a bezpřípravkové technologie. Z pohledu zajištění toku materiálu je zde téma mobilní robotiky, zahrnující automatické generování dráhy, vyhýbání se překážkám a spolupráci s ostatními výrobními stroji a dalšími roboty. Přesnost a produktivita v provozu všech typů robotů jsou zvyšovány kalibracemi, kompenzacemi a osazením přídavnými senzory polohy, sil a obrazu. Samostatnou oblastí je kolaborativní robotika, tj. bezpečná spolupráce robota s člověkem. Mezi hlavní aktuální trendy patří efektivní plánování hybridních pracovišť (člověk a robot), intuitivní způsoby programování a kolaborativní robotika v oblasti rozměrných a těžkých dílců, která s sebou nese specifické požadavky na provozní bezpečnost. Cílem výzkumu a vývoje v oblasti robotiky je vytvoření flexibilních výrobních linek s minimální potřebou podpory člověka v oblasti přípravy a plánování výroby a s minimálními nároky na obsluhu v oblasti provozu.

Oblast rozvoje spolupráce výrobních strojů a robotů znamená primárně synchronní spolupráci výrobních strojů a robotů. Tj. robot působící v pracovním prostoru výrobního stroje zajišťuje operace mimo hlavní řezný proces, např. pre- a postprocesní kontrolu dílce, flexibilní opěru poddajných dílců, stabilizaci spolehlivosti výrobního stroje zajištěním pomocných operací oplachu a čištěním pracovního prostoru apod. Hlavními výzvami je synchronní řízení strojů a robotů, automatické generování NC kódu pro pohyb robotu, odvozené od pohybu výrobního stroje, a automatická eliminace kolizních stavů. Cílem výzkumu a vývoje v této oblasti je zajištění hlavních užitných vlastností výrobních strojů v extrémních případech (poddajné dílce, rozměrné dílce) a též zajištění spolehlivého bezobslužného provozu stroje při zajištění nižší spotřeby energie (robot nahrazuje lidskou obsluhu a je schopen adaptivní reakce na konkrétní situaci).

Oblast rozvoje datové komunikace výše uvedené oblasti propojuje a dále je rozšiřuje. Rozvoj datové komunikace mezi stroji a dalšími systémy je nutný pro zajištění jejich úzké a efektivní součinnosti, implementaci pokročilých způsobů řízení výroby a její optimalizaci a také pro diagnostické nástroje. Zde se jeví největším problémem standardizace komunikace. Existují akceptované komunikační protokoly, např. MT Connect [35] nebo OPC-UA [36], dosud však nedošlo ke sjednocení datových modelů pro komunikaci mezi stroji. O určitou standardizaci v oboru výrobní techniky usiluje komunita UMATI [37], v praxi se však stále používá mnoho nekompatibilních řešení [38]. S ohledem na flexibilitu výroby, mobilní robotiku, pokročilé příslušenství sdílené mezi více technologiemi a na sledování stavu distribuovaných výrobních kapacit jsou součástí tématu např. i technické prostředky pro komunikaci bezdrátové sítě páté generace (5G). Návazně na řízení pohybu strojů a jejich nástrojů a pracovních hlavic toto téma obsahuje sběr dat z provozu strojů, jejich zpracování a ukládání pro inprocesní i postprocesní analýzu kvality výroby. Metody zpracování dat formou edge computingu (rychlé zpracování na stroji, směřující k real-time vyhodnocení stavu procesu a k jeho ovlivnění), fog computing nebo cloud computing (zpracování velkých dat na lokálních nebo sdílených úložištích), které umožňují propojení výrobních dat s PDM (product data

management), jsou prostředky datového propojení zajišťujícího pružnou automatizaci pro sériovou i kusovou výrobu, digitalizaci výroby pro sledování a také řízení, optimalizaci, individualizaci výroby a širší propojení výrobních strojů.

Stav poznání ve výzkumu

Stav poznání ve výzkumu v oblasti flexibilní automatizace lze rozdělit na tři úrovně. Nejvyšší úroveň je úroveň „systémy systémů“, kde se výzkum zaměřuje zejména na integraci jednotlivých hardwarových prvků (assets) a datovou komunikaci mezi nimi. Silným tématem jsou zejména různé pohledy na synergické využití dat pro různé provozní aplikace. Výzkum je úzce spojen s novou generací výrobních zařízení označovaných jako kyberfyzické systémy (Cyber-Physical Systems – CPS); do celé systémové integrace vnáší kromě fyzických zařízení též jejich virtuální modely (digital twin) a virtuální obrazy konkrétních zařízení (digital shadow). Lee et al. [39] definovali pět úrovní toku dat pro analýzu chování digitálně propojených systémů: propojení systémů (connection), sběr a zpracování dat (conversion), aplikaci dat pro analýzu stavu stroje (cyber level), predikci výstupní kvality výroby (cognition level) a samořízení a sebeoptimalizaci nastavení stroje (configuration level). Jednotlivé úrovně a funkční vazby mezi nimi mohou představovat jak komplexní výzkumné oblasti, tak i obchodní příležitosti a nové úrovně zpracování dat (edge/fog/cloud/sky computing) [40], [41].

Nižší úrovně jsou jednotlivé „systémy“, které sestávají ze strojů, přídavných senzorů a softwaru pro vyhodnocení dat mezi nimi. Zde se oblast flexibilní automatizace prolíná s oblastí tzv. smart výrobních strojů. Typickými výzkumnými tématy jsou nové postupy pro překonávání tradičních slabin některých strojů s využitím pokročilých metod sensoriky a řízení. Příkladem je např. problematika obrábění roboty [42] nebo zpětnovazební řízení kvality u tvářecích operací [43].

Nejnižší úrovní tématu jsou jednotlivá zařízení („units“). Ty typicky sestávají z jednotlivých strojních zařízení, kdy se jedná o široké spektrum výzkumných a vývojových aktivit výzkumných pracovišť i firem v oblasti zlepšování mechanické konstrukce, pohonů a řízení, konektivity a průmyslové komunikace s cílem zlepšit integrovatelnost zařízení do výše uvedených „systémů“ a linek.

Reference

- [35] MTConnect standard (ANSI/MTC1.4-2018). <https://www.mtconnect.org/>
- [36] OPC foundation. <https://opcfoundation.org/>
- [37] UMATI – Universal Machine Technology Interface UMATI. <https://umati.org/>
- [38] Kurfess, T. R. – Saldana C. – Saleeby, K. – Dezfouli, M. P. A Review of Modern Communication Technologies for Digital Manufacturing Processes in Industry 4.0. 2020, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 142, no. 110815.
- [39] Lee, J. – Bagheri, B. – Kao, H.-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. 2015, *Manufacturing Letters*, vol. 3, pp. 18–23.
- [40] Qu, Y. J. – Ming, X. G. – Liu, Z. W. – Zhang, X. Y. – Hou, Z. T. Smart manufacturing systems: state of the art and future trends. 2019, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 103, pp. 3751–3768.
- [41] Tao, F. – Qi, Q. – Wang, L. – Nee, A. Y. C. Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. 2019, *Engineering*, vol. 5, pp. 653–661
- [42] Verl, A. – Valente, A. – Melkote, S. – Brecher, C. – Ozturk, E. – Tunc, L. T. Robots in machining. 2019, *CIRP Annals*, vol. 68, issue 2, pp. 799-822.
- [43] Allwood, J. M. – Duncan, S. R. – Cao, J. – Groche, P. – Hirt, G. – Kinsey, B. – Kuboki, T. – Liewald, M. – Sterzing, A. – Tekkaya, A. E. Closed-loop control of product properties in metal forming. 2016, *CIRP Annals*, vol. 65, issue 2, pp. 573-596.

Vazby na hybné síly

Česká republika je tradičně velmi průmyslovou zemí s velkým objemem realizované fyzické výroby. Větší objem výroby spadá do oblasti subdodávek větších (typicky zahraničních) dodavatelských řetězců, menší objem představuje výroba zařízení finalizovaných v ČR. Je to důsledek geografické polohy země, historicky nižších mzdových nákladů a vzdělané a zkušené pracovní síly. V posledních letech však v důsledku rostoucí customizace produktů, deglobalizace produkce a demografických změn dochází k naprosté změně vnějších podmínek, za kterých si české firmy mohou konkurenceschopnost udržet. Sociální prostředí a stav techniky se vzájemně ovlivňují a posilují své trendy. V důsledku demografických změn, definovaných zejména odchodem silných populačních ročníků s celoživotními zkušenostmi do důchodu, roste ve firmách nedostatek kvalifikovaných pracovníků. Trh současně tlačí na menší výrobní série s větším stupněm individualizace zákaznických požadavků. Tento rozpor je pro udržení konkurenceschopnosti firem řešitelný pouze flexibilní automatizací, která umožňuje zvýšit produktivitu výroby (objem výroby přepočtený na jednoho pracovníka) a současně časově a nákladově nenáročnou rekonfiguraci na jiný typ vyráběného dílce. Základními kameny flexibilní automatizace je proto rozvoj robotiky, rozvoj spolupráce výrobních strojů a robotů a rozvoj datové komunikace mezi stroji a dalšími systémy pro zajištění jejich součinnosti. Výroba osazená těmito prostředky flexibilní automatizace má však modifikovanou strukturu profesních znalostí a dovedností. To klade na straně uživatele nároky na rozšiřování znalostí stávajícího personálu v jiných technických oblastech (upskilling) a na straně výrobců zařízení na jednoduché a intuitivní nástroje pro přípravu zařízení a procesů na těchto strojích (human-centered design). Rámcem celé problematiky flexibilní automatizace je legislativně-regulační prostředí, které definuje omezení provozu z pohledu lidské obsluhy, bezpečnosti a ochrany zdraví a v budoucnu pravděpodobně též z pohledu spotřeby energie a emisí CO₂.

Vize vývoje a aplikací tématu

Další vývoj v oblasti flexibilní automatizace lze však očekávat v integraci komunikace a zpracování dat. To umožní rozvoj dokonalejších strojů, robotů a DAQ hardwaru pro snímání, zpracování a využití dat v oblasti online řízení strojů a celého procesu. Na základě toho lze uvést příklady typických oblastí dalšího vývoje a jeho hlavní motivace:

- Hybridní výrobní pracoviště kombinující výrobní stroj a robot pracující v automatickém bezkolizním provozu, aby se naplnily zvyšující se nároky výrobního výkonu a produktivity, jakož i energetické a ekonomické efektivity a zvyšující se nároky na zákaznickou individualizaci.
- Autonomní pracoviště, která budou schopna spolehlivě pracovat v delších časových horizontech a reflektovat customizaci vyráběných produktů.
- Systémy automatické kontroly výrobního prostoru a vyrobeného dílce, aby se zajistil bezkolizní provoz, eliminace manipulačních operací a požadovaná kvalita a produktivita výroby.
- Rozšíření prostředků komunikace mezi výrobními stroji a dalšími zařízeními, včetně využití nových technologií pro přenos dat a napojení na systémy sledování výroby, aby se zajistila rozsáhlejší integrace systémů do komplexnější celků.
- Technologická příprava a optimalizace výrobního postupu na základě skutečného stavu výrobní základny, integrace nových softwarových funkcionalit a intuitivní ovládání strojů/robotů, aby se zajistilo efektivnější využívání disponibilních výrobních strojů a jejich snadnější ovládání.
- Energetický monitoring a snižování energetické náročnosti.
- Kolaborativní robotika, pokročilé způsoby programování (např. učení od živého operátora) a vzájemná spolupráce robotů jako reakce na protichůdné trendy, jimiž je růst nároků na zákaznickou individualizaci a stárnutí zkušené populace.
- Rozvoj modulárních systémů se snadnou rekonfigurovatelností a možností přesunu mezi technologiemi. Součástí je automatická identifikace polohy robotu/stroje v rámci dané technologie a snadné propojení s ostatními zařízeními.

3.7 Využití principů cirkulární ekonomiky

Význam tématu

Cirkulární ekonomika spojuje několik principů, které nám umožňují používat minimum přírodních zdrojů a zároveň produkovat minimální množství odpadu. Pro přehlednost a zjednodušení uvádíme šest důležitých přístupů a principů, které jsou dle Institutu cirkulární ekonomiky (INCIEN) pro zavádění cirkulární ekonomiky do praxe klíčové.

Ekodesign: Od návrhu produktu tak, aby měl minimální dopad na životní prostředí (nebo rovnou dopad pozitivní), a to během celého jeho životního cyklu (například 100% biologicky rozložitelné výrobky, které však nejsou producenty mikropolutantů a nijak nezatěžují životní prostředí.)

Průmyslová symbióza: Odpad jednoho se stává zdrojem pro ostatní. Tento přístup cílí na omezení vlivu průmyslu na životní prostředí (například industriální ekopark Kalundborg v Dánsku). Často je průmyslová symbióza založena na přeměně odpadů ve zdroje, na využívání odpadní energie či na recyklaci vod.

Sdílená ekonomika: Pronájem místo nákupu. V rámci fungování ekonomiky funkcionality nepotřebujeme produkt jako takový, ale službu, kterou nám poskytuje. (Příklad: Sdílení automobilů umožňuje redukci primárních materiálů a snižuje i uhlíkovou stopu nebo sdílení pracovních nástrojů).

3R principy (redukovat, znovupoužívat, recyklovat): Tyto tři metody dávají nový život předmětům, které se měly stát odpadem. 3R principy zahrnují široké spektrum příkladů od vzniku tzv. re-use center, kam lidé mohou odevzdávat produkty, které již dále nevyužijí, po zpětný odběr produktů samotným výrobcem, který je recykluje a snižuje tak množství primárních zdrojů, nezbytných pro výrobu nových produktů.

Cradle to cradle: myšlenka, že produkt je navržen tak, aby mohl být do nekonečna recyklován, se blíží principům, které fungují i v přírodě. Díky tomu mají produkty neutrální nebo pozitivní dopad na prostředí (například tzv. interface koberce, které jsou recyklovatelné do nekonečna).

Biomimikry: Tato disciplína analyzuje řešení poskytovaná přírodou a snaží se je aplikovat do výroby nových produktů a služeb. (Například koncepce budov v poušti, jejichž konstrukce je inspirována kaktusy, u kterých jsou vertikální branches využívány jako stínidla, snižující potřebu vnitřní klimatizace.)

Cirkulární ekonomika (též oběhové hospodářství – například v právu EU) je koncept, který je integrální součástí udržitelného rozvoje. Zabývá se způsoby, jak zvyšovat kvalitu životního prostředí a lidského života zvyšováním efektivity produkce. Klíčové je, aby používané materiály byly navzájem odděleny do dvou nezávisle cirkulujících okruhů, jež se řídí rozdílnou logikou. První operuje s látkami organického původu, které jsou snadno odbouratelné, a u nichž proto není problém navrátit je zpět do biosféry. Druhý operuje se syntetickými látkami, jež by měly být do produktů vkládány tak, aby bylo možné je z nich následně extrahovat a opět použít a nebylo tak nikdy nutné je do biosféry navracet.

Zásadní roli hrají logistické řetězce (jejich struktura a realizace, včetně výrobní logistiky, dopravy a skladování) a logistické cykly včetně recyklace. Metodou posuzování životního cyklu není obtížné dojít k závěru, že pokračovat s tradiční produkční koncepcí cradle to grave (od kolébky do hrobu), vycházející z lineárního produkčního řetězce, není cestou k dosažení udržitelného průmyslu. V tomto modelu vzniká odpad jak na konci řetězce v podobě použitého výrobku, tak v průběhu výrobního procesu. Odpadem mohou být třeba zplodiny vzniklé při transportu nebo rafinaci, přebytky výroby nebo obaly.

Design výrobku v produkčním řetězci podle zásad cradle to cradle by měl zohledňovat environmentální šetrnost, možnost rozebrání na jednotlivé materiály a zdravotní nezávadnost prvotního produktu. Jednotlivé součástky musí být možné snadno přeměnit zpět na zdrojovou surovinu, z níž lze vyrobit výrobek o srovnatelné kvalitě, jakou měl ten původní.

Snahou cirkulární ekonomiky je dosáhnout toho, že odpad v podstatě nebude existovat. Biologické i technické komponenty produktu jsou navrženy záměrně tak, aby mohly cirkulovat a aby je bylo možné rozložit na suroviny a znovu použít. Syntetické látky jsou navrženy tak, aby mohly být použity znova při spotřebě minimálního množství energie. Abychom cirkulární ekonomiky dosáhli, musíme se soustředit na výrobu produktů s delší životností, které bude možné snadno modifikovat a opravit. Za zmínku stojí i strategie emočně trvanlivého designu. Systémy produkující rozmanité výrobky a materiály v široké škále velikostí a variant jsou odolnější vůči náhlým změnám než systémy postavené čistě na efektivitě. Nelze uvažovat v parametrech cirkulární ekonomiky, pokud tempo, kterým čerpáme zdroje, vytváří nejistotu, zda pro budoucí generace budou moci existovat v rámci stejných produkčních a spotřebních parametrů.

Nezbytností je schopnost uvažovat v dlouhodobém horizontu a schopnost dávat různé jevy do souvislosti. Společnost se musí rozvíjet nejen s ohledem na ekonomickou stránku, ale také brát ohled na kvalitu života a na environmentální ochranu.

Cirkulární ekonomika zpochybňuje způsob lineárního uvažování, který říká, že výsledek procesu musí být vždy uměřený vstupu. Upozorňuje na to, že jakékoli přírodní systémy jsou schopné se evolučně vyvíjet pozitivním směrem. Hovoříme pak o biomimetickém aspektu cirkulární ekonomiky a napodobujeme přírodu co do efektivit využívaní zdrojů a co do vytváření udržitelných ekosystémů.

Stále bojujeme s názorem, že ekonomický růst je nutně spjat se zhoršováním životního prostředí a kvality života. Tedy pokud hovoříme o environmentální politice, diskuse probíhá spíše o zmírňování negativních dopadů průmyslové výroby. Cirkulární ekonomika znamená přechod od minimalizace negativních dopadů k optimalizaci dopadů pozitivních.

Výrobky a služby obecně mají za cíl uspokojovat nějakou lidskou potřebu. Díky technologickému pokroku a vlastním environmentálním nárokům se obvyklá řešení, jak toho dosáhnout, mohou stále častěji zdát neakceptovatelná. Je potom lepší se zamyslet, jak potřebu uspokojit jinak než pouze zmírňováním negativních externalit. Posuzování životního cyklu by mělo určit, která z variant, mezi nimiž vybíráme, je udržitelnější.

Myšlenky cirkulární ekonomiky často kombinují různé disruptivní inovace. Důležitý je také holistický přístup k životnímu cyklu výrobků a navržení takových systémů, které nejen chrání životní prostředí, ale také generují zisk a jsou součástí ekonomického růstu. Ekonomický růst jako takový se však v cirkulární ekonomice neměří klasickými indikátory, jako je například růst HDP, ale zejména zvyšováním efektivit, snižováním negativních externalit a zvyšováním životního blahobytu obyvatel.

Cirkulární ekonomika je koncept, který se zaměřuje na udržitelný rozvoj a zahrnuje sociální, ekonomické i environmentální aspekty. Z hlediska výroby je to model, který umožňuje firmám efektivně nakládat se zdroji a stát se dlouhodobě udržitelnými. A takový model může být dokonce ekonomicky výhodný.

Inspirací je sama příroda, která své dostupné zdroje využívá způsobem, jenž netvoří žádný odpad. V ekonomice není vždy reálné, aby byly veškeré materiály stoprocentně využity beze zbytku, nicméně je nutností zažité modely měnit, neboť světová poptávka po zdrojích významně převyšuje množství, které je naše planeta schopna zajistit a obnovit udržitelným tempem. Jinak řečeno, pokud se nic nezmění a náš přístup k výrobě bude stát na lineárním modelu, postupem času budeme čelit vážnému nedostatku některých nerostných surovin. Až 80 % spotřebního zboží se po prvním půl roce používání stane odpadem. Dle některých propočtů náš konzumní způsob života způsobuje, že v současnosti potřebujeme 1,6 naší planety, abychom zajistili zdroje pro naši spotřebu a absorbovali náš vlastní odpad. Při stávajícím trendu to budou v roce 2030 již planety dvě. V kombinaci s nárůstem populace nám hrozí, že některé klíčové zdroje v dohledné době nebude kde těžit. Odhady kdy se ve vědecké komunitě různí, avšak o tom, že se blíží doba, kdy budeme řešit akutní nedostatek některých materiálů, pochyb není.

Abychom se chovali cirkulárně, musíme změnit naše myšlení už při samotném designu výrobků. Při návrhu nových produktů je důležité myslet na to, odkud a jaké materiály používáme, co se s výrobkem stane po ukončení jeho životnosti, jaké zdroje energie potřebujeme na jejich výrobu. V cirkulární ekonomice v ideálním případě neexistuje odpad. Je založena na funkčních a nekončících cyklech, ve kterých jsou materiálové toky uzavírány a znovu využívány ve výrobě, přičemž při koloběhu neztrácí svou hodnotu. V praxi to znamená zaměřit se na trvanlivost produktů, jejich opětovné použití, repasování a recyklaci, aby výrobky, komponenty a materiály zůstávaly v koloběhu nekončícího cyklu a nestávaly se odpadem. Vzniká i potřeba efektivně oddělit přírodní a technické cykly. Zjednodušeně řečeno, v přírodních cyklech pracujeme s materiály, které dokáže příroda zpracovat, neboť tyto materiály se časem rozloží a zemi dodají zpátky potřebné živiny. V technologických cyklech naopak kolují materiály, se kterými si příroda poradit neumí. Jsou to například plasty, kovy nebo syntetické chemikálie, které je potřeba udržet v neustálém koloběhu a které se musíme naučit opětovně využívat.

Průmysl se na znečišťování životního prostředí podílí největší měrou, proto jsou namísto pobídky, které motivují firmy k tomu, aby se staly šetrnějšími. Již nyní existuje mnoho příležitostí, jak cirkulární projekty financovat. Nejsmyslnější jsou ty, které podporují výzkumné a vývojové aktivity firem vedoucí k dlouhodobé udržitelnosti.

Stav poznání v průmyslové praxi

Přijetím tzv. Zelené dohody (European Green Deal) pro Evropu se v členských státech EU nastartovala transformace na zelenou ekonomiku. Klíčovými je sedm oblastí, ze kterých podrobněji komentujeme jen ty blíže vázané na oblast strojírenství:

Transformace hospodářství a společnosti

Všech 27 členských států Unie se zavázalo, že do roku 2050 přemění Evropu v první klimaticky neutrální kontinent. Proto přislíbily, že do roku 2030 sníží emise nejméně o 55 % oproti roku 1990. Otevrou se tak nové možnosti, jak inovovat a investovat, snížit emise, vytvářet nová pracovní místa a příležitosti, řešit problém energetické chudoby, snížit závislost na dodávkách energie ze zahraničí, zlepšit zdraví a životní podmínky obyvatelstva.

Udržitelná doprava pro všechny

Vyžaduje a podporuje (trh s vozidly s nulovými nebo nízkými emisemi, včetně infrastruktury k nabíjení trasy) náročnější cíle v oblasti snížení emisí CO₂ u nových osobních automobilů a dodávek: 55% snížení emisí z osobních automobilů do roku 2030, 50% snížení emisí z dodávek do roku 2030, žádné emise z nových automobilů do roku 2035. Kromě toho se na silniční, leteckou a námořní dopravu bude od roku 2026 vztahovat systém obchodování s emisemi, což znamená, že za znečišťování se bude platit.

„Třetí průmyslová revoluce“

Očekává se, že elektrifikace hospodářství a rozsáhlejší využívání obnovitelných zdrojů energie vytvoří v těchto odvětvích vyšší zaměstnanost. Zvyšování energetické účinnosti budov vytvoří pracovní místa ve stavebnictví a vyšší poptávku po místní pracovní síle. Nové návrhy v této oblasti budou mít dopad na celé hodnotové řetězce v odvětvích, jako je energetika, doprava, stavebnictví a renovace: 35 milionů budov, které je možné zrekonstruovat do roku 2030, 60 000 dalších zelených pracovních míst, které je možné vytvořit ve stavebnictví do roku 2030.

Ekologičtější energetický systém

Cíl do roku 2030 snížit emise skleníkových plynů alespoň o 55 % => zvýšit podíl energie z obnovitelných zdrojů a energetickou účinnost => zvýšit plánovaný závazný podíl obnovitelné energie v energetickém mixu EU na 40 %. Návrhy prosazují stanovení dodatečných cílů týkajících se používání obnovitelných paliv, jako je vodík v průmyslu a dopravě: 40 % – nový cíl v oblasti energie z obnovitelných zdrojů do roku 2030; 36–39 % – nové cíle v oblasti energetické účinnosti do roku 2030 pro konečnou spotřebu energie a spotřebu primární energie + systém zdanění energetických produktů.

Renovace budov podporující ekologičtější životní styl

Jednání v souladu s přírodou v zájmu ochrany planety a zdraví nás všech

Podněcování klimatických opatření na globální úrovni

Průmysl a strojírenství se na přechod na cirkulární ekonomiku a oběhové hospodářství podle stávající koncepce spíše připravují a průmyslová praxe je zatím omezena na konkrétní jednotlivé případy. Některé principy oběhového hospodářství je pro průmysl snadnější aplikovat, jiné jsou vzdálené. Pravděpodobně nejnáročnější je oblast vazby na samotné hodnotové řetězce v oblasti, kdy je v současnosti hlavní zisk firmy postaven na prodeji nových produktů. Zde bude náročné hledat cesty ke změně samotného paradigmatu, kdy by firma mohla vytvářet primární zisk na základě jiných procesů, které přímo nepodporují vyšší produkci a prodeje nových zařízení.

Pokud chceme nahlédnout priority pro český průmysl v oblasti stimulace a nastartování zavádění principů oběhového hospodářství, je možné sledovat stávající zacílení podpory Ministerstva průmyslu a obchodu na následující vybraná témata, resp. na podporované aktivity:

- Pořízení inovativních technologií na získávání, zpracování a využívání druhotných surovin z výrobků a materiálů s ukončenou životností a na výrobu výrobků s obsahem druhotných surovin.
- Podpora inovativních technologií k získávání a zpracování druhotných surovin (např. vedlejší produkty, eliminace odpadu, neshodné výrobky).
- Investice do inovativních technologií umožňujících nové nebo vyšší využití druhotných surovin jako náhrad primárních zdrojů.
- Investice do inovativních technologií ke snížení materiálové náročnosti výroby a náhrada primárních vstupních surovin druhotnými.
- Optimalizace materiálového ekodesignu výrobků za účelem usnadnění recyklace a opětovného použití.
- Projekty a realizace průmyslové symbiózy.

- Zlepšení materiálové recyklace odpadů a jejich opětovného použití.
- Důraz na zpětné uzavírání materiálových cyklů, zejména na podporu materiálové recyklace.
- Zavádění materiálového ekodesignu výrobků (podpora inovativních výrobních technologií uplatňujících remanufacturing).

Velmi cennými zdroji pro pochopení cirkulární ekonomiky a udržitelného rozvoje i ve vazbě na strojírenství a náš obor jsou následující dokumenty a zdroje:

Národní strategie: STRATEGICKÝ RÁMEC CÍKULÁRNÍ EKONOMIKY ČESKÉ REPUBLIKY 2040, „MAXIMÁLNĚ CÍKULÁRNÍ ČESKO V ROCE 2040“, Ministerstvo životního prostředí, listopad 2021

Brožura: CÍKULÁRNÍ ČESKO, výstup projektu TL01000317 s názvem „ODPAD ZDROJEM neboli uplatnění nových metod výzkumu pro rozvoj cirkulární ekonomiky v ČR“

Brožura: The Eco-Factory – Solutions for Experts and Decision Makers

Brožura: CECIMO Circular Economy Report, April 2019, THE EUROPEAN MACHINE TOOL SECTOR AND THE CIRCULAR ECONOMY

Institut cirkulární ekonomiky: <https://incien.org/>

Pohledem oboru strojírenská výrobní technika

Obor strojírenské výrobní techniky není velkým spotřebitelem vody ani samotné výrobní stroje vodu nespotřebovávají ve větší míře, proto tento pilíř politiky EU a ČR, co se týče hospodaření s vodou, není primární. Primárními oblastmi, ve kterých se může obr SVT zapojit do procesu přechodu na oběhové hospodářství, je vázaný zejména na materiál a energii. V současné době je obor SVT již ve fázi, v níž – mezi roky 2008 a 2020 – prošel fází, kdy se většina firem věnovala tématu spotřeby elektrické energie produkovaných výrobních strojů. Tato vlna optimalizace byla iniciována jak vlnou ekodesignu v oblasti „machine tools“ v konkurenčních zemích produkujících výrobní stroje, tak zejména zájmem Evropské komise o vytvoření „štitkování“ výrobních strojů z energetického hlediska, obdobně jako je tomu například u domácích spotřebičů. Většina výrobců SVT v ČR na svých strojích realizovala mnoho opatření, která snižují spotřebu elektrické energie a stlačeného vzduchu, a to jak opatření softwarových, tak i opatření vedoucích ke změně ve stavbě strojů a zařízení. Na základě analýz životního cyklu a dopadů výrobních strojů „machine tools“ na životní prostředí, analýz prováděných zejména v Německu okolo roku 2010, bylo identifikováno, že největším negativním projevem výrobních strojů, jako jsou typicky stroje obráběcí a tvářecí, je z více než 90 % spotřeba energie během jeho fáze užívání. Všechny ostatní negativní projevy a dopady na životní prostředí realizované ve fázi výroby i ve fázi likvidace jsou podstatně méně významné.

Z hlediska využívání materiálu a jeho užitého množství je třeba konstatovat, že současné výrobní stroje nejsou v žádném případě navrhovány s malým důrazem na využívání instalovaného a užitého materiálu. Nosné struktury velkého množství výrobních strojů jsou v dnešní době navrhovány pomocí optimalizačních výpočtových technik, kdy je snahou maximálně využít materiál a neplýtvat s ním. Důvodem je nákladnost, náročnost na výrobní přepravu i samotná vazba hmotnosti na dynamické vlastnosti nosných struktur výrobních strojů. V oblasti úspor materiálů v současnosti nejsou žádné jednoduché cesty a způsoby a snahu snížit instalovaný materiál je třeba vázat na následné produkční i recyklační vlastnosti.

Z hlediska recyklovatelnosti by se dalo s malou nadsázkou konstatovat, že výrobní stroje mohou být příkladem výrobků a zařízení s maximálním stupněm recyklovatelnosti. Stroje jsou z většinové části tvořeny rozebíratelnou strukturou dílců a komponent a dekompozice stroje až po jeho užití na prvotní materiály je příkladná.

Současný stav produkce v oboru strojírenské výrobní techniky je z hlediska stavby strojů a zařízení s ohledem na využití materiálu a energie ve velmi dobrém a technologicky a technicky pokročilém stavu. Je třeba zahájit novou vlnu ekodesignu, která však bude podstatně náročnější, a dosáhnout zlepšení oproti současnému stavu bude stát velké úsilí a náklady, ale zlepšení již budou v řádech jednotek procent. Velkým prostorem pro zlepšení efektivity (energetické i ekonomické) je však zvyšování využití strojů, protože se ukazuje, že nejhorším nepřítelem energetické náročnosti výroby je situace, kdy výroba nebo stroj běží, spotřebovávají režijní energetické nároky, a přitom nic neprodukuje. Velkou a složitou výzvou bude hledání cest, jak podpořit témata dlouhodobějšího využívání, servisovatelnosti, znovupoužití a repasovatelnosti tak, aby podniky v těchto tématech mohly podnikat a vytvářet zisk, a přitom neprosperovat z produkce množství nových prodaných produktů.

Další průmyslově orientovaná témata vázaná na sektor strojírenské výrobní techniky ve vazbě na cirkulární ekonomiku budoucnosti lze nalézt v dokumentu CECIMO „THE EUROPEAN MACHINE TOOL SECTOR AND THE CIRCULAR ECONOMY“, CECIMO Circular Economy Report, Edition, april 2019.

Stav poznání ve výzkumu

Téma využití principů cirkulární ekonomiky je v oboru strojírenské výrobní techniky, přítomné ve výzkumu nepřímo již přibližně 20 let. Nebyl užíván přímo pojem cirkulární ekonomika, ale byly zkoumány některé z principů, které k cirkulární ekonomice patří. Ve výzkumu byla věnována pozornost tématu snižování užitého materiálu pro stavbu strojů, zejména pro stavbu nosných struktur, dále významně

tématu snižování energetické náročnosti výrobního procesu a výrobních strojů a částečně také tématu analýzy dopadů celého životního cyklu výrobního stroje na životní prostředí. Tato dosavadní témata výzkumu krátce popíšeme.

Smysluplné využívání materiálu. Využití materiálu ve strojírenství je předmětem dimenzování a optimalizací. Dimenzování a optimalizace je možné dále zdokonalovat dvěma způsoby: zpřesňovat samotné metody návrhu produktů (výpočtové a optimalizační techniky, virtuální modelování, digitální dvojčata), ale stejně důležité je také zpřesňovat okrajové podmínky a zátěžná spektra. Dnes se nikdo přirozeně nesnaží plýtvat materiálem, ale v řadě oblastí strojírenství je potenciál pro další snižování využitého materiálu a pro uplatňování pokročilých technik návrhu. Je třeba lépe zkoumat než optimalizovat a lépe rozumět zatěžování vyvíjených strojů a systémů. Tématu snižování materiálové náročnosti se významně věnoval například evropský projekt DEMAT [44] a projekt ECOFIT [45].

Snižování spotřeby energií. Výrobní stroje jsou významným spotřebičem energií, zejména elektrické energie a stlačeného vzduchu. Stlačený vzduch je připravován kompresory, které jsou pak také spotřebičem elektrické energie. Dosavadní výzkum vedl dvěma směry, a sice k analýze toho, jaké režimy a spotřebiče tvoří jaký podíl spotřeby elektrické energie, a druhý směr výzkumu a vývoje se věnoval návrhu a zavádění opatření pro snížení spotřeby. Jedná se o snahu zvyšovat energetickou účinnost a zvládnout realizaci výrobních technologií s minimálním příkonem energie. To je patrné z dosavadních výzkumů, např. [47] a [49].

Analýza životního cyklu LCA výrobních strojů. Výzkum snižování materiálové náročnosti stavby strojů a výzkum zvyšování jejich energetické efektivity byly zahájeny spíše intuitivně, na základě odhadu, že se jedná o evidentní příspěvky ke snižování zátěže životního prostředí i nákladnosti strojů, technologií a jejich provozu. Následně se po roce 2010 začal věnovat výzkum i oblasti objektivizace dopadů výrobních strojů a výrobních technologií na životní prostředí. Začaly být využívány a adaptovány techniky LCA pro oblast „machine tools“. Řada studií a analýz začala přinášet výsledky, které ukazují, že neškodlivějším projevem výrobních strojů je jejich spotřeba elektrické energie. Všechny ostatní aspekty výroby, likvidace, recyklace, výparů atd. mají výrazně menší příspěvek k zátěži životního prostředí. Více např. v [46], [52] a [53].

Budoucí výzkumné aktivity v oblasti uplatňování principů cirkulární ekonomiky ve výrobní technice vedou k prohlubování znalostí v dosavadních tématech týkajících se využití materiálu a zvyšování energetické účinnosti a k dalšímu zdokonalování LCA, ale nově také k tématům, která jsou pro lepší pochopení a následnou implementaci do inovací ve strojírenské výrobní technice zatím otevřená. Jedná se o nově otevíraná témata: automatizaci a intenzifikaci výrobních procesů a technologií jako nástroje vyšší energetické účinnosti; prodlužování životnosti výrobních strojů a technologií, jejich lepší servisovatelnost a predikci servisních zásahů; znovupoužití a repasovatelnost strojů (viz např. [51]) a technologií s cílem jejich udržení ve výrobě při minimalizaci výměn celých strojů a zařízení; využívání moderních technik digitálních dvojčat strojů a zařízení pro identifikaci životnosti, plánování servisních aktivit a optimalizaci využití strojů s cílem minimalizovat spotřebu materiálu i energie (viz např. [48], [54]); recyklovatelnost strojů a zařízení, které již nebudou dále užívány; hledání nových obchodních a podnikatelských modelů, které umožní prosperitu a zisk bez základu v nově prodávaných strojích a zařízeních.

Zvláště zmíněná témata týkající se prodlužování životnosti a dlouhodobé využitelnosti strojů a zařízení jsou tématy velmi novými a zatím bez jasného budoucího obchodního modelu, který by byl životaschopný. Jedná se o téma pro průmysl velmi nové a málo intuitivní. Průmysl směrem ven (spotřební zboží) i směrem dovnitř (B2B) má hodnotový řetězec a komerční koncept podnikání postavený na stále novém prodeji nových produktů, strojů a zařízení. Podnikání, které by vedlo k prodlužování životnosti, k řešení maximálně snadné servisovatelnosti, opravitelnosti, repasovatelnosti a znovupoužití, je nyní považováno za ekonomicky neudržitelné a bez naděje na ziskovost a prosperitu. Proto je přirozeně opomíjeno a uvedená témata jsou spíše brána jako nutné zlo, které je nutné v nejmenší možné míře řešit. Zde je třeba hledat nové obchodní modely současně s novým technickým přístupem, abychom konzumní systém dokázali nahradit systémem cirkulární ekonomiky, kdy účastníci budou vydělávat a prosperovat, ale nikoli za cenu zbytečného zpracovávání dalšího materiálu a energie. Jistou inspirací může být například studie [50] a [55].

V období do roku 2030 je třeba připravit nová technická, technologická, organizační a společenská řešení, která umožní, aby strojírenská výrobní technika a technologie produkovaná v ČR a EU byla konkurenceschopná a současně udržitelná. Stávající nastavení průmyslu stále více akcentuje a preferuje technické, technologické, výkonnostní a ekonomické parametry před parametry udržitelnosti. Průmysl i společnost v oblasti výrobní techniky často vnímají zájmy podnikání a zájmy udržitelnosti jako protichůdné. Je třeba hledat cestu a ukázat na příkladech ověřených technologií, prototypů, funkčních vzorků a na dalších výsledcích, že je možné najít ekonomicky i technologicky efektivní způsoby, jak spojit zájmy byznysu a podnikání se zájmy společnosti a životního prostředí.

Musíme do budoucna rozvíjet a podporovat výzkum a tvorbu výsledků, které současně řeší zachování nebo zvyšování hlavních užitečných vlastností výrobních strojů a výrobních technologií při současném zdokonalování jejich udržitelnosti. Udržitelnost strojírenské výrobní techniky zde chápeme v nejširším slova smyslu. V rámci zlepšování udržitelnosti z hlediska výrobních technologií se musíme věnovat řešení těchto témat: snižování nároků na spotřebu energie; optimalizaci využití materiálů ve stavbě strojů a zařízení; zlepšování opravitelnosti a znovupoužití výrobních strojů a jejich částí; zvyšování dlouhodobé funkční kvality a spolehlivosti; snižování uhlíkové stopy ve všech fázích životního cyklu strojírenských výrobních zařízení; snižování negativních dopadů na člověka; hledání materiálových alternativ pro stavbu strojů a zařízení s ohledem na surovinové zdroje; přizpůsobení výrobní techniky změnám zájmu a dovedností jejich uživatelů; podpora zájmu lidí o práci ve strojírenství; návrhu nových řešení pro individuální výrobu a výrobu v malých dávkách s vysokou efektivitou a nízkou pracností. Všechna tato témata je třeba v oblasti strojírenské výrobní techniky a technologie integrovat do reálných řešení v oblasti strojů, zařízení, softwaru, metodik a postupů a současně uspokojit nároky na primární parametry výkonnosti a jakosti výroby.

Reference

- [44] Projekt DEMAT <https://cordis.europa.eu/project/id/246020>
- [45] Projekt ECOFIT <https://cordis.europa.eu/project/id/13989>
- [46] Krautzer, F. –Pamminger, R. – Diver, C. – Wimmer, W. Assessing the environmental performance of machine tools –Case studies applying the ‘LCA to go’ webtool. *Procedia CIRP* 29 (2015), pp. 502–507
- [47] Zeng, D. – Cao, H. – Jafar, S. – Tan, Y. – Su, S. A Life Cycle Ecological Sensitivity Analysis Method for Eco-Design Decision Making of Machine Tool *Procedia CIRP* 69 (2018), pp. 698–703
- [48] Ahmed, A. A. – Nazzal, M. A. – Darras, B. M. Cyber-Physical Systems as an Enabler of Circular Economy to Achieve Sustainable Development Goals: A Comprehensive Review. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology* (2022) 9, pp. 955–975
- [49] Zust, S. –Zust, R. – Schdeleit, T. – Wegener, K. Development and Application of an Eco-design Tool for Machine Tools, *Procedia CIRP* 48 (2016) pp. 431–436
- [50] Urain, I. – Eguren, J. A. – Justel, D. Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study of 30 companies. *Journal of Cleaner Production* 370 (2022) 133318
- [51] Yang, S. – Raghavendra, A. – Kaminski, J. – Pepi, H. Opportunities for Industry 4.0 to Support Remanufacturing. *MDPI Applied Sciences*, 2018, 8, 1177; doi:10.3390/app8071177
- [52] Daniyan, I. – Mpofu, K. – Ramatsetse, B. – Gupta, M. Review of life cycle models for enhancing machine tools sustainability: lessons, trends and future directions. *Heliyon* 7 (2021) e06790
- [53] Khan, A. A. – Abonyi, J. Simulation of Sustainable Manufacturing Solutions: Tools for Enabling Circular Economy. *MDPI Sustainability* 2022, 14, 9796.
- [54] Rocca, R. – Rosa P. – Sassanelli, C. – Fumagalli, L. – Terzi, S. Integrating Virtual Reality and Digital Twin in Circular Economy Practices: A Laboratory Application Case. *MDPI Sustainability* 2020, 12, 2286
- [55] Kerdlap, P. – Choong Low, J. S. – Ramakrishna, S. Zero waste manufacturing: A framework and review of technology, research, and implementation barriers for enabling a circular economy transition in Singapore. *Resources, Conservation & Recycling* 151 (2019) 104438

Vazby na hybné síly

Samotné strategické téma „využití principů cirkulární ekonomiky“ je ve shodě s jednou z hybných sil oboru SVT „principy oběhového hospodářství, nové obchodní modely“. Toto strategické téma se však váže také na další hybné síly. Samotná strategie EU a ČR směřem ke snižování uhlíkové stopy a k zachování udržitelného života se postupně formalizuje do řady legislativně-regulačních předpisů, nařízení a legislativ, které budou v následující dekádě v oblasti cirkulární ekonomiky formalizovat podmínky pro měření, vykazování a dodržování mnohých principů cirkulární ekonomiky. Současně se strategické téma váže také na problematiku konceptu Průmysl 4.0 a na problematiku digitalizace, jejichž mnohé nástroje budou umožňovat materiálově a energeticky efektivnější využívání zdrojů pro strojírenskou výrobní techniku a výrobu jako celek. Další z hybných sil, a sice ochrana klimatu a životního prostředí, je v principu nadřazená tématu cirkulární ekonomiky a je hlavním motivem pro přechod od lineární ekonomiky k udržitelnému rozvoji s imperativem uhlíkové neutrality a nezatěžování životního prostředí. Hybná síla zvyšování užitečných vlastností strojů a technologického využití je velmi významná i pro téma cirkulární ekonomiky – je třeba usilovat o to, aby principy ekodesignu byly uznány jako jedna z užitečných vlastností, a současně je třeba všechna budoucí zdokonalení výrobní techniky a technologie připravovat na udržitelnost a cirkularitu, a to s ohledem na nepoškozování hlavních užitečných vlastností výrobních strojů a zařízení. S naplňováním tohoto strategického tématu také úzce souvisí hybné síly související s nedostatkem kvalifikovaných pracovníků a profesními znalostmi a dovednostmi, neboť bez dalšího zvyšování zájmu nových generací o témata cirkulární ekonomiky a bez znalostí, jak rozvíjet principy cirkulární ekonomiky v oblasti průmyslové praxe, není žádný pozitivní progres myslitelný.

Vize vývoje a aplikací tématu

Uplatňování principů cirkulární ekonomiky a oběhového hospodářství je jednou z největších a nejsložitějších výzev pro obor strojírenské výrobní techniky, protože je nelze řešit jen technicky a odborně, ale vážou se na změny obchodních modelů, změny v kvalifikaci pracovníků a na sociální, společenská a legislativně-regulační aspekty. K hlavním směrům výzkumu a vývoje bude pro náš obor patřit zejména:

- Smysluplné a optimalizované využívání materiálu. Výzkum nových optimalizačních a návrhových technik. Výzkum, analýza a lepší znalost skutečných zátěžných spekter dimenzovaných dílců, systémů a struktur.
- Snižování spotřeby energií, resp. zvyšování energetické účinnosti výrobních strojů a technologií. Uplatňování opatření snižujících spotřebu energií. Uplatňování intenzifikace a automatizace výroby s minimálními prostoji, kdy plýtváme režijními energetickými náklady bez produkčního užitku. Hledání nových technik pro využívání výrobní kapacity, aniž by spuštěná výroba zbytečně stála nebo byla bez výrobní zátěže.
- Analýza životního cyklu LCA výrobních strojů a technologií s ohledem na životní prostředí a uhlíkovou stopu. Vývoj těch nástrojů a technik, které umožní přesněji pochopit, jak výrobní stroje a technologie zatěžují životní prostředí, a dokázat lépe posuzovat odlišné designové řešení strojů a odlišné scénáře jejich využívání. Dokázat nástroje LCA a predikce zátěže skleníkovými plyny zavádět

do průmyslu a do návrhových a produkčních řetězců. Musíme přejít od intuitivních postupů k objektivním analýzám toho, čemu věnovat pozornost a úsilí při dalším zdokonalování výroby a strojů.

- Prodlužování životnosti výrobních strojů a technologií, jejich lepší servisovatelnost, predikce servisních zásahů. Je třeba hledat řešení pro návrh strojů a technologií s delší dobou využití a současně řešit lepší servisovatelnost z hlediska časové i ekonomické zátěže a minimálního narušení produkčního využití strojů a zařízení.
- Znovupoužití a repasovatelnost strojů a technologií s cílem jejich udržení ve výrobě s minimalizací výměn celých strojů a zařízení. Je třeba hledat obchodní modely a související technická řešení, která umožní znovupoužití strojů a jejich repasování za obchodně výhodných a přijatelných podmínek.
- Využívání moderních technik digitálních dvojčat strojů a zařízení pro identifikaci životnosti, pro plánování servisních aktivit a pro optimalizaci využití strojů s cílem minimalizovat spotřebu materiálu i energie. Moderní metody simulací a vytváření digitálních dvojčat strojů mají zatím nevyužitý potenciál, pokud jde o přispění k lepší udržitelnosti výroby a k její energetické a materiálové efektivitě.
- Recyklovatelnost strojů a zařízení, které již nebudou dále užívány. Přestože výrobní stroje a technologie patří k příkladům v možnostech dekompozice a recyklovatelnosti, je třeba hledat další způsoby zdokonalení, zvláště u nerozebíratelných prvků a komponent.
- Hledání nových obchodních a podnikatelských modelů, které umožní prosperitu a zisk, bez základu v nově prodávaných strojích a zařízeních. Jedná se o jedno z nejnáročnějších témat pro výzkum a vývoj v oblasti techniky i obchodu, které zatím nemá jasné obrysy ani možné cesty.

3.8 Zvyšování dosažitelné přesnosti, jakosti a výkonnosti výrobních procesů ve vazbě na náklady

Význam tématu

Výzkum a tvorba výsledků řešících zvyšování hlavních užitečných vlastností výrobních strojů a výrobních technologií při současném snižování výrobních nákladů a při udržitelnosti výroby je jedním z trvalých cílů vývoje nových řešení. Vyšší užitečné vlastnosti strojů a technologií jsou nutnou podmínkou vyšší konkurenceschopnosti. Hlavními užitečnými vlastnostmi vzhledem k obráběcím strojům a souvisejícím technologiím jsou přesnost, jakost, výrobní výkonnost, spolehlivost, hospodárnost a ekologie. Strategie oboru směřuje ke zlepšení všech těchto hlavních užitečných vlastností strojů.

Zvyšování přesnosti představuje především zvyšování geometrické přesnosti práce strojů, geometrické a rozměrové přesnosti výsledného obrobku a obráběných ploch. Zvyšování jakosti obrábění je především zvyšováním jakosti obráběných povrchů, cíleným pozitivním ovlivňováním vlnitosti, drsnosti, vzhledu a dalších charakteristik integrity povrchů. Zvyšování výkonnosti výrobních procesů je schopností stroje lépe využít instalovaného výkonu a souvisí zejména s optimalizací výrobních technologií a s realizací výrobků s požadovanou přesností a jakostí povrchů ve vazbě na dynamické vlastnosti strojů a na jejich řízení. Zvyšování hospodárnosti znamená minimalizaci jednotkových nákladů na strojích, vedlejších časů, nákladů na obsluhu, ale i minimalizaci nákladů na samotnou výrobu strojů a na jejich provoz. Téma spolehlivosti a dopadů na životní prostředí, která patří do souboru hlavních užitečných vlastností, jsou zahrnuta v dalších okruzích témat této strategie oboru.

Prostředky k dosažení uvedených užitečných vlastností strojů spočívají ve více okruzích přístupů s řadou vzájemných vazeb, které nejsou v mnohých ohledech v současnosti dostatečně reflektovány. Jedná se zejména o: 1) zdokonalené postupy navrhování strojů ve vazbě na dosažitelnou přesnost výroby dílců a komponent, na přesnost montáže a na kompenzaci deformací nosných soustav stroje. Trvalým cílem v oblasti vývoje strojů je zvyšování tuhosti a dynamických vlastností struktur za současného požadavku snižování nebo zachování hmotnosti; mezi aktuální témata v oblasti stavby strojů patří zajištění vysoké přesnosti při snižování náročnosti montáže a také minimalizace podílu náročných ručních operací při přípravě ploch rozhraní mezi dílci. Výsledná geometrická přesnost stroje v místě nástroje je výsledkem přesnosti výroby jednotlivých dílců a komponent a jejich montáže, ale také výsledkem jejich vzájemné silové interakce, v níž se projevuje poddajnost komponent; 2) Chytrá řešení pro vyšší přesnost dráhového řízení a kompenzace geometrických a teplotních chyb strojů. Nastavení interpolátoru CNC řízení a vlastnosti regulace pohonů významně ovlivňuje interakce s mechanickou stavbou stroje, přičemž parametry řízení zásadně definují přesnost a dynamiku dráhového řízení. Geometrické a teplotní chyby stroje naproti tomu představují chyby s nízkou dynamikou změn a lze je poměrně úspěšně kompenzovat přímými zásahy do řízení pohybových os, např. i s využitím pomocných měřicích zařízení, na stroji trvale instalovaných. 3) Pasivní a aktivní prostředky pro eliminaci rizika zvýšené úrovně vibrací nebo samobuzeného kmitání umožňují zdokonalit přesnost a dynamiku chování stroje. Lze je využít cíleně již při vývoji stroje, např. prostřednictvím nekonvenčních materiálů nebo dodatečnou implementací na již existujících konstrukcích (např. hltiče vibrací). V neposlední řadě se na zvyšování přesnosti, jakosti a výkonnosti výrobních operací podílí 4) optimalizace strategií obrábění a výrobních technologií ve vazbě na vlastnosti strojů. Konkrétní strategie obrábění a řezné podmínky způsobují v průběhu obrábění změny zatížení nástroje, vřetene a struktury stroje. Zvýšená míra nerovnoměrnosti zatížení nebo limity dané dynamickými vlastnostmi stroje mohou vést ke ztrátě požadované přesnosti a ke snížené jakosti obrobených ploch.

Zvyšování dosažitelné přesnosti, jakosti, výkonnosti a hospodárnosti obrábění je tématem dlouhodobým a současně aktuálním. Jeho význam je jednoznačně spojen se schopností zvyšovat konkurenceschopnost výrobců nabídkou řešení s vyšší přidanou hodnotou. Je předmětem zejména aplikovaného výzkumu na úrovni TRL 5–8. Trvalý požadavek na vyšší užitečné vlastnosti strojů při současném snižování nákladů představuje výzvu i pro hledání zcela nových přístupů a řešení na úrovni základního orientovaného výzkumu. Odborně se jedná o VaV témata, která spadají do oblasti oboru SVT.

Stav poznání v průmyslové praxi

Základní principy stavby NC strojů dosáhly limitů, daných možnostmi užívaných koncepcí kinematického uspořádání pohybových os, konstrukčními materiály a koncepcí CNC řízení a řízení pohonů. Zdokonalení pro další zvyšování přesnosti, jakosti a výkonnosti obrábění při současném snižování nákladů se odehrávají na úrovni dílčích řešení. Ve stavbě strojů je dnes obvykle využíván potenciál pokročilých postupů strukturálních optimalizací na základě topologické a parametrické optimalizace, což vede k lepšímu využití disponibilního materiálu a ke zvyšování statické tuhosti a dynamických vlastností strojů. Ve stavbě a montáži nosných struktur se využívají např. výhody moderních podlévacích hmot na ustavení geometrie, které eliminují náročnou přípravu ploch dílců pomocí zaškrabávání.

Možnosti optimalizovaného nastavení parametrů CNC řízení nejsou v praxi příliš často využívány, přestože se významnou měrou podílí na řadě statických i dynamických chyb obrábění. Parametry CNC řídicího systému jsou na stroji ponechávány obvykle v nastavení dodaném výrobcem řídicího systému. Naproti tomu význam nastavení parametrů řízení pohonů je v praxi znám a regulace pohonů prochází laděním ve vazbě na dynamické vlastnosti stroje nebo na použitou technologii obrábění.

Měření přímosti, kolmosti, přesnosti polohování stroje a chodu vřetene je obvyklou praxí pro základní kontrolu geometrie stroje. Tvorba modelů volumetrických chyb, které mohou být základem pro zavedení korekcí do CNC řídicího systému stroje, vyžaduje ovšem časově i technicky náročnější měření, a proto se tento typ korekcí uplatňuje v praxi méně často. Teplotní chyby představují až 75 % celkových chyb obrábění a pro jejich minimalizaci jsou buď hledána řešení teplotně symetrické konstrukce stroje, nebo jsou využívány kompenzace vestavěné v CNC systému stroje.

K účinným přídavným systémům pro potlačení vibrací a pro zvýšení limitů výkonnosti obrábění patří pasivní nebo aktivně řízené hltiče vibrací. Jejich využití v praxi je ovšem omezeno na případy, kdy hltič konstrukčně neomezuje funkční dílce stroje a neomezuje pracovní prostor. V případě aktivně řízených hltičů hraje roli i jejich relativně vysoká cena. Účinné mohou být strategie adaptivního řízení řezných parametrů na stroji, jako např. přeladění nebo variace otáček vřetene, které docílí přechod procesu z nestabilních podmínek do stabilních. Tato řešení jsou ale v praxi zatím poněkud ojedinělá, protože vyžadují individuální nastavení pro každý stroj a technologii.

Výrobní procesy jsou zdrojem procesních sil, které způsobují statické a dynamické chyby obrábění. Optimalizovaná volba strategií obrábění a řezných podmínek může významně eliminovat chyby obrábění, které obvykle plynou z nerovnoměrnosti zatížení nástroje a vřetene nebo z překročení dynamických limitů mechanické stavby stroje. V praxi jsou strategie obrábění v současnosti připravovány bez znalosti budoucího dynamického chování stroje, což často vede k nutnosti odladění technologie na stroji řadou testů obrábění. Na trhu jsou některá specializovaná softwarová řešení, která umožňují bližší kontrolu navržených NC strategií obrábění, a to i včetně predikce silového zatížení nástroje.

Stav poznání ve výzkumu

Přesnost, jakost a výkonnost obrábění stojí v popředí motivace mnoha výzkumných témat. Strukturální optimalizace s využitím postupů topologické a parametrické optimalizace se zaměřují zejména na tuhost při požadavku na minimalizaci hmotnosti. U extrémně odlehčených struktur je chybějící strukturální tuhost nahrazována tuhostí mechatronikou [56]. Inspirace pro optimalizaci rozložení materiálu v disponibilním konstrukčním prostoru se v poslední době hledá mj. v biologických strukturách [57]. Průběžný zájem je věnován využití nekonvenčních materiálů (zejména kompozity, sendviče a voštiny) ve stavbě strojů. Motivací je zejména zvýšení tuhosti, snížení hmotnosti a zvýšení tlumení [58].

Široce rozvinutý výzkum optimalizace CNC řízení se zaměřuje zejména na spline interpolaci podle kritérií limitů dráhových a osových jerků a na spojitost průběhu posuvové rychlosti [58]. Výzkum vlivu parametrů CNC interpolátoru na přesnost a jakost dráhového řízení je dosud spíše ojedinělý kvůli uzavřenosti algoritmů výrobců CNC řídicích systémů.

Teplotní chování strojů a minimalizace teplotních deformací jsou jedním z dlouhodobých témat oborového výzkumu, která se zaměřují na široký rozsah aspektů: Je to teplotně-mechanická optimalizace nosných struktur, pokročilé modely pro zdokonalené inprocesní kompenzace teplotních deformací s implementací do CNC řízení a aktivní řízení chladicích okruhů [60]. V poslední době se pozornost v této oblasti zaměřuje na využití strojového učení a umělé inteligence pro autonomní tvorbu kompenzačních modelů a pro jejich adaptaci podle aktuálního stavu stroje.

Dynamika interakce stroj–proces a výzkum stability a výkonnosti obrábění se zaměřují zejména na problematiku modelování za účelem spolehlivé predikce využitelného výkonu vřetene při obrábění. Zkoumány jsou přístupy k adaptivnímu řízení otáček vřetene buď pomocí přeladění, nebo pomocí spojitěho aktivního řízení otáček během obrábění [61]. Základním požadavkem pro autonomní funkčnost systémů, pokud jde o adaptivní řízení parametrů procesu, je schopnost korektní inprocesní identifikace stavu procesu. Vývoji a testování algoritmů pro tento účel je věnována značná pozornost.

Optimalizaci strategií obrábění ve vazbě na predikci výsledků hodnocených přesností, jakostí a produktivitou, resp. hospodárností, lze v současnosti realizovat výhodně pomocí systémů pro simulace virtuálního obrábění [62].

Reference

- [56] Bustillo, A. – Oleaga, I. – Zulaika, J. J. – Loix, N. New methodology for the design of ultra-light structural components for machine tools. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, 28 (4) (2015), pp. 339–352
- [57] Li, B. – Hong, J. – Liu, Z. Stiffness design of machine tool structures by a biologically inspired topology optimization method. *Int. J. Mach. Tool Manuf.*, 84 (2014), pp. 33–44
- [58] Moehring, H.-C. et al. Materials in machine tool structures. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 64 (2015), pp. 725–748
- [59] Beudaert, X. – Lavernhe, S. – Tournier, C. Feedrate optimization in 5-axis machining based on direct trajectory interpolation on the surface using an open cnc, In *11th International Conference on High Speed Machining, 2014*
- [60] Mayr, J. et al. Thermal issues in machine tools. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 61 (2012), pp. 771–791
- [61] Munoa, J. et al. Chatter suppression techniques in metal cutting. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 65 (2016), pp. 785–808
- [62] Altintas, Y. – Kersting, P. – Biermann, D. – Budak, E. – Denkena, B. – Lazoglu, I. Virtual process systems for part machining operations, *CIRP Annals, Volume 63, Issue 2, 2014*, pp. 585–605

Vazby na hybné síly

Zvyšování přesnosti, jakosti, výkonnosti a hospodárnosti obrábění je v první řadě motivováno zvyšováním konkurenceschopnosti a naplňuje požadavky na zvyšování užitečných vlastností strojů. Vyšší hospodárnost provozu strojů a vyšší spolehlivost a jakost výsledků obrábění jsou jedněmi z faktorů, které se podílí na zlepšování ochrany klimatu a stavu životního prostředí. Řešení vedoucí k zvyšování výkonnosti a k vyšší přesnosti a jakosti obrábění pomáhají nahrazovat nedostatek kvalifikovaných pracovníků zejména díky implementaci pokročilých postupů pro adaptivní řízení a díky kompenzaci chyb obrábění a nástrojů pro prediktivní kontrolu a optimalizaci strategií NC obrábění. S tím souvisí na druhou stranu potřeba zvyšovat ty profesní znalosti a dovednosti, které jsou vyžadovány pro schopnost lepšího porozumění mnoha odborným vazbám. Vyšší užité vlastnosti strojů přispějí také k novým možnostem řešení oběhového hospodářství a nových modelů nabídky. Zastřešujícím faktorem jsou legislativně-regulační podmínky, které se spolupodílejí na stanovování požadavků na užité vlastnosti strojů.

Vize vývoje a aplikací tématu

Výzvy týkající se zvyšování užitečných vlastností strojů jsou trvalou součástí požadavků na vývoj strojů s vyšší přidanou hodnotou a vyšší konkurenceschopností na trhu. K hlavním směrům vývoje budou patřit zejména:

- Integrované postupy optimalizace nosných struktur pro zvyšování strukturálních a teplotně-mechanických vlastností.
- Výzkum vlivu přesnosti dílců a komponent ve vazbě na celkovou geometrickou přesnost v místě nástroje.
- Výzkum a vývoj nových postupů montáže strojů.
- Výzkum automatizovaných optimalizačních postupů v případě nastavení parametrů CNC řízení a v případě řízení pohonů.
- Vývoj implementace přídavných systémů pro měření deformace nosné stavby stroje.
- Vývoj a implementace pokročilých modelů kompenzací teplotně-mechanických deformací.
- Výzkum využití postupů strojového učení a umělé inteligence pro zvyšování přesnosti, jakosti a výkonnosti obrábění.
- Výzkum a vývoj pasivních a aktivních hltičů pro zástavbu do nosných dílců stroje.
- Výzkum chytrých řešení pro autonomní úpravu procesních parametrů, aby se eliminovalo riziko zvýšené úrovně vibrací.
- Vývoj a implementace postupů virtuálních simulací a digitálních dvojčat do CAM postupů při přípravě NC obrábění.

3.9 Vzdělávání a zvyšování profesních kompetencí

Význam tématu

Paradigma konceptu Průmysl 4.0 a digitální transformace průmyslu vyžaduje kromě technologické revoluce také posun od tradičního vzdělávání k pokročilemu souboru metod pro rozvoj dovedností a pro budování digitálních kompetencí. Výrobní průmysl zažívá významné změny zejména díky rostoucímu využívání umělé inteligence, robotiky, internetu věcí, aditivní výroby a dalších inovativních řešení. Přejít k digitální a zelené ekonomice významně mění požadavky na zaměstnance v celém hodnotovém řetězci – od vývoje přes výrobu až k prodeji – a vytváří potřeby zcela nových dovedností a kompetencí zaměstnanců.

Před průmyslem stojí dvě hlavní výzvy. V první řadě je třeba vyvinout úsilí, aby byla všechna průmyslová odvětví plně schopna zavádět a využívat nové technologie. Vedle toho je nutno zvládnout přeškolení pracovních sil na digitalizované stroje a na procesy s vyšší přidanou hodnotou. Vzhledem k tomu, že průmysl není schopen vyřešit problém nedostatku dovedností sám, musí veřejné instituce podporovat a řídit iniciativy, které mohou doplnit úsilí, jež tento sektor vynakládá. Společný přístup je vyžadován zejména v těchto oblastech:

- Zlepšení rámce vzdělávací politiky.
- Zvyšování kvalifikace a rekvalifikace.
- Příležitosti k celoživotnímu učení.

- Investice a rozvoj rámce flexibilních dovedností.

K hlavním výzvám pro vzdělávání patří 1) správně identifikovat technologie, které souvisí s konceptem Průmysl 4.0 a digitální transformací průmyslu, 2) najít shody mezi oblastmi aplikace tohoto trendu a různými odbornostmi a 3) identifikovat ty dovednosti a kompetence, které potřebují odborníci v průmyslu, aby byli v době digitální transformace technicky způsobilí, a v neposlední řadě 4) pomáhat rozvíjet kompetence konceptu Průmysl 4.0 na straně vyučujících.

Vzdělávání a zvyšování profesních kompetencí je tématem vysoce aktuálním a současně dlouhodobým. Toto téma je klíčové pro schopnost zajistit efektivní zvládnutí přechodu průmyslu do nového období digitální výroby. Vyžaduje úzkou vazbu na aplikovaný výzkum a přenos nejnovějších poznatků a technologií do průmyslové praxe. Odborně se jedná primárně o téma, které zahrnuje znalosti z oblasti oboru SVT, je ovšem také úzce svázáno s kompetencemi mimo obor v oblasti vzdělávání. Svým významem se jedná o velmi důležité společensko-politické téma.

Stav poznání v průmyslové praxi

Digitalizace, internet věcí a mnoho dalších technologických pokroků, rostoucí hodnota dat při rozhodování, vytváření sítí a transformace směrem k celostním přístupům představují nové požadavky na kompetence pracovníků v průmyslu. Vzdělávání v těchto oblastech je předmětem řady programů, které jsou obvykle iniciovány ze strany veřejných institucí ve spolupráci s průmyslem. Podpora excelence ve výrobě se v nadcházejících letech jeví jako strategický cíl průmyslu i společnosti.

Evropská komise vyhlásila plán evropského prostoru pro vzdělávání do roku 2025, který je zaměřen primárně na mladé lidi a má umožnit využívat ty nejlepší programy vzdělávání a odborné přípravy a nalézt pracovní uplatnění v celé Evropě. Mezi hlavními pilíři tohoto plánu je mj. také oblast zelené a digitální transformace, v níž EK navrhuje opatření, která lidem pomohou získat znalosti, schopnosti, hodnoty a postoje potřebné k rozvoji a podpoře udržitelné společnosti a ekonomiky.

Vizi podpory transformace průmyslu do digitální éry prostřednictvím vzdělávání zařadila mezi své cíle evropská iniciativa EIT Manufacturing. EIT Manufacturing je evropským znalostním a inovačním společenstvím, které zřizuje Evropský institut inovací a technologie (EIT). Vizi EIT Manufacturingu je vývoj inovativních produktů a služeb, vývoj nových business modelů, konceptů vzdělávání a podpory průmyslu. Vytváří „znalostní trojúhelník“ významných podniků, univerzit a výzkumných institucí, jejichž posláním je přispívat ke konkurenceschopnosti Evropy a udržitelnému hospodářskému růstu. Cílem je zvyšovat inovační potenciál firem a vytvářet nová pracovní místa podporou a posilováním synergií a dosáhnout spolupráce mezi podniky, vzdělávacími institucemi a výzkumnými organizacemi. Tuto prestižní inovační komunitu tvoří v současnosti více než 60 partnerů, mezi něž patří také ČVUT v Praze a kteří v rámci této komunity připravují řadu kurzů a seminářů průmyslového vzdělávání.

V domácím prostředí patří mezi iniciátory průmyslového vzdělávání Svaz strojírenské technologie (SST), který připravil na roky 2019–2022 projekt pro další profesní vzdělávání zaměstnanců členských podniků SST za účelem zvýšení jejich pracovních kompetencí. Do tohoto programu je zapojeno 24 společností, pro něž byly zpracovány plány vzdělávání, které zohledňují potřeby jednotlivých společností, pokud jde o vzdělávání jejich zaměstnanců na období realizace projektu. Pilotní projekt nového systému modulových rekvalifikačních realizuje Konfederace zaměstnavatelských a podnikatelských svazů ČR (KZPS ČR). Tento program je zaměřen na rychlé a efektivní získání nových kvalifikací. Specificky zaměřené vzdělávací a výukové programy připravené na míru pro průmyslové partnery nabízí řada technických univerzitních pracovišť.

Stav poznání ve výzkumu

Výzkum v oblasti zvyšování kompetencí pro průmysl se zaměřuje zejména na otázky nových postupů a modelů odborného vzdělávání, které by skloubily tradiční, základní kompetence a znalosti o technických a inženýrských tématech, a navíc dovednosti pro využívání moderních digitálních technologií.

V současnosti je zřejmé, že techničtí pracovníci a dělníci budou potřebovat nové programy celoživotního vzdělávání, které jim pomohou udržet krok s tempem změn. Rychlý pokrok ve výrobních technologiích a informačních a komunikačních technologiích (ICT) vyvolal ve vzdělávání ve výrobě intenzivní požadavek na neustálou aktualizaci obsahu znalostí a schémat jejich poskytování [63].

Jedním z účinných prostředků moderního vzdělávání pro průmyslovou praxi je koncept Teaching and Learning Factory. Učí se továrna si klade za cíl sladit výuku a školení ve výrobě s potřebami moderní průmyslové praxe. Budoucí inženýři a znalostní pracovníci se musí vzdělávat podle nových osnov, aby se vyrovnali s rostoucími průmyslovými požadavky továren budoucnosti. Paradigma učící se továrny zahrnuje vzdělávací přístup a nezbytnou konfiguraci ICT, aby se usnadnila interakce mezi průmyslem a akademickou sférou. Učí se továrna se zaměřuje na obousměrnou znalostní komunikaci mezi akademickou sférou a průmyslem [64], [65]. Nové možnosti vzdělávání, pokud jde o ty nové kompetence a znalosti, které jsou důležité pro digitální výrobu, přináší technologie digitálních dvojčat a technologie virtuální a rozšířené reality [66].

Reference

- [63] Chryssoulouris, G. et al. *Manufacturing Systems: Skills & Competencies for the Future. Procedia CIRP* 7 (2013), pp. 17–24
[64] Chryssoulouris, G. et al. *The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm. Procedia CIRP* 57 (2016), pp. 44–48

[65] Mourtzis, D. (2018). *Development of Skills and Competences in Manufacturing Towards Education 4.0: A Teaching Factory Approach*. 10.1007/978-3-319-89563-5_15.

[66] Tvenge, N. et al. *Added value of a virtual approach to simulation-based learning in a manufacturing learning factory*. *Procedia CIRP* 88 (2020), pp. 36–41

Vazby na hybné síly

Vzdělávání a zvyšování profesních kompetencí je primárně motivováno potřebou zvyšovat ty profesní znalosti a dovednosti, které jsou nezbytné pro úspěšné zvládnutí digitální transformace průmyslu napříč všemi velikostmi firem. Dalším hybnou silou je nedostatek kvalifikovaných pracovníků, který může být kompenzován vyšší úrovní znalostí a vyšší úrovní kompetencí pracovníků v průmyslu. Vyšší kompetence pracovníků přispějí také k novým možnostem řešení oběhového hospodářství a nových modelů nabídky. Vzdělávání a zvyšování profesních kompetencí je rovněž významným faktorem pro zvyšování konkurenceschopnosti firem. Zastřešujícím faktorem jsou legislativně-regulační podmínky, a to zejména ve smyslu programů veřejné podpory a zapojení veřejných institucí.

Vize vývoje a aplikací tématu

Vzdělávání ve výrobě musí sledovat nové přístupy, aby připravilo průmysl na inovace nové generace a na podporu jeho růstu. Budoucnost bude vyžadovat nové dovednosti. V tomto směru je třeba přizpůsobit obsah školení a mechanismy jeho poskytování novým požadavkům výroby založené na znalostech. K hlavním směrům vývoje bude patřit zejména:

- Vývoj nových modelů a formátů průmyslového vzdělávání pro rekvalifikace a pro zvyšování kompetencí a znalostí.
- Rozvoj kompetencí a znalostí pro digitální výrobu a pro digitální podnikání.
- Rozvoj využití konceptu Teaching a learning factory.
- Rozvoj využití prostředků digitálních dvojčat a rozvoj virtuální reality pro podporu vzdělávání.
- Rozvoj spolupráce veřejných institucí a průmyslu v programech vzdělávání.

Vazba prioritních témat VaVal, resp strategických témat oboru na aktuální verzi přílohy č. 1 Národní strategie RIS3 ve verzi 3

V následující tabulce uvádíme vazbu oborových strategických témat na strategická témata dle RIS3 a na rodiny výzkumných témat KETs dle RIS3.

Strategická témata oboru strojírenská výrobní technika

Strategická témata RIS3 relevantní ve vazbě na obor strojírenské výrobní techniky

	1. Snižování spotřeby energie a uhlíkové stopy	2. Zvyšování efektivity výroby	3. Zkracování průběžné doby výroby	4. Digitalizace pro výrobu	5. Chytré výrobní systémy	6. Flexibilní automatizace	7. Využití principů cirkulární ekonomiky	8. Zvyšování dosažitelné přesnosti, jakosti a výkonnosti výrobních procesů ve vazbě na náklady	9. Vzdělávání a zvyšování profesních kompetencí
Strojírenská výrobní technika a technologie (machine tools)		X		X	X			X	
Výrobní technika a technologie pro zpracovatelský průmysl		X		X	X	X			
Strojírenská zařízení a komponenty pro moderní energetiku		X	X	X	X			X	
Strojírenská zařízení a technologie pro snížení negativních dopadů na životní prostředí	X	X		X	X	X	X		X
Nové a progresivní technologie výroby strojírenských produktů	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Nové a inovované materiály a povrchové úpravy pro strojírenství	X	X					X	X	
Měření, diagnostika, řízení, software a zpracování dat pro zdokonalené a nové funkce strojírenských produktů		X		X	X		X	X	
Automatizace, robotizace a digitalizace výroby		X		X	X	X	X	X	X
Kyberneticko-fyzické systémy (Cyber-Physical Systems) pro strojírenství		X	X	X				X	

Výzkumná témata KET'S dle RIS3 z oblasti aplikačních odvětví strojírenství a mechatronika, energetika, hutnictví a průmyslová chemie

Pokročilé materiály a nanotechnologie	X	X	X				X	X	
Pokročilé výrobní technologie	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Biotechnologie		X			X			X	X
Fotonika a mikro- a nanoelektronika		X		X	X				
Umělá inteligence	X	X	X	X	X	X		X	X
Digitální bezpečnost a propojenost	X			X	X	X			X

4 Propojování organizací ve výzkumu, vývoji a inovacích

Jedním z dlouhodobých cílů existence a práce TPSVT je téma propojování organizací všeho typu ke společnému výzkumu, vývoji a inovacím v technologických oblastech významných pro podnikatelskou sféru. Dokument cestovní mapy oboru SVT si klade v této oblasti následující úkoly:

- Přispět k propojení veřejného a soukromého sektoru ve výzkumu, vývoji a inovacích.
- Přispět k propojování podniků a firem navzájem, aby se dosáhlo společného výzkumu, vývoje a inovací.
- Analyzovat možnosti změn hodnotových řetězců ve firmách působících v oboru SVT.

V rámci uvedených úkolů bylo provedeno dotazníkové šetření, jež v první fázi projektu umožnilo získat podněty a názory na ty příležitosti a bariéry, které v oblasti spolupráce a změn hodnototvorných řetězců představují hledisko skupiny zástupců MSP a velkých podniků z oboru SVT.

V následujících podkapitolách jsou prezentovány získané reflexe respondentů na uvedené oblasti zájmu.

4.1 Propojení veřejného a soukromého sektoru ve výzkumu, vývoji a inovacích

Firma nebo společnost podnikající v oboru strojírenské výrobní techniky může ve výzkumu, vývoji a inovacích spolupracovat s výzkumnými organizacemi. Výzkumné organizace jsou v principu soukromé, např. VUTS Liberec, a. s., COMTES FHT, a .s., nebo se jedná o konkrétní pracoviště a infrastruktury akademie věd, např. o ÚFM AVČR, v. v. i., HiLASE, nebo to jsou pracoviště a výzkumné infrastruktury vysokých škol, např. Katedra konstruování strojů, Fakulta strojní, ZČU; RCMT U12135, Fakulta strojní, ČVUT; RTI, ZČU.

Následují odpovědi respondentů na tři otázky. Šetření se zúčastnilo 10 respondentů, z toho 4 zástupci MSP a 6 zástupců velkých podniků.

Témata možné spolupráce firma – VO

Ve kterých odborných oblastech, respektive ve kterých tématech výzkumu a vývoje je možné pro firmu v ČR spolupracovat s dostupnými výzkumnými organizacemi?

- *Pevnostní a teplotní analýzy nosné struktury stroje.*
- *Materiálové a technologické zkoušky.*
- *Posouzení bezpečnosti strojů.*
- *Pokročilé výpočty.*
- *Pokročilé experimenty.*
- *Pokročilé funkce obráběcích strojů (diagnostika, vyhodnocování řezného procesu).*
- *Modelování a konstruování strojů a procesů.*
- *P4.0.*
- *Automatizace.*
- *Materiály, metalurgie.*
- *Testování řezných nástrojů pro obrábění kovů a nekovů, zkušebnictví a testování dílců/celků.*
- *Návrhy nových komponent.*
- *Simulační výpočty veličin, simulace.*

Ve kterých oblastech výzkumu chybí nabídka

Ve kterých odborných oblastech, respektive ve kterých tématech výzkumu a vývoje chybí pro firmy v ČR kompetence a nabídka výzkumných organizací? Ve kterých tématech a oblastech není na koho se obrátit?

- *Softwarové aplikace, vylepšení dodávaných softwarů, vývoj nadstavbového a aplikačního softwaru.*
- *Vývoj procesních parametrů pro aditivní technologie.*
- *Maloobjemová produkce kovového prášku pro vývoj AM.*
- *Vývoj a konstrukce VBD nástrojů a VB.*
- *Bezpečnost strojních zařízení.*
- *Složení maziv (olejů), diagnostika/měření vlastností olejů, predikce změn vlastností olejů vlivem kontaminace.*
- *Nabídka je větší než poptávka.*

Co odrazuje firmy od spolupráce s VO

Jaké jsou bariéry pro lepší spolupráci podniků a výzkumných organizací v ČR? Co podniky odrazuje od spolupráce s výzkumnými organizacemi?

- Čas – komerční zakázky (VO nenachystané X jsou rychlejší) X projekty (dotace – trvá dlouho + velká administrativní zátěž).
- Garance výsledků.
- Ochrana know-how.
- Ubývá dotačních výzev.
- Bez dotací často ani nevznikne spolupráce.
- Vyřazování malých firem z aktivních spoluprací.

4.2 Propojování podniků a firem navzájem pro společný výzkum, vývoj a inovace

V zahraničí je řadou komerčních firem uplatňován koncept tzv. otevřených inovací, kdy je snaha otevírat se myšlenkám z vnějšku a neplánovat vývoj jen klasickou cestou dle názoru obchodu/marketingu a technického úseku a pak jej zaplánovat. Fungují modely, kdy se spojují komerční firmy ke společnému výzkumu a vývoji nových produktů a služeb. Nejde o model, kdy jedna firma dodává druhé firmě nějaké dílčí řešení nebo komponent na zakázku, ale o společný proces výzkumu a vývoje, kdy vzniká buď společný produkt, nebo spolu úzce propojené produkty zapojených firem. Je nutné řešit společné duševní vlastnictví, sdílení informací a spolupráci na vysokém stupni otevřenosti ve vývoji i v následující fázi komercializace a obchodu. V rámci konceptu otevřených inovací je také snaha zapojovat do získávání myšlenek a podnětů nejen odborníky z vlastních řad, nebo najaté analytiku, ale i širší veřejnost.

Jeden z popisů konceptu a příklady je možné nalézt např. zde:

<https://www.designorate.com/successful-open-innovation-examples/>

Otázkou je, co brání firmám v ČR ve větší otevřenosti, pokud jde o inovace a uplatnění konceptu Open innovation.

Následují odpovědi respondentů na tři otázky. Šetření se zúčastnilo 10 respondentů, z toho 4 zástupci MSP a 6 zástupců velkých podniků.

Překážky spolupráce firma–firma

Co si myslíte, že je překážkami pro to, aby firmy v ČR realizovaly své inovace a vývoj nových produktů a služeb v otevřené spolupráci s jinými firmami?

- Chránění DV, nutná vysoká důvěra mezi partnery X nízká důvěra ve vymahatelnost práva.
- Nejsou zkušenosti v právní oblasti (jak mají vypadat smlouvy).
- Malá specializace firem (potřeba větší specializace).
- Velká konkurence (boj o zakázky).
- Konzervativní společnost (chtějí zákazníka vtáhnout jako spoluřešitele projektu, ne jako zadavatele).
- Chránění know-how.
- Velké množství nakupovaných součástí, málo firem s koncovým produktem.
- Specifické know-how každého výrobce.
- Chybí kvalitní projektové řízení úkolů a kapacit.
- Chybí platformy/komunity pro propojení podniků.
- Ke spolupráci firma–firma chybí dotace (jsou jen dotace typu VO–firma).

Co jsou firmy ochotny sdílet s ostatními firmami

Co ještě jsou firmy v ČR ochotné sdílet ve spolupráci s jinými komerčními firmami v zájmu vývoje a inovací, stejně jako v zájmu vyšší efektivity, vyšší technologické úrovně a nižších rizik?

- Všeobecné znalosti, obecné problémy strojů (změny teplot, statické zatěžování, dynamické chování).
- Sdílení nasbíraných dat (ale už ne vazby mezi daty a navazující informace na ně) – všeobecné znalosti.
- Software, data.
- Panelové diskuse o novinkách ve vysokém managementu.
- Zkušenosti z řízení projektů.
- Zkušenosti z vývoje nových produktů.
- Know-how, pokud bude použito pro vývoj komponentu, který bude použit ve vlastním produktu.
- Neexistuje sdílení – systém „něco za něco“.

Spolupráce i s konkurencí

Myslíte si, že je možná spolupráce ve vývoji a inovacích spíš mezi firmami, které na sebe produktově navazují, nebo i mezi podniky, které si produktově konkurují? Vidíte nějaké možnosti a příležitosti, které by mohly podniky k takovéto otevřené spolupráci přivést?

- *Problém, musíme k tomu dospět v čase.*
- *Problém u firem, které produkují stejný/podobný výrobek.*
- *Je to možné, pokud řeší podobné problémy (časový + ekonomický přínos společného výzkumu).*
- *Vývoj se netýká hlavního produktu – využití výsledku přinese partnerům rovnoměrné/spravedlivé rozložení komerční výhody.*
- *Spojení dvou produktů, které se doplňují (první produkt dostane know-how uplatnění, druhý vyšší přidanou hodnotu).*
- *Je to možné, pokud se jedná o návaznost produktů (tj spolupráce dodavatel – finální výrobce); otevřená spolupráce, až když bude jasný plán vedoucí k vyššímu zisku v důsledku spolupráce,*
- *Malý trh – problém.*

4.3 Možnosti změn hodnotových řetězců ve firmách oboru SVT

Hodnotový řetězec je primární nástroj sloužící k identifikaci možností, jak vytvořit větší hodnotu pro zákazníka. Veškeré společnosti realizují soubor aktivit, jejichž hlavním cílem je navrhovat, vyrábět, distribuovat a podporovat vlastní výrobky. Rozdíly mezi hodnotovými řetězci konkurentů jsou klíčovým zdrojem konkurenční výhody. Hodnotový řetězec určuje celkovou hodnotu produktu a sestává z hodnototvorných činností a marže. Hodnototvorné činnosti jsou stavební kameny, jimiž podnik vytváří výrobek mající pro jeho kupce určitou hodnotu. Marže je rozdíl mezi celkovou hodnotou a souhrnnými náklady na vykonání potřebných hodnototvorných činností.

Dílčí činnosti se podílejí na vytváření hodnoty, proto se také používají k hodnocení vlivu jednotlivých dílčích činností na celkovou hodnotu podniku a mohou být následně zdokonalovány.

Hodnototvorné činnosti lze rozdělit na dva všeobecné typy:

Primární činnosti – zabývají se fyzickou tvorbou výrobku, jeho prodejem, dodáním kupujícímu a následným servisem.

Podpůrné činnosti – napomáhají primárním činnostem i sobě navzájem tím, že obstarávají koupené vstupy, technologii, pracovní síly a rozličné celopodnikové funkce.

Konkurenční výhodu získá podnik tím, že tyto strategicky důležité činnosti vykonává levněji a lépe než jeho konkurenti.

Následují odpovědi respondentů na tři otázky. Šetření se zúčastnilo 10 respondentů, z toho 4 zástupci MSP a 6 zástupců velkých podniků.

Primární činnosti

Ve kterých primárních hodnototvorných činnostech si dokážete představit, že můžou podniky oboru SVT (nebo společnost, ve které pracujete) něco dělat, aby přispěly k podpoře konkurenceschopnosti, a jak? Ve kterých těchto činnostech vidíte největší potenciál pro zdokonalení, zefektivnění, nový přístup a inovace? Kde zaostáváme vůči světové konkurenci? Co by šlo dělat zcela jinak, třeba spoluprací, sdílením, uplatněním nových technologií a přístupů?

Řízení vstupních operací

Řízení vstupních operací – činnosti spojené s přejímáním, skladováním a rozdělováním vstupů pro daný výrobek, např. manipulace s materiálem, uložení ve skladu, regulace výše zásob, plánování nákladní přepravy a vracení zboží dodavateli.

- Málo efektivní ERP systém/systémy pro skladování.
- Ke zkrácení času dodání položek (dodavatelé) může napomoci klasifikace nakupovaných a vyráběných součástí, hodnotová analýza, lepší řízení termínů dodání.
- Zrychlit manipulaci, vychystávání materiálů výhodných pro sklad (a minimalizovat režijní pracovníky), zlepšit řízení skladových zásob.
- Vytvořit použitelný nástroj, který zpracovává informace o poruchových stavech a navrhne reakce (AI a strojové učení).

Výroba a provoz

Výroba a provoz – činnosti spojené se zpracováním vstupů do finální podoby výrobku, např. strojní obrábění, balení, montáž, údržba zařízení, testování, potisk výrobku a provoz zvláštních zařízení.

- Tlak na úspory a náklady.
- Flexibilita linek, multifunkčnost strojů, minimalizovat přesun produktů mezi výrobními zařízeními.
- Zrychlit průchod zakázky výrobou + optimalizace produkce (přesnost, stabilita, čas), zefektivnit výrobu, optimalizace logistiky (kontrola termínů dodání).
- Sledování procesu.
- Hodnotová analýza procesu, sledování procesu.
- Chybí jednoduchá automatizace a kvalitní TPV, automatizace, robotizace, bezobslužný provoz, digitální továrna.
- Důležité zavést prediktivní údržbu a servis (zatím jen reaktivní), monitoring.
- Zlepšit organizaci práce na montážích.

Řízení výstupních operací

Řízení výstupních operací – činnosti spojené s odvozem, skladováním a fyzickou distribucí výrobku kupujícím, např. uskladnění hotových výrobků, manipulace s nimi (vnitropodniková doprava), provoz dodávkových vozidel, postupné zpracování objednávek a časový plán jejich vyřizování.

- *Nutné zlepšit časový plán, komunikaci s příjemcem zboží (aby navazovalo na dokončení výroby).*
- *Nutné kontrolovat kvalitu.*
- *Dobře zvládnuté díky softwaru.*
- *Skladování – snaha skladovat co nejméně, neuplatňují se ale vertikální sklady ani manipulační skladové systémy (pro šetření provozu), možné sdílení skladovacího prostoru a dopravy.*

Marketing, odbyt

Marketing a odbyt – činnosti, které mají kupujícím umožnit koupit si daný výrobek a přimět je ke koupi, např. reklama, propagační akce spojené s prodejem, činnost prodávaců, předběžné nabídky, výběr distribučních cest, vztahy mezi distribučními cestami a stanovení cen.

- *Uvádění výrobků na trh.*
- *Prodejní síť.*
- *Ignorují se sociální síť k prezentaci, budování image značky.*
- *Možnost vytvoření digitálního náhledu modelů + zákaznické modifikace v online konfigurátoru.*
- *Konfigurační management strojů.*
- *Chybí kvalitní marketéři a konzultanti, prodejci neprodávají jen výrobky jednoho výrobce, potřeba kvalitního reklamního sloganu.*
- *Možnost společných expozic na veletrzích.*

Servisní služby

Servisní služby – činnosti spojené s poskytováním služeb k zvýšení nebo udržení hodnoty výrobku, např. jeho instalace, opravy, zaškolení obsluhy, dodávky náhradních dílů a seřízení výrobku.

- *Potřeba dostupný servis (24/7), dlouhé řešení + jazyková bariéra při dodavateli ze zahraničí, nedostatek odborných pracovníků, hodně neodborných servisních techniků.*
- *Potřeba monitoringu stroje, prediktivní údržba, vzdálené připojení, dálkový monitoring a predikce.*
- *Využít rozšířenou realitu pro školení a servis.*
- *Zákazníci chtějí jen nezbytně nutný servis (služby jen jako podpora prodeje), pravidelné školení.*
- *Potřeba zlepšit servisní služby (aktivní spolupráce s VO).*
- *Spolupráce firem v oblasti servisu v zahraničí (sdílení servisních techniků) – zahraniční firmy investují do digitalizace poprodejních služeb, potřeba i v ČR.*
- *Chybí digitalizace náhradních dílů ve vazbě na hlášené závady.*

Podpůrné činnosti

Ve kterých podpůrných hodnototvorných činnostech si dokážete představit, že můžou podniky oboru SVT (nebo společnost, ve které pracujete) něco dělat, aby přispěly k podpoře konkurenceschopnosti, a jak? Ve kterých těchto činnostech vidíte největší potenciál pro zdokonalení, zefektivnění, nový přístup a pro inovace? Kde zaostáváme vůči světové konkurenci? Co by šlo dělat zcela jinak, třeba spoluprací, sdílením, uplatněním nových technologií a přístupů?

Obstaravatelská činnost

Obstaravatelská činnost – jedná se o nákup vstupů užitých v hodnotovém řetězci podniku, nikoli o nakoupené vstupy samotné. Náklady na obstaravatelskou činnost samotnou představují obvykle malou, ne-li zcela zanedbatelnou část celkových nákladů. Často však mají široký dopad na celkové náklady podniku a na jeho diferenciaci. Zlepšení nákupních způsobů a metod může podstatně ovlivnit náklady a kvalitu nakoupených vstupů a jiných činností spojených s přejímkou a užitím těchto vstupů.

- *Spojit nákup materiálů s ostatními firmami (úspory, lepší vyjednávací pozice).*
- *Řízení kvality dodavatelů.*
- *Subdodavatelské řetězce – ovlivňují kvalitu, rychlost, cenu komponent.*
- *Obnovit výrobu vytípaných klíčových dílců (vysoká přesnost výroby, kvalita materiálu).*
- *Automatizovat rutinní činnosti v nákupu.*

Technologický rozvoj

Technologický rozvoj – každá hodnototvorná činnost má v sobě i technologii, ať je to know-how, výrobní postupy, nebo technologie vložené do výrobních zařízení. Technologický rozvoj sestává z řady činností, které lze zhruba seskupit do úsilí zvýšit kvalitu výrobku a zlepšit výrobní postupy. Technologický rozvoj je pro získání konkurenční výhody důležitý ve všech odvětvích, přičemž v některých je pro něj klíčový. Např. ve výrobě oceli je pro konkurenční výhodu jediným nejdůležitějším faktorem podniková technologie výrobního postupu.

- *Nemožná spolupráce konkurentů – technologický vývoj = konkurenční výhoda.*
- *Je potřeba lepší vzdělávání pracovníků firem (SST?).*
- *Často je přejetý od dodavatelů a jen se předává zákazníkům (není).*
- *Potřeba vytvořit metodiku a popis činností a postupy.*
- *Předprodejní fáze – představa o výsledném produktu stejná u dodavatele i zadavatele.*
- *Poskytuje největší potenciál pro spolupráci, zvýšení konkurenceschopnosti, sdílení zkušeností, možná kooperace v pokrokových výrobních zařízeních.*
- *Aplikace nových materiálů, modifikovaných odlitků, kompozitní struktury.*
- *Nutné hledat materiály zvyšující technické parametry a rozšiřující technické možnosti.*
- *Snižuje výrobní náklady.*
- *Chybí zpětná vazba od zákazníků.*
- *Chybí zpracování připomínek od servisních techniků, chybí feedback z provozu stroje.*

Řízení pracovních sil

Řízení pracovních sil – tato činnost zahrnuje nábor, najímání, výcvik, další rozvoj a platy všech zaměstnanců. Řízení pracovních sil napomáhá jak jednotlivým primárním i podpůrným činnostem, tak i hodnototvornému řetězci jako celku (např. mzdová vyjednávání). K řízení pracovních sil dochází v různých částech podniku a široký rozptyl těchto činností může vést k navzájem si odporujícím taktickým postupům. Řízení pracovních sil má vliv na konkurenční výhodu v každém podniku, neboť má svou úlohu při rozhodování o kvalifikaci a motivaci zaměstnanců a o nákladech na jejich přijetí a výcvik.

- *Důležitý je vzdělaný lidský kapitál.*
- *Důležité školení přímo od zdroje (starší kolegové ne dobře předávají informace – vznikají potom chyby, omyly, nedodržení kvality).*
- *Důležité je dobré řízení pracovních sil (ploché organizační struktury nejsou efektivní).*
- *VO – mají poskytovat dobré vzdělání a rekvalifikaci.*
- *Důležitá geografická poloha a mzdové ohodnocení (absolventi VŠ jsou ve městech a průmyslových oblastech).*
- *Velká konkurence na pracovním trhu a málo odborníků.*
- *Potřeba zlepšit vztah škola – potenciální zaměstnavatel (příklady GER, RAK).*
- *Kariérní růst – na vysoké pozici často nezkušení.*

Infrastruktura podniku

Infrastruktura podniku – sestává z řady činností, jež zahrnují generální ředitelství, plánování, finance, účetnictví, právní oddělení, správní záležitosti a řízení jakosti. Na rozdíl od jiných podpůrných činností napomáhá infrastruktura obvykle celému řetězci, a ne jednotlivým činnostem.

- *Možná spolupráce firem v SST.*
- *Potřeba rad, nákupů (nehrozí konkurence).*
- *Míra digitalizace.*
- *Eliminace administrativních nákladů (kvalita systémů ERP a PLM), zastaralá administrativa, papíry.*
- *Řízení jakosti, nutné dobré projektové řízení.*
- *Potřeba zvýšit efektivitu práce – automatizace, digitalizace i do podpůrných procesů.*
- *Možné sdílení speciálních, jedinečných měřicích přístrojů mezi firmami (problémem je únik know-how).*
- *Chybí provázání jednotlivých oddělení ve firmách.*
- *Málo odborníků na trhu.*

4.4 Představení organizací pro možnou spolupráci ve VaVal v oboru SVA

V rámci identifikace disponibilních organizací, které by mohly vytvářet nová partnerství pro spolupráci ve výzkumu, vývoji a inovacích, byl proveden screening komerčních i výzkumných organizací, které mohou být partnery pro výzkum, vývoj a inovace v oboru SVT. V rámci screeningu bylo identifikováno celkem 231 organizací s potenciálem spolupráce ve VaVal v rámci oboru SVT. Z toho tvoří 111 organizací firmy, 11 organizací regionální technologické instituty, 16 organizací vědecko-technické parky, 93 organizací jsou pracoviště výzkumných organizací. Z uvedených 111 firem je 69 malých a středních podniků (MSP) a zbývající jsou velké podniky.

Zastoupení počtu identifikovaných organizací po správních celcích ČR je následující:

Správní celek	Počet organizací/pracovišť
hl. m. Praha	43
Jihočeský kraj	12
Jihomoravský kraj	50
Karlovarský kraj	3
Kraj Vysočina	8
Královéhradecký kraj	4
Liberecký kraj	18
Moravskoslezský kraj	22
Olomoucký kraj	4
Pardubický kraj	8
Plzeňský kraj	24
Středočeský kraj	13
Ústecký kraj	9
Zlínský kraj	9

Následně bylo na základě veřejně dostupných zdrojů a informací provedeno u každé organizace posouzení, ke kterým prioritním oborovým technologickým tématům VaVal, resp. strategickým tématům oboru může organizace přispět nebo ve kterých může spolupracovat. U každé organizace jsou tato relevantní témata označena. S ohledem na možnou nepřesnost veřejných informací a jejich interpretaci je možné, že potenciál některých organizací je větší, než je uvedeno, a mohou tedy spolupracovat v širší oblasti strategických témat.

Z důvodu rozsahu dokumentu nejsou v následujícím abecedním seznamu identifikovaných organizací a pracovišť uváděny webové stránky, e-mailové a personální kontakty. Uvádíme typ organizace, její velikost (pokud se jedná o firmu), správní celek, pod který územně spadá, název, adresu, přehled nabízených činností a potenciální prioritní oblast pro spolupráci ve výzkumu, vývoji a inovacích v prioritních technologických tématech.

Typ organizace	Název organizace	Firma (A/N)	Země	Správní celek	Adresa	Velikost	Činnost a nabídka	1. Snižování spotřeby energie a uhlíkové stopy	2. Zvyšování efektivity výroby	3. Zkracování průběžné doby výroby	4. Digitalizace pro výrobu	5. Chytré výrobní systémy	6. Flexibilní automatizace	7. Využití principů cirkulární ekonomiky	8. Zvyšování dosažitelné přesnosti, jakosti a výkonnosti výrobních procesů ve vazbě na náklady	9. Vzdělávání a zvyšování profesních kompetencí
Firma	ADAST systems	A	ČR	Jihomoravský kraj	Adamov 496, 679 04 Adamov	MSP	CNC soustružení, CNC frézování, obrábění stroje, svařování, průmyslové lakování, mokré lakování, zámečnické práce, montáže sestav a funkčních celků		x						x	
Firma	Agrostroj Pelhřimov	A	ČR	kraj Vysočina	U Nádraží 1967, 393 01 Pelhřimov	Velký podnik	svařování, tepelné zpracování, lakování, montáž, měření, řezání, lisování, obrábění, výroba nástrojů, výroba raznic, přípravky pro upínání a svařování, vstřikovací formy dělení materiálu, obrábění dílců, svařování, lisování, tepelné zpracování dílců, povrchová úprava dílců, vysoce složitě nástroje a raznice		x	x			x		x	
Firma	Aktivit, spol. s r. o.	A	ČR	Liberecký kraj	B. Egermanna 245, 473 01 Nový Bor	MSP	montážní zařízení, prací stroje, portálové zakladače, zřetězení linek, dopravníky, speciální jednoúčelové stroje prací stroje průběžné pásové, prací stroje průběžné komorové, prací stroje komorové, manipulátor s paralelním chodem, manipulátor pro zástavbu dveří, vozík pro montáž nádrže, manipulátor pro zástavbu cockpitu do karoserie, manipulátor pro zástavbu frontendu			x			x		x	
Firma	ALTA, a. s.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Štefánikova 41, 602 00 Brno	MSP	vývoz strojírenských výrobků a technologických zařízení, dodávky investičních celků, modernizace strojírenských závodů, kompletní technologické procesy, výrobní linky, modernizace, generální opravy obráběcích strojů, generální opravy tvářecích strojů		x			x			x	
Firma	AMF Reece CR, s. r. o.	A	ČR	Olomoucký kraj	Tovární 837/9C, 798 11 Prostějov	MSP	konfekční dírkovací stroje, stroje s řetízovým stehem, imitace ručního šití, kapsové automaty, seriging and side seamer units, šicí automaty, šití slepým stehem, šití podle šablon, džínsové automaty		x	x					x	
Firma	ARGO-HYTOS, s. r. o.	A	ČR	Královéhradecký kraj	Dělnická 1306, 543 15 Vrchlabí	Velký podnik	řídící a regulační technika, elektronika, cívky, ventily pro výbušná prostředí, připojovací desky a bloky, tlakové spínače, příslušenství, náhradní díly, hydraulické agregáty, hydraulické pohony, připojovací desky, připojovací bloky, filtrační technika, tank solutions, quick-connect system, systémy údržby kapalin, snímače, měřicí technika rozvaděče, jednosměrné ventily, tlakové a redukční ventily, škrťací ventily, brzdicí ventily, proporcionální technika, cívky pro ovládací elektromagnety ventilů	x	x						x	

Firma	ASTOS Machinery, a. s.	A	ČR	Karlovarský kraj	Selbská 18, 352 01 Aš	MSP	dopravníkové systémy, filtrační zařízení, krytování strojů, náhradní díly dopravníkové systémy (speciální, článkové k CNC strojům, článkové k lisům, hrablové k CNC strojům, magnetické, kruhové ke karuselům), filtrační zařízení (pásové filtry, magnetické separátory, filtrační stanice, pásový filtr bubnový, centrální bubnová filtrace), krytování (kabiny a výrobní linky, opláštění obráběcích strojů, krytování obráběcích strojů)		x						x	
Firma	AXA - CNC stroje, s. r. o.	A	ČR	Středočeský kraj	Na Cintlovce 1580/5, 268 01 Hořovice	MSP	obráběcí centra s pojízdným stojanem, portálová obráběcí centra, komponenty, příslušenství		x	x						x
Firma	Bašista – strojírenská výroba	A	ČR	Moravskoslezský kraj	Chářovská 1135/82a, 794 01 Krnov	MSP	soustružnické práce, brusičské práce, horizontářské práce, zámečnické práce, frézovací práce, dělení materiálů, povrchové úpravy, 3D měření, vyjiskřování, demagnetizace		x							x
Vědeckotechnická společnost	BIC Plzeň	N	ČR	Plzeňský kraj	Riegrova 1, 301 00 Plzeň		inovace, dotace, programy podpory podnikání									x
Firma	Blue RAY, a. s.	A	ČR	Jihočeský kraj	Pištín 134, 373 46 Pištín		CNC obráběcí centra pětiosé frézování, obrábění, ořez širokého spektra materiálů: hliníku, plastů, kompozitních materiálů, polystyrenu		x	x						x
Firma	BOS HK, a.s.	A	ČR	Ústecký kraj	Přítkovská 152, 417 12 Teplice – Proboštov	MSP	měřidla, vrtáky, nástroje, frézy, upínací nástroje, nářadí, dílenský nábytek měřidla, válcové vrtáky, kuželové vrtáky, sadové závitníky, strojní závitníky, závitová očka, prodloužení pro závitníky, výstřižníky, výhrubníky, záhlubníky, držáky, frézy drážkovací dvoubřité, frézy válcové čelní čtyřbřité		x	x						
Koncový uživatel	BOSCH rexroth, spol. s r. o.	A	ČR	Hl. m. Praha	Radlická 350/107d, 158 00 Praha 5	Velký podnik	montážní technika, elektrické pohony a řídicí systémy, svařovací technologie, elektronické prvky a software, akumulátory, filtry, technologie měření oleje, profilové kolejnicové systémy, lineární pouzdra a hřídele, kulicové a planetové šrouby, lineární pohybové systémy/pohony, manipulační systémy, kulicová hnízda / toleranční kroužky, software pro strojírenství, průmyslové IoT, bezpečnostní technika, CNC, motion controls, PLC, průmyslové počítače, operátorské panely, vestavěné ovládací prvky, I/O, servopohony, frekvenční měniče, motory, převodovky, řídicí jednotky s výkonovou částí	x	x	x	x	x	x		x	
Koncový uživatel	Buzuluk, Gumárenské nástroje	A	ČR	Středočeský kraj	Buzulucká 108, 267 62 Komárov	Velký podnik	kalandrovací, míchací linky, odlévání, hnětače, tříválcové kalandry, čtyřválcové kalandry, roller-head kalandry, roller-die kalandry, dvouválce, batch-feedery, chladičky, zkušebny pneumatik, lisy kaučuku		x							x
Firma	CompoTech PLUS, spol. s r. o.	A	ČR	Plzeňský kraj	Nová 1316, 342 01 Sušice	MSP	hybridní uhlíkové vrtací nástroje, kompozitní hřídele vřeten, cyklo-technologie, hnací hřídele, elektrické izolace, konstrukce strojů	x	x					x	x	x

VO	COMTES FHT, a. s.	A	CR	Plzeňský kraj	Průmyslová 995, 334 41 Dobřany	MSP	materiály, tváření, tepelné zpracování VaV v oblasti kovových materiálů, zavádění nových technologií tváření a tepelného zpracování kovů v oborech strojírenství, automobilový průmysl, energetika, vývoj technologií, materiálový výzkum, měření a zkoušení, poradenství a školení	x	x	x						x	x	x
Regionální	Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky	N	CR	Hl. m. Praha	Jugoslávských partyzánů 1580/3, 160 00 Praha 6 – Dejvice		VaV, robotika a strojové vnímání, inteligentní systémy, průmyslová informatika, průmyslová výroba a automatizace, kyberneticko-fyzikální systémy, kognitivní systémy a neurovědy, biomedicína a asistivní technologie, vědecké řízení platform		x		x	x	x				x	x
Firma	ČKD BLANSKO-O.S., a. s.	A	CR	Jihomoravský kraj	Gellhornova 1, 678 01 Blansko	Velký podnik	turbíny, uzávěry, hydromechanické vybavení Kaplanovy turbíny, klapkové uzávěry, nožová šoupátka, jezové klapky, kuželové uzávěry, rozstřikovací uzávěry, segmentové uzávěry, regulační uzávěry	x	x								x	
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní	N	CR	Hl. m. Praha	Jugoslávských partyzánů 1580/3, Praha 160 00		vzdělávání, VaV, vzdělávání ve strojírenských oborech											x
Regionální	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Centrum vozidel udržitelné mobility (CVUM)	N	CR	Středočeský kraj	Přílepská 1920, 252 63 Rostky u Prahy		VaV, elektrické pohonné agregáty s akumulací elektrické energie, výběr koncepce a zhodnocení budoucího spalovacího motoru, výběr koncepce a zhodnocení pohonných ústrojí s akumulací energie, využití mechatroniky a vozidlové mikroelektroniky pro budoucí vozidla	x	x							x	x	x
Regionální	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Inovační centrum diagnostiky a aplikace materiálů (ICDAM)	N	CR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 - Dejvice		VaV, diagnostika materiálů, expertizní činnost ve strojírenství, školení, poradenství, strukturní a fraktografická analýza, ověřování mechanických vlastností materiálů, kontrola chemického složení materiálů, vývoj technologií povrchového inženýrství, diagnostika kovových a nekovových materiálů a konstrukcí, tribologické zkoušky, komplexní expertizní činnost v oblasti kovů, plastů a kompozitů		x								x	x
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel	N	CR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 – Dejvice		vzdělávání, VaV, výzkum jízdních a vodicích vlastností kolejových vozidel, symbióza Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel a Centra vozidel udržitelné mobility (CVUM), hodnocení, návrhy konstrukčních skupin v pojezdech a pohonech kolejových vozidel s ohledem na bezpečnost provozu dle platných norem a TSI	x	x							x	x	x
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav energetiky	N	CR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 – Dejvice		vzdělávání, VaV, zvyšování efektivity a ekologičnosti procesu spalování tuhých paliv, zaměření na biomasu a alternativní paliva v pohnitých malých výkonů, optimalizace konstrukčních řešení teplovodních kotlů určených pro lokální otop, výzkum technologie oxy-fuel spalování, post-combustion – ca-looping system, pre-combustion, sušení biomasy, dvoufázové proudění v energetických zařízeních, decentralizovaná energetika	x	x		x						x	x
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav konstruování a částí strojů	N	CR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 – Dejvice		vzdělávání, VaV, návrh výrobku (ideové návrhy, analytické návrhy, MKP výpočty, zajištění výroby, zajištění stavby zařízení), zpracování koncepčních návrhů ve formě skic a 3D modelů, zpracování výrobní technické dokumentace, zprostředkování výroby, výpočty, tenzometrická měření, měření vlastností hydraulických systémů, měření vlastností spojů a brzd, experimenty, školení		x								x	x

VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav letadlové techniky	Z	ČR	Hl. m. Praha	Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2	vzdělávání, VaV, projektování letadel a pohonných jednotek, aeroelasticita a modální analýza flutterové průkazy pro lehká sportovní letadla, tenzometrická měření kovů i kompozitů, kompozitní materiály a technologie, bezpilotní prostředky UAV, numerické modelování FEM, CFD, pevnostní analýza a zkoušení konstrukcí		X	X						X	X
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav materiálového inženýrství	Z	ČR	Hl. m. Praha	Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2	vzdělávání, VaV, analýza materiálů, modifikace materiálů, technologie výroby materiálů, strukturní analýza (světelná i elektronová mikroskopie a diferenciální kalorimetrie), analýza chemického složení, zkoušky opotřebení, kavitace a koroze, mechanické zkoušky		X							X	X
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky	Z	ČR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 – Dejvice	vzdělávání, VaV, sdílení tepla a hmoty, hemodynamika, vnější a vnitřní aerodynamika, měřicí technika, numerické modelování	X	X							X	X
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky	Z	ČR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 – Dejvice	vzdělávání, VaV, mezní stavy materiálů a konstrukcí, únava materiálu, tvárné porušení, využití progresivních materiálů pro dosažení lepších vlastností konstrukcí		X	X	X	X				X	X
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky	Z	ČR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 –Dejvice	vzdělávání, VaV, míchání a míchací zařízení, dispergační technologie a zařízení, tepelné výměníky (návrh, výpočty, zkoušení, optimalizace), hydromechanické procesy a zařízení (doprava tekutin, filtrace, usazovací, odštědivky a cyklony, fluidace), procesy a zařízení pro přestup tepla	X	X					X	X	X	
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídící techniky	Z	ČR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 – Dejvice	vzdělávání, VaV, IT, programování, umělá inteligence, systémy s průmyslovými mikropočítači, přesná měření průtoku, kalibrace teploměrů, měření, regulace, vizualizace, automatizace procesů, PLC, posuzování jakosti a spolehlivosti, návrh speciálních měřicích metod, vývoj a realizace snímačů v oblasti průmyslu a biomechaniky, napařování tenkých vrstev		X		X					X	X
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav řízení a ekonomiky podniku	Z	ČR	Hl. m. Praha	Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2	vzdělávání, VaV, celoživotní cyklus výrobků, udržitelnost podnikového rozvoje, modelování výrobních systémů a procesů, modelování logistických systémů a procesů, řízení tržní a nákladové efektivnosti výrobních a výrobních inovací, lean management, controlling podnikových procesů	X	X	X					X	X	X
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie	Z	ČR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 –Dejvice	vzdělávání, VaV, tváření, slévání, svařování, povrchové úpravy, diagnostika konvenční a speciální technologie tváření, počítačová podpora a numerické simulace v oblasti technologických procesů, výzkum v oblasti životnosti nástrojů, návrhy konstrukce tvářecích nástrojů, určování parametrů tvářitelnosti (FLD křivky apod.)		X	X	X	X	X			X	X
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí	Z	ČR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 – Dejvice	vzdělávání, VaV, vytápění, příprava teplé vody, větrání, klimatizace, alternativní zdroje energie, snižování hluku a vibrací, ochrana ovzduší, simulace budov a systémů otopné soustavy, hydraulika a řízení otopných soustav, sálavé a průmyslové vytápění, otopné plochy, zásobování teplem, příprava teplé vody, zdravotnětechnické instalace, úprava vzduchu, hodnocení tepelného stavu prostředí, komfortní klimatizační systémy	X	X		X				X		X

VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie	N	ČR	Hl. m. Praha	Technická 4, 166 07 Praha 6 – Dejvice	vzdělávání, VaV, vývoj a optimalizace technologie obrábění, výroba vzorků pro zkoušky mechanických vlastností, projektování, strojírenská metrologie, vývoj a výroba měřicích přípravků, školení v oblasti metrologie a managementu kvality, navrhování nových výrobních systémů			X	X	X	X	X		X	X
VO	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení	N	ČR	Hl. m. Praha	Horská 3, 128 00 Praha 2	vzdělávání, VaV, pokročilé simulační modely, virtuální prototypování, virtuální testování, nové metody řízení pohonů, tlumení vibrací, nekonvenční materiály, nekonvenční struktury, sledování stavu a diagnostiky obráběcích strojů, kompenzace teplotních chyb strojů, návrh přídavného odměřování, optimalizace řezného procesu, technologie víceosého obrábění, minimalizace dopadů provozu stroje na životní prostředí, automatizace, konstrukce, mechatronika, měření, třískové obrábění, laserové technologie	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Firma	ČZ Strojírna, s. r. o.	A	ČR	Jihočeský kraj	Tovární 202, 386 01 Strakonice	Velký podnik broušení otvorů, broušení čel, broušení vnějších válcových ploch, speciální brusky pro malé otvory, jednoúčelové stavebnicové obráběcí stroje, zarovnávací stroje, speciální stroje na výrobu broušeného skla, opravy, modernizace, přestavby, jednoúčelové obráběcí stroje, přesná výroba, brousící stroje pro broušení otvorů a přilehlých čel	X	X	X				X		X	
Firma	DEIFFENBACHER CZ, hydraulické lisy, s. r. o.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Řípská 15, 627 00 Brno	MSP hydraulické lisy, tváření plechů, tváření, speciální lisy, tváření plechů, tváření za tepla, tváření za studena, speciální lisy, tváření plastů		X	X						X	
Firma	DEL, a. s.	A	ČR	Moravskoslezský kraj	Vratimovská 624/11, 718 00 Ostrava - Kunčičky	Velký podnik robotizace, manipulace, mechanizace, svařování, upínací přípravky, jednoúčelové stroje, modernizace, dodávky SH strojů, transfery zařízení, dopravníky, výrobní linky, vymezovací podložky	X	X	X	X	X	X	X		X	
Firma	Dormer Pramet, s. r. o.	A	ČR	Olomoucký kraj	Uničovská 2, 787 53 Šumperk	Velký podnik destičky řezných nástrojů ze slinutého karbidu, monolitní řezné nástroje, nástroje nástroje pro soustružení, frézování, vrtání, závitování, upínací systémy, upínací nástroje, monolitní frézy, monolitní vrtáky, závitníky, závitovací očka, karbidové technické frézy		X	X						X	
Firma	EMP, s. r. o.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Nádražní 394, 684 01 Slavkov u Brna	MSP elektromotory, čerpadla asynchronní elektromotor (jednofázový, třífázový, vestavný), ponorné elektročerpadlo, vysokotlaké elektročerpadlo, vícestupňové elektročerpadlo, zubové elektročerpadlo, speciální motor do vody	X	X								
Firma	Erwin Junker Grinding Technology, a. s.	A	ČR	Pardubický kraj	Pardubická 332, 534 01 Holice	Velký podnik broušení, filtrace, hrotové brusky, stroje pro broušení nekruhových tvarů, brousící centrum s více stanicemi, bezhruté brousící stroje, dvoukotoučová rovinná bruska, brousící stroje na řezné nástroje, profilové a dělicí brousící stroje, filtrační systémy pro olejovou a emulzní mlhu, elektrostatické filtrační systémy pro olejovou a emulzní mlhu, mechanické filtrační systémy pro olejovou a emulzní mlhu		X	X						X	
Vědeckotechnická	Eurosignal, a. s.	N	ČR	Středočeský kraj	Mstětice 34, 250 91 Zeleneč	bezpečnost výrobků, certifikace shody proudků, akreditované zkušební a testovací laboratoře, vědecká činnost, posudky a konzultace v elektrotechnice, hodnocení a posuzování bezpečnosti výrobků z oblasti zabezpečovací a řídicí techniky pro železnice		X							X	X

VO	Fakulta strojního inženýrství, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem	Z	ČR	Ústecký kraj	Pasteurova 1, 400 96 Ústí nad Labem	materiály, nanopovlaky, zbytkové napětí při obrábění, povrchy, dokončovací a progresivní metody obrábění, ráz a přenos impulzu v soustavě elastických a viskoelastických těles, izotropních a ortotropních těles		X								X	X
VO	Fakulta strojního inženýrství, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Ústav strojů a energetiky	Z	ČR	Ústecký kraj	Pasteurova 1, 400 96 Ústí nad Labem	vzdělávání, VaV, destruktivní měření, nedestruktivní měření, chemické zkoušky, speciální zkoušky (měření strukturálních složek materiálu, termodynamická analýza apod.), analýza podnikových procesů, řešení technologických problémů při zpracování hliníku, kurzy a školení v oblasti materiálů a technologií		X	X	X						X	X
VO	Fakulta strojního inženýrství, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Ústav technologií a materiálů	Z	ČR	Ústecký kraj	Pasteurova 1, 400 96 Ústí nad Labem	vzdělávání, VaV, vývoj a výzkum nových materiálů zkoumání, vyhodnocování a optimalizace zpracování Al slitin, řešení technologických problémů a optimalizace technologií v oblasti železných a neželezných kovů pro průmysl, výzkum procesu broušení nástrojů, hodnocení reziduálních napětí v povrchových vrstvách po obrábění, opotřebení materiálů, korozní chování materiálů, analýza lomových ploch		X								X	X
Firma	FANUC Czech, s. r. o.	A	ČR	Hl. m. Praha	K Bílému vrchu 3142/7, 193 00 Praha 9	MSP CNC stroje, roboty, CNC řídicí systémy, servomotory, Fiber Laser, CO ₂ laser, kompaktní CNC obráběcí centra, elektronické CNC vstříkovací stroje, CNC řízené elektroerozivní drátové řezačky, extrémně přesné stroje, FIELD systém		X	X	X	X	X	X			X	X
Firma	FERMAT CZ, s. r. o.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Tuřanka 1319/104, 627 00 Brno-Slatina	Velký podnik horizontální vyvrtávačky, frézovací stroje, válcové brusky, portálové stroje vodorovné vyvrtávačky stolového typu, vodorovné vyvrtávačky deskového typu, frézovací stroje, portálové stroje, skladové stroje, brusky		X				X				X	
Koncový výrobce	GHH-BONATRANS	A	ČR	Moravskoslezský kraj	Revoluční 1234, 735 81 Bohumín	Velký podnik dvojkolí, kola, nápravy, náhradní díly, tlumiče hluku		X	X		X					X	
Firma	Grumant, s. r. o.	A	ČR	Hl. m. Praha	Bečovská 1435, 104 00 Praha 10 – Uhřetěves	MSP nástroje, automatizace, robotizace, měřicí technika, CAD, CAM, DNC sítě, tool management nástroje pro soustružení, nástroje pro vrtání, nástroje pro frézování, nástroje pro obrábění závitů, nástroje pro protažení otvorů, nástroje pro upínání nástrojů, brusná technika, speciální nástroje, upínání obrobků, obráběcí stroje, toolbox, CAD/CAM, měřicí technika, tool anagement		X	X	X						X	
Firma	G-Tech, s. r. o.	A	ČR	Liberecký kraj	Tovární 89/5, 466 01 Jablonec nad Nisou	MSP montážní pracoviště, kontrolní pracoviště, manipulace s díly, úpravy výrobních linek, úpravy montážních linek, zakázková výroba montážní linky, montážní pracoviště, montážní stroje, montážní přípravky (šroubování, řezání, lisování, nýťování, ohýbání, pájení, svařování), kontrola dílů, kontrolní tvarové formy, měření těsnosti, kontrola přímosti, ustavovací přípravky pro 3D měření, podavače, paletové systémy, transportní přípravky, manipulátory		X	X		X	X				X	
Firma	GTW Bearing, s. r. o.	A	ČR	Plzeňský kraj	Příšov 24, 330 11 Příšov	MSP radiální profilová ložiska, ložiska s radiálními naklápěcími segmenty, samovyvažovací axiální ložiska, ložiska s axiálními naklápěcími segmenty, ložiskové systémy, elektricky izolovaná ložiska										X	

Firma	HEIDENHAIN, s. r. o.	A	ČR	Hl. m. Praha	Dolnoměcholupská 12b, 102 00 Praha 10 – Hostivař	MSP	měřicí technika, řídicí technika, polohování, lineární snímače, úhlové snímače, rotační snímače, dotyková měřidla, CNC řízení, následná elektronika, dotykové sondy, diagnóza, testovací prostředky, mřížkové snímače zapouzdřené a otevřené lineární snímače, zapouzdřené úhlové snímače, modulární úhlové snímače s optickým snímáním, modulární úhlové snímače s magnetickým snímáním, moduly úhlových snímačů, rotační snímače s vlastním uložením		x	x	x	x				x	x
Firma	HESTEGO	A	ČR	Jihomoravský kraj	Na Nouzce 470/7, 682 01 Vyškov	Velký podnik	teleskopické kryty, kabelové nosiče, stěrače vodicích ploch, vnější krytování strojů, ochranné prvky pro obrábění, tvářecí stroje, teleskopické kryty, kapotáže, vnější krytování celých strojů	x	x	x	x					x	
Firma	HOFMEISTER, s. r. o.	A	ČR	Plzeňský kraj	Daimlerova 9, 301 00 Plzeň	MSP	nástroje, servis nástrojů, laserové mikroobrábění, mikroobrábění, přípravy, CNC obrábění, filtrační systémy pro obrábění kovů, modulární skříně, omílání, pískování, laserový popis, měření, nástroje, nářadí, rotační rozvaděče, kartáčovací stanice, upínací přípravky, filtrační systémy Transor, modulární skříně Carousel, vysokotlaké agregáty, plastové obaly	x	x	x	x					x	
VO	INTEMAC Solutions, s. r. o.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Blanenská 1288/27, 664 34 Kuřim	MSP	vývoj, implementace pokročilých výrobních technologií, digitalizace výrobních firem, implementace digitální technologie konceptu Průmysl 4.0, poradenský program, výzkumné a inovační centrum		x	x	x	x	x			x	x
Koncový uživatel	Isolit Bravo	A	ČR	Pardubický kraj	Jablonské náměstí 305, 561 64 Jablonné nad Orlicí	Velký podnik	formy, zpracování plastů, montáž, konstrukce a výroba nástrojů, zpracování plechů, pokovování, 3D tisk, prototypové dílce vyrobené na 3D tiskárně, výroba výlisků, pokovování výlisků, konstrukce a výroba nástrojů, zpracování plechů, hluboké tažení, stříhání, leštění, svařování (bodování), telefonování, rolování, ultrazvukové svařování, potisk plastových a kovových dílců, výroba náročných technických dílců, pohledové dílce		x	x		x	x			x	
Firma	JHSP, s. r. o.	A	ČR	Liberecký kraj	Ještědská 868, 468 02 Rychnov u Jablonce nad Nisou	MSP	CNC obrábění, formy, nástroje, přípravky, cubingy, jednoúčelové stroje, 3D měření		x							x	
Vědeckotechnický	Jihočeský vědecko-technický park (JVTP)	N	ČR	Jihočeský kraj	U Zimního stadionu 1952/2, 370 76 České Budějovice		šíření inovací, technologický transfer										x
VO	Johanes Kepler University in Linz	N	Rakousko	Horní Rakousy	Altenberger StraÙe 69, 4040 Linz, Austria		mechatronika, materiály, mechanika		x	x						x	x
Firma	KASPE Machines, s. r. o.	A	ČR	Vysočina	Myslotínská 1048, 393 01 Pelhřimov	MSP	pily, brusky na kámen, stoly, nástroje, servis zkracovací pily, formátovací pily, blokové pily, vícelisté pily a lanové pily, brousící a frézovací ramena, brusky na broušení boků, brusky na broušení ploch, motoricky otočný stůl, otočné stoly stabilní, pojízdné stoly, stabilní stůl s naklápacím rámem, brusiva, diamantové nástroje, chemie, psaní a měření, ruční nářadí, sochařské nářadí, transportní zařízení, V-guide		x	x						x	

Firma	Kovářna VIVA, a. s.	A	ČR	Zlínský kraj	Vavrečkova 5333, 760 01 Zlín	Velký podnik	konstrukce a vývoj tvářecích strojů, formy, kování, tepelné zpracování výkovků, obrábění, převodovky, spojky, podvozkové díly, stabilizační systémy, tlumiče, brzdy, diesellové vstříkovací systémy, díly řízení, hydraulické motory, vysokozdvizné vozíky		x	x		x					x		
Firma	KOVOSVIT MAS, a. s.	A	ČR	Jihočeský kraj	Tomáše Bati 419, 391 02 Sezimovo Ústí	Velký podnik	Obráběcí stroje: CNC stroje, CNC soustruhy, vyvrtávání, multifunkční obrábění, válečkování Frézovací stroje: soustružnické stroje, multifunkční stroje, speciální technologie, referenční dílce, odlitky, automatizace	x	x	x	x	x	x				x		
Firma	KSK Precise Motion, a. s.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Blanenská 1277/37, 664 34 Kuřim	MSP	kuličkové šrouby, trapézové šrouby, vodící tyče, opravy šroubů, přesné kuličkové šrouby pro obráběcí stroje, trapézové šrouby s lichoběžníkovým závitem, závítové hřídele a matice, vodící tyče, lineární aktuátory, teleskopické kuličkové šrouby, bezprofilové kuličkové šrouby a uložení a další komponenty pro lineární pohyb	x	x								x		
Firma	KUKA Automation ČR, s. r. o.	A	ČR	Karlovarský kraj	Černovice 173, 430 01 Chomutov	MSP	robotické systémy, výrobní stroje, výrobní linky, bezobslužné transportní systémy, mobilita, procesní technologie průmyslové roboty, software, řídicí systémy robotů, periferie robotů, laserový řezací portál, slévárenské stroje, rotační stroje pro svařování třením, svařovací stroje, výrobní linky, mobilní plošiny, mobilní roboty		x	x	x	x	x				x		
Subdodavatel	LAPP Czech Republic, s. r. o.	A	ČR	Zlínský kraj	Bartošova 315, 76502 Kvítkovice – Otrokovice	Velký podnik	kabely, datová komunikace, ethernet, optické systémy přenosu dat, průmyslové konektory, kabelové vývodky, ochrana a vedení kabelů, označovací systémy, nářadí, příslušenství kabelů připojovací kabely, ovládací kabely, systémy datové komunikace, systémy datové komunikace pro Ethernet, optické systémy přenosu dat, EPIC průmyslové konektory, kabelové vývodky, systémy pro ochranu a vedení kabelů, označovací systémy, nářadí a příslušenství kabelů		x								x		
Firma	Machine building, s. r.o.	A	ČR	Liberecký kraj	České mládeže 1003, Rochlice, 460 06 Liberec	MSP	automatizace výroby, robotizace, modulární systém stavby strojů, testování, školení						x	x				x	
Výpočty a analýzy	MECAS ESI, s. r. o.	A	ČR	Plzeňský kraj	Brojova 16/2113, 326 00 Plzeň – Východní Předměstí	MSP	software, virtuální prototypování		x	x	x						x	x	
Firma	MEFI, s. r. o.	A	ČR	Hl. m. Praha	Ringhofferova 115/1, 155 21 Praha 5	MSP	CNC řídicí systémy, CNC komunikační adaptéry, řídicí systémy CNC872 iTD, iTQ, řídicí systémy řady CNC8x9 Dual, komunikační adaptéry		x	x	x	x					x		
Firma	MIKRONEX, s.r.o.	A	ČR	Hl. m. Praha	Na Úlehli 1286/16, 141 00 Praha 4	MSP	brusky, nástrojové ostříčky, speciální stroje, numerické řízení, dotykové sondy, řídicí systémy pro krokové servopohony, řídicí systémy pro krokové servopohony, numericky řízené frézky a soustruhy, školní výukové CNC stroje, dotykové sondy, numericky řízené hrotové brusky, numericky řízené brusky na plocho, numericky řízené nástrojové ostříčky, numericky řízené speciální stroje		x								x		
Firma	Misan, s. r. o.	A	ČR	středočeský kraj	Ke Vrutici 1795, 289 22 Lysá nad Labem	MSP	Servis a technologická podpora: servisní zabezpečení obráběcích strojů Okuma, Brother, Okamoto, zastoupení firem Okuma, Brother, Okamoto, Concept Laser, Sumitomo, záruční servis, pozáruční servis, instalace strojů, časové studie obrábění, poradenství, školení, náhradní díly, technická podpora	x	x	x	x	x	x				x	x	

Firma	MODELÁRNA LIAZ, spol. s r. o.	A	ČR	Liberecký kraj	Kamenická 743, 463 12 Liberec	Velký podnik	formy, náhradní díly pro letectví a autosport, turbíny, tvářecí a stříhací nástroje, cubingy, PUR enkapsulace, PVC TPE a WST formy, modely a formy pro slévárství, PUR formy, PUR enkapsulace, PVC TPE a WST formy, design a DKM modely, cubingy a kontrolní přípravky, tvářecí a stříhací nástroje, WJ + obráběcí přípravky, odlitky, turbíny, náhradní díly pro letectví a autosport, formy: sprej a masky, RIM, ROM + Flex-house, Back, EPP, PPE, prototypy: design a art objekty		x	x		x				x					
Firma	MOTOR JIKOV Strojírenská, a. s.	A	ČR	Jihočeský kraj	Zátkova 495, 392 01 Soběslav II	Velký podnik	komponenty, nýtovací nástroje, motorová zahradní technika, hydraulické systémy, filtrační systémy, výroba komponent pro osobní, užitkové a nákladní vozy, pro manipulační techniku, pro polygrafické, textilní a dřevoobráběcí stroje, pro hydraulické a filtrační systémy, výroba a montáž nýtovacích nástrojů, výroba a montáž motorové zahradní techniky		x	x							x				
Firma	Narex Roll, s. r. o.	A	ČR	středočeský kraj	Vápenka 331, 267 51 Zdice	MSP	válce, válcování závitů, výstružníky, válcovačky závitů, čelisti, válečky pro závitové hlavy, podložky pro válcování závitů ploché čelisti, segmentové čelisti, podložky pro válcování závitů, válečky pro závitové hlavy, radiální čelisti, tangenciální čelisti, válcovačky závitů, výstružníky, válcování závitů, závitové válce, vroubkovací válce		x	x			x				x				
Firma	NAREX Ždánice, spol. s r. o.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Městečko 250, 696 32 Ždánice	MSP	závitníky, kruhové čelisti, nástroje, závitorezy strojní závitníky, tvářecí závitníky, maticové závitníky, ruční sadové závitníky, závitové kruhové čelisti, soupravy nástrojů, nestandardní produkty, závitorezy		x									x			
Firma	PBS Turbo, s.r.o.	A	ČR	Vysočina	Vlkovská 297, 595 01 Velká Bíteš	Velký podnik	vertikální obráběcí centrum, frézovací centrum, soustruh, bruska vertikální obráběcí centrum, frézovací centrum pro soustružení, revolverový soustruh, trojosé vertikální frézovací centrum, uni válcová bruska, uni povrchová bruska		x	x	x								x		
Firma	PBS Velká Bíteš První brněnská strojírna Velká Bíteš, a. s.	A	ČR	Vysočina	Vlkovská 297, 595 01 Velká Bíteš	Velký podnik	letecké motory, pomocné energetické jednotky, klimatizační systémy, letecké přístroje, letecké komponenty, energetické celky, turbíny, průmyslové kotle, projektové služby, turbínová kola, lopatky a segmenty plynových turbín, oběžná a rozváděcí kola leteckých motorů, rozvláknovací hlavy, femorální komponenty, kompresory, čerpadla, přesné lití		x	x	x								x		
Firma	PILOUS – pásové pily, spol. s r. o.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Železná 9/648, 619 00 Brno	MSP	pásové pily na kov, pásové pily na dřevo, odhrotovací stroje, dopravníky, pilové pásy, emulze, kotoučové pily, brusky, rozvod zubů, pásové pily na kov, odhrotovací stroje, dopravníky, pilové pásy, emulze, kmenové pásové pily na dřevo, kotoučové pily, brusky pilových pásů, zařízení na rozvod zubů, pilové pásy, dopravníky			x	x			x					x		
Firma	PLASMAMETAL, spol. s r. o.	A	ČR	Plzeňský kraj	Dolanská 536, 330 03 Chrást	MSP	Povrchová ochrana technickými plasty PA11 RILSAN, PA12 VESTOSINT, PTFE, PFA, MFA, ECTFE HALAR, ETFE, FEP, PE		x	x										x	
Firma	PQS Technology, Ltd.	A	ČR	středočeský kraj	Kuštova 637, 269 40 Rakovník		hydraulika, rozvaděče, ventily, hydrogenerátory, připojovací desky šoupátkové rozvaděče, logické (cartridge) ventily, připojovací desky, ventily pro řízení tlaku, ventily pro řízení směru průtoku, ventily pro řízení průtoku, lamelové hydrogenerátory, zubové hydrogenerátory, proporcionální technika		x		x			x					x		

Firma	PRATO, spol. s r. o.	A	ČR	Hl. m. Praha	Ocelářská 18/900, 190 00 Praha 9	MSP	generální opravy, modernizace, obrábění rozměrných dílů, kovací stroje, nástroje, konstrukce, projekce, nákup a prodej, logistika generální opravy (modernizace, demontáž, kontrola dílů, opravy, renovace dílů, výroba dílů, elektrická zařízení, řízení stroje, mazání, hydraulika, montáž a zkoušky strojů), obrábění rozměrných dílů a součástí, kovací stroje (montáž, opravy, servis), opravy nástrojů, výroba nástrojů, konstrukční činnost, projekční činnost, nákup a prodej použitých strojů, logistika		x	x							x		
Firma	PROFIKA, s. r. o.	A	ČR	Středočeský kraj	Průmyslová 1006, 294 71 Benátky nad Jizerou	MSP	CNC soustruhy, horizontální obráběcí centra, vertikální obráběcí centra, robotizace, speciální CNC technologie, dvousosové CNC soustruhy revolverové, soustružnická centra, multiprocesní soustružnická centra, produkční speciály, dlouhotočné automaty, karusely, soustruhy na AI kola, CNC soustruhy s lineární lavicí (lišťové), vertikální obráběcí centra, horizontální obráběcí centra, vodní paprsek		x	x		x	x				x		
Firma	Proinno, a. s.	A	ČR	Plzeňský kraj	Průmyslová 995, 334 41 Dobřany	MSP	metalurgie, materiálová analýza, zkoušení, měření, počítačové modelování, výroba a přepracování kovových materiálů, vývojové služby (tavení, lití, kování, válcování, protlačování, tepelné, termomechanické a chemicko-tepelné zpracování),materiálové analýzy (převážně kovových materiálů), chemické objevové analýzy, analýzy v mikroobjemech, analýzy vysoce čistých materiálů, analýzy chemicky komplexních materiálů, mechanické zkoušení a termofyzikální měření, počítačové modelování (konstrukční řešení, pevnostní výpočty, výkresová dokumentace)	x	x		x				x	x			
Firma	Renishaw, s r. o.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Olomoucká 1164/85, 627 00 Brno	Velký podnik	přesné měření procesů, řízení procesů, řízení polohy, řízení pohybu, aditivní výroba, 3D tisk, zdravotnictví, vakuové odlévání sondy a software pro souřadnicové měřicí stroje, kontrolní systémy, upínací stavebnice, kalibrace a optimalizace strojů, sondy a software pro obráběcí stroje, doteky pro měřicí sondy, interferometrické laserové snímače, magnetické snímače, optické snímače, produkty pro zubní lékařství, výrobky pro neurologii a terapii, Ramanova spektroskopie, kranioaxilofaciální produkty, 3D tisk kovů, vakuové odlévání plastů, vakuové odlévání kovů	x	x	x	x	x	x				x	x	
Firma	RETOS VARNSDORF, s.r.o.	A	ČR	Ústecký kraj	Žitavská 913, 407 47 Varnsdorf	MSP	horizontální vyvrtávačky, náhradní díly nové stroje, generální opravy, second hand stroje, příslušenství, náhradní díly		x	x								x	
Firma	ROTANA	A	ČR	kraj Vysočina	Průmyslová 2085, 549 01 Velké Meziříčí	MSP	ultratvrdé nástroje (materiály na bázi diamantu, na bázi kubického nitridu bóru), speciální nástroje (pro frézování, pro obrábění otvorů), mikronástroje, výměnné břitové destičky	x	x	x								x	
Firma	Seco Tools CZ, s. r. o.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Olomoucká 178a, 627 00 Brno	MSP	frézování, soustružení, obrábění otvorů, závitování, nástrojové systémy rotační držáky, stacionární adaptéry, provozní příslušenství, seřizovací příslušenství, tepelné upínání Shrinkfit, soustružení závitů, frézování závitů, obrábění závitníkem, vrtání, vyvrtávací hlavy, vystružování, obecné soustružení ISO, zapichování, vpichování, pokročilé řezné materiály (PCBN, PCD, keramika), frézy, frézy s vyměnitelnou hlavičkou, monolitní frézy		x	x								x	
Firma	Schaeffler Production CZ, s. r. o.	A	ČR	Pardubický kraj	Průmyslová 2295/26, 568 02 Svitavy	Velký podnik	nástroje, vstříkovací formy, náhradní díly pro výrobu ložisek		x									x	

Firma	Schneeberger Mineralgusstechnik, s. r. o.	A	ČR	Karlovarský kraj	Průmyslový park 32/20, 350 02 Cheb – Dolní Dvory	MSP	lineární ložiska, lineární válečková vedení, přízpusobená ložiska, kluzná vedení, lineární ložiska s integrovaným měřicím systémem, ozubené hřebeny, kluzné/mikro třecí a polohovací stoly, minerální odlitky, přesné polohovací systémy, pohybové systémy, kuličkové šrouby		x	x			x		x	
Firma	SCHUNK GmbH & Co. KG	A	ČR	Jihomoravský kraj	Tuřanka 115, 627 00 Brno	Velký podnik	uchopovací systémy, příslušenství robotů, upínací technika paralelní chapadlo, uchopovač co-act, středící chapadla, úhlové chapadlo, magnetické uchopovadlo, rotačně uchopovací modul, 4prsté chapadlo, uchopovač O-kroužků, chapadlo s rozhraním hřídele, chapadlo k uchopování za otvor, uchopovací ruce, příslušenství robotů (výměna, přivádění, kompenzace, monitorování, měření, robotické odebrání materiálu, plug in work portfolio)		x	x		x	x		x	
Firma	Slovácké strojírný, a. s.	A	ČR	Zlínský kraj	Nivnická 1763, 688 28 Uherský Brod	Velký podnik	dělení materiálu, pískování povrchů, ohýbání a ohraňování, obrábění, svařování, tepelné zpracování, práškové barvy, mokré barvy, nedestruktivní zkoušky materiálů a svarů, vodní paprsek, CNC laserový řezací stroj, kapilární, magnetické, rentgenové a ultrazvukové nedestruktivní zkoušky materiálů a svarů		x	x					x	
Firma	Slovácké strojírný, a. s., TOS Čelákovice	A	ČR	Středočeský kraj	SUB, a. s. – Závod 08 TOS Čelákovice, Stankovského 1892, 250 88 Čelákovice	MSP	brusky, soustruhy, ozubárenské stroje hrotové brusky, bezhroté brusky, CNC soustruhy, multifunkční obráběcí centrum, odvalovací frézky na ozubení, odvalovací obráběčky na ozubení	x	x	x		x			x	
Firma	SOMA	A	ČR	Pardubický kraj	B. Smetany 380, 563 01 Lanškroun – Žichlínské Předměstí	MSP	flexotisky, laminátory, řezačky, montážky vysekávačky		x	x					x	
Firma	Stäubli Systém, s. r. o.	A	ČR	Pardubický kraj	Hradecká 536, 530 09 Pardubice II	Velký podnik	konektory, robotika, textilní stroje, bezpečnostní spojky, multipólové konektory, systémy pro změnu forem, robotické nástroje, robotická výrobní linka, textilní stroje		x			x	x		x	
VO	Strojírenský zkušební ústav, s. p.	N	ČR	Jihomoravský kraj	Hudcova 424/56b, 621 00 Brno		zkoušebnictví, inspekce, certifikace, školení zkoušení a certifikace: tepelná technika, stavební výrobky, spotřební zboží, průmysl, bezpečnost, domácnost, provoz, zdravotnické prostředky		x						x	
Firma	Strojírna Jan Bacho, s. r. o.	A	ČR	Moravskoslezský kraj	Dívčí Hrad 54, 793 99 Dívčí Hrad	MSP	svařování, CNC obrábění, tryskání, povrchová úprava, výkresová dokumentace, černění		x						x	
Firma	Strojírna Tyc, s. r. o.	A	ČR	Píseňský kraj	Dlouhá třída 17, 338 05 Mýto	MSP	portálová obráběcí centra, stroje na míru: portálové centrum horní gantry, portálové centrum spodní gantry, portál s přestavitelným příčnickem, centrum s posuvným stolem, centrum s kolébkovým stolem, portálové centrum, vertikální obráběcí centrum		x	x		x			x	
Firma	Strojírny Hedvíkov, s. r. o.	A		Pardubický kraj	Generála Svobody 335, 533 51 Pardubice – Rosice nad Labem	MSP	formy a nástroje		x	x					x	

54

VO	Technická univerzita Ostrava (VŠB – TUO), Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení	Z	ČR	Moravskoslezský kraj	17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba	Vzdělávání, VaV, měření hluku, měření vibrací strojů, měření vibrací vozidel, měření úhlových kmitů, modální analýza, provozní tvary kmitů, aktivní potlačování vibrací, navrhování číslicových filtrů, poradenství v oblasti řídicích systémů hydraulických a pneumatických pohonů, tvorba informačních systémů pro sběr a zpracování dat, bezdrátové technologie, real-time řídicí aplikace s dSPACE, energy harvesting, programování mikroprocesorových jednotek a tvorba HW, obraz, využití obrazu, simulace systémů s Matlab, návrhy systémů řízení, testování informačních systémů		X	X	X	X	X		X	X
VO	Technická univerzita Ostrava (VŠB – TUO), Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů	Z	ČR	Moravskoslezský kraj	17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba	Vzdělávání, VaV, převodové skříně, měření mechanických veličin, měření vibrací, měření hluku, nestandardní ozubení, potrubní trasy, pevnostní výpočty, tepelné kompenzace, počítačové řešení kinematických a dynamických vlastností, charakteristika pružných elementů, životnost strojních součástí, šroubové dynamicky namáhané spoje, životnostní zkoušky ozubených soukolí, deformační zkoušky převodových skříní, komplexní návrhy převodových skříní, včetně planetových měření statických a dynamických mechanických veličin		X						X	X
VO	Technická univerzita Ostrava (VŠB – TUO), Fakulta strojní, Katedra energetiky	Z	ČR	Moravskoslezský kraj	19. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba	Vzdělávání, VaV, smluvní výzkum, měření v energetice, vývoj kotlů na obilnou slámu, vývoj sušárny spalín s využitím tepla, zvyšování účinnosti energetických zařízení pro snížení emisí včetně CO ₂ , odsiřovací zkoušky sorbenty na bázi vápníku a sodíku, vývoj čpavkových odsiřovacích metod, výzkum, vývoj a optimalizace primárních a sekundárních denitrifikačních metod, výzkum a vývoj kotlů na spalování biomasy, dřevní hmota, obilná sláma, traviny a stébelniny, počítačové modelování pomocí CFD softwarů	X	X				X	X	X	
VO	Technická univerzita Ostrava (VŠB – TUO), Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení	Z	ČR	Moravskoslezský kraj	17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba	Vzdělávání, VaV, hydraulika, pneumatika, dynamické jevy, matematické modelování proudění, přestup tepla, spalování, životní prostředí	X	X					X	X	X
VO	Technická univerzita Ostrava (VŠB – TUO), Fakulta strojní, Katedra konstruování	Z	ČR	Moravskoslezský kraj	17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba	Vzdělávání, VaV, konstrukce strojů, strojní systémy, konstrukční studie, prototypy strojů, prototypy zařízení, certifikace personálu, laboratorní rozbor paliv, laboratorní rozbor maziv, vibrodiagnostika, termodiagnostika, akustika, laserové měření, optické měření, nedestruktivní testování, CAD systémy projektování a konstrukce strojů a strojních systémů	X	X						X	X
VO	Technická univerzita Ostrava (VŠB – TUO), Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie	Z	ČR	Moravskoslezský kraj	17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba	Vzdělávání, VaV, řízení, tváření, svařování, galvanizéry, povrchové úpravy analytické a informační studie z oblasti řízení analýzy tvářecích procesů metodou konečných prvků, expertizy a posudky v oboru svařování, kurzy galvanizérů, kurzy metody konečných prvků ve tváření, kurzy povrchových úprav, kurzy tvářitelnosti kovových materiálů za studena		X	X					X	X
VO	Technická univerzita Ostrava (VŠB – TUO), Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie	Z	ČR	Moravskoslezský kraj	17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba	Vzdělávání, VaV, nástroje, měření tvarových součástí, obrábění, CAD/CAM, měření středně dlouhých součástí, stanovení obrobiteľnosti, stanovení optimálních řezných podmínek, testování obráběcích nástrojů, konstrukce obráběcích nástrojů a přípravků, měření tvarových součástí, organizování kurzů se zaměřením na teorii obrábění a na aplikaci CAD/CAM systémů, počítačová podpora při tvorbě programů pro NC stroje		X	X		X			X	X

VO	Technická univerzita Ostrava (VŠB – TUO), Fakulta strojní, Katedra robotiky	Z	ČR	Moravskoslezský kraj	18. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba	Vzdělávání, VaV, konstrukce a navrhování strojů a pracovišť, metodika konstruování, metody a nástroje pro vývoj a inovaci strojů a technologií, optimalizace parametrů strojů, návrh a provoz robotizovaných pracovišť, navrhování speciálních periferních zařízení a příslušenství, vývoj servisních robotů nových koncepcí pro nové aplikace, biorobotika, mechatronika – modelování a simulace chování mechanismů včetně řízení a pohonů, výpočty kinematických a dynamických parametrů (reakce, zatížení, napětí) prostorových mechanismů, polohovací mechanismy, mobilní roboty			X	X	X	X	X		X	X
Vědeckotechnická	Technologické centrum AV ČR	Z	ČR	Hl. m. Praha	Ve Struhách 1076/27, 160 00 Praha 6 – Podbaba	Výzkumné a vývojové organizace, inovativní společnosti, výzkum ve vědě, technologiích, inovacích podpora zapojení ČR do evropského výzkumného prostoru, mezinárodní technologický transfer, podpora vzniku a rozvoje malých inovačních firem	X	X					X			X
Vědeckotechnický	Technologický park Jihlava	Z	ČR	kraj Vysočina	Chýnovská 535, Planá nad Lužnicí	inovace, konkurenceschopnost, technologické inovace, procesní inovace. Družstvo je společenstvím neuzavřeného počtu osob, jehož hlavním posláním je podpora inovací a zvyšování konkurenceschopnosti u členů družstva a klastru prostřednictvím zavádění technologických a procesních inovací ve strojírenství		X							X	X
Výpočty a simulace	TECHSIM	A	ČR	Hl. m. Praha	Budějovická 1550/15a, 140 00 Praha-Michle	MSP simulace, vývoj prototypu, výroba prototypu, software, měřicí HW, prediktivní engineering, kontrolní výpočty, optimalizační výpočty, validační výpočty, konzultace, metodika, optimalizace, inovace, měření a validace, obrábění, tváření, řezání, ohýbání, dělení materiálu, svařování konstrukcí, zámečnické práce, zajištění technické přípravy výroby tvarová optimalizace, konstrukce přípravků pro testování prototypu, zpracování naměřených dat, využití pro validaci a pro zpřesnění výpočetních modelů		X	X	X				X	X	
Výpočty a simulace	TECHSOFT, s. r. o.	A	ČR	Hl. m. Praha	Na Pankráci 322/26, 140 00 Praha 4 – Nusle	MSP ANSYS software		X	X	X					X	X
Firma	TGS nástroje – stroje – technologické služby ,spol. s r. o.	A	ČR	Plzeňský kraj	Plzeňská 610, 338 05 Mýto	MSP nástroje, obráběcí centra, CNC soustruhy, CNC obráběcí centra, servis, výroba prototypů, rotační nástroje, nástroje s výměnnými břitovými destičkami, upínací nářadí, ostříčky nástrojů a příslušenství, CNC obráběcí centra horizontální, CNC obráběcí centra vertikální, CNC obráběcí centra portálová, CNC soustruhy horizontální, CNC pětiosá obráběcí centra		X	X					X		
Vědeckotechnická	TIC Zlín	Z	ČR	Zlínský kraj	Vavrečkova 5262, 760 01 Zlín	podnikatelská podpora , podpora VaV ve firmách s účinnou spoluprací s VO		X								X
Firma	TOS Hostivař, s. r. o.	A	ČR	Hl. m. Praha	Radiová 1431/2a, 100 00 Praha 10	MSP hrotové brusky		X	X		X	X		X		
Firma	TOS KUŘIM – OS, a. s.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Blanenská 1321, 664 34 Kuřim	Velký podnik obráběcí centra, svislé soustruhy karusely, jednoúčelové stroje, horizontální obráběcí centra, portálová obráběcí centra, svislé soustruhy– karusely, jednoúčelové stroje (kulostroj – kulové čepy)		X	X	X				X		

Firma	TOS Olomouc, s.r.o.	A	ČR	Olomoucký kraj	Tovární 1180/30, 779 00 Olomouc-Hodolany	MSP	univerzální a produkční frézky, numericky řízené konzolové frézky		x								x	
Firma	TOS Svitavy, a.s.	A	ČR	Pardubický kraj	Říční 1, 568 17 Svitavy	Velký podnik	výroba dřevoobráběcích strojů, sklíčidla, kooperační výroba, nerezový materiál jednohřídelné rozmitací pily, dvouhřídelné rozmitací pily, omítací pily, zkracovací pily, repasované a použité stroje		x								x	
Firma	TOS VARNSDORF, a.s.	A	ČR	Ústecký kraj	Říční 1774, 704 47 Varnsdorf	Velký podnik	horizontální vyvrtávačky stolové, horizontální vyvrtávačky deskové, portálová obráběcí centra, horizontální obráběcí centra	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
Firma	TOSHULIN, a.s.	A	ČR	Zlínský kraj	Wolkerova 845, 768 24 Hulín	Velký podnik	Obráběcí centra: obrábění širokého spektra obrobků, náročné technologické aplikace s vysokou přesností, výkonové obrábění velkorozměrových dílců, komplexní obrábění		x	x	x	x	x				x	
Firma	TRATEC-CS, s.r.o.	A	ČR	Ústecký kraj	Brtnická 57, 407 78 Velký Šenov – Malý Šenov	MSP	obslužné plošiny, obslužné paravány, krytování strojů, robotické aplikace, žakárské řadění, CNC soustružení, CNC frézování, MIG, TIG, lakování, jednoúčelové poloautomatické stroje, osnovní vály, osnovní cívky, hudební komponenty, obslužné plošiny, hydraulické obslužné plošiny, obslužné paravány, krytování obráběcích strojů, kapotáže strojů		x								x	
Firma	TRIMILL, a.s.	A	ČR	Zlínský kraj	Dlouhé díly 447, 763 02 Zlín – Louky	MSP	vertikální obráběcí centra (třiosá, pětiosá s otočně-sklopným stolem, pětiosá s otočným stolem, pětiosá s pevným stolem, pětiosá s výměnou hlav, pětiosá s pevným stolem pro dokončovací obrábění), horizontální obráběcí centra (čtyřiosá s otočným stolem, sedmiosá s otočně-posuvným stolem, sedmiosá s otočně-posuvným stolem a výměnou hlav)		x	x		x					x	
Firma	T-support, s.r.o.	A	ČR	Hl. m. Praha	Dusíkova 1597/19, 162 00 Praha 6	MSP	CAD/CAM software, chlazení pro obráběcí stroje, filtrace pro obráběcí stroje, software, monitoring, podavače, dopravníky, školení, rekvalifikační kurzy, CAD/CAM software, Climatron CAD/CAM pro návrh, konstrukci a výrobu elektrod, jakož i forem postupových a transferových lisovacích nástrojů, vysokotlaké a velkoobjemové chlazení a filtrace pro obráběcí stroje, CIMCO editor, DNS MDC, MDM řešení pro NC programátory, CNC zasíťování strojů, monitoring výroby		x	x	x						x	x
VO	TU Chemnitz	N	Německo	Sasko	Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany		materiály, process chains, lehké konstrukce a systémy, virtuální design, textil, obnovitelné zdroje, polymerová elektronika	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
VO	TU München	N	Německo	Bavorsko	Arcisstraße 21, D-80333 München, Germany		materiály, strojírenství, energetika a procesní inženýrství, simulace a výpočty, mobility systems	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
VO	TU Wien	N	Rakousko	Spolková země Vídeň	Karlsplatz 13, 1040 Vienna		Materiály	x	x	x					x		x	x

VO	TUL, Fakulta strojní	Z	ČR	Liberecký kraj	Studentská 2, 461 17, Liberec 1	Vzdělávání, VaV, vzdělávání ve strojírenských oborech												X
VO	TUL, Fakulta strojní, Katedra energetických zařízení	Z	ČR	Liberecký kraj	Studentská 1402/2 461 17 Liberec	Vzdělávání, VaV, tepelná energetika, vnitřní aerodynamika, vnější aerodynamika, teorie turbulentních pochodů při proudění, žárová anemometrie, laserová anemometrie, metoda Monte-Carlo pro modelování interakčních procesů nízkooenergetického záření gama s polykomponentním vzorkem, životní prostředí	X	X					X	X	X			X
VO	TUL, Fakulta strojní, Katedra materiálu	Z	ČR	Liberecký kraj	Studentská 1402/2 461 17 Liberec	Vzdělávání, VaV, materiálové inženýrství, tepelné zpracování, povrchy, zkoušení materiálů, povrchové úpravy, tenké vrstvy, intermetalika, kompozity, technická keramika		X							X			X
VO	TUL, Fakulta strojní, Katedra mechaniky, pružnosti a pevnosti	Z	ČR	Liberecký kraj	Studentská 1402/2 461 17 Liberec	Vzdělávání, VaV, vibroizolace mechanických systémů, mechanické vlastnosti anizotropních nelineárních materiálů, biomechanika		X							X			X
VO	TUL, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže	Z	ČR	Liberecký kraj	Studentská 1402/2 461 17 Liberec	Vzdělávání, VaV, obrábění klasických kovových materiálů, obrábění nekovových a kompozitních materiálů, metrologie, výrobní procesy, optimalizace, modernizace, montážní postupy, hodnocení technologických charakteristik a spolehlivosti řezných nástrojů, řezné podmínky a jejich optimalizace z hlediska řezného nástroje a obráběného materiálu, technologické charakteristiky procesních kapalin, utváření třísky při obrábění nástroji s definovanou geometrií bříty		X	X		X			X			X	
VO	TUL, Fakulta strojní, Katedra sklářských strojů a robotiky	Z	ČR	Liberecký kraj	Studentská 1402/2 461 17 Liberec	Vzdělávání, VaV, robotická a automatická manipulace, servisní robotika, hodnocení experimentálních a průmyslových dat, machine vision, optimalizace tvarovacího procesu skloviny, studium reologických vlastností skla a skloviny, studium gravitačního tvarování skla, aplikace ultrazvuku ve sklářské výrobě		X	X		X	X			X			X
VO	TUL, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie	Z	ČR	Liberecký kraj	Studentská 1402/2 461 17 Liberec	Vzdělávání, VaV: slévání, svařování, tváření kovů, zpracování plastů, zpracování kompozitů		X	X						X			X
VO	TUL, Fakulta strojní, Katedra textilních a jednoúčelových strojů	Z	ČR	Liberecký kraj	Studentská 1402/2 461 17 Liberec	Vzdělávání, VaV, výzkum a vývoj nových uzlů textilních strojů s uplatněním řízených pohonů a mechatronických prvků, materiálová, tvarová a strukturální optimalizace vybraných subsystémů textilních strojů z hlediska jejich vlivu na výrobní procesy, výzkum, vývoj a optimalizace nových struktur strojů a zařízení pro výrobu nanovláken, výzkum a vývoj nových strojních zařízení a provozních linek pro výrobu lineárních, plošných a prostorových nanovlákených útvarů		X	X		X				X		X	
VO	TUL, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace	Z	ČR	Liberecký kraj	Studentská 1402/2 461 17 Liberec	Vzdělávání, VaV, 3D měření, 3D digitalizace, reverse engineering, aplikovaná kybernetika, počítačová simulace, CNC stroje, laserové technologie, rapid prototyping, hydraulické mechanismy, pneumatické mechanismy, pneumatické systémy, servopohony, počítačová grafika		X	X	X	X	X			X			X
VO	ÚFM AV ČR	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Žižkova 513/22, 616 00 Brno	chování, vlastnosti a struktura materiálů, výzkum kovových materiálů a kompozitů, optimalizace užitných vlastností materiálů, predikce jejich provozní životnosti teoretickými a výpočetními metodami podloženými experimenty		X	X						X			

Vědeckotechnický park	ÚJEP – Vědeckotechnický park	N	ČR	Ústecký kraj	Pasteurova 1, 400 96 Ústí nad Labem	zakázkový výzkum, vlastní výzkum, VaV, pronájem přístrojů a laboratoří		x								x	x
Firma	UniCut, s. r. o.	A	ČR	Plzeňský kraj	Holoubkov 113, 338 01 Holoubkov	MSP monolitní karbidové nástroje, frézy drážkovací frézy, osazovací frézy, rychluposuvové frézy, torické frézy, vpichovací frézy na jádro, dokončovací frézy, kulové kopírovací frézy, NC navrtávky, ohraňovače, T-frézy, tvarové frézy, kotoučové stopkové frézy, kotoučové frézy s pájenou stopkou		x	x							x	
Vědeckotechnický park	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, univerzitní institut	N	ČR	Zlínský kraj	Nad Ovčírnou 3685, 76001 Zlín	podnikatelská podpora, VaV ve firmách s účinnou spoluprací s VO		x								x	x
VO	Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.	N	ČR	Hl. m. Praha	Prosecká 809/76, 190 00 Praha9	mechanika tuhé fáze, dynamika konstrukcí, nelineární mechanika, mechanika materiálů, mechanika porušování, mikromechanika, biomechanika, mechanika zemin, analýza vlastností konstrukcí		x	x							x	
VO	Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i.	N	ČR	Hl. m. Praha	Dolejškova 1402/5, 182 00 Praha 8	termomechanika, mechatronika, stroje, pohony, dynamika tekutin, termodynamika, dynamika mechanických systémů, mechanika tuhých těles, interakce tekutin a tuhých těles, aerodynamika životního prostředí, biomechanika, mechatronika, elektrofyzika, elektrické stroje, pohony a elektronika, diagnostika materiálů		x								x	
Firma	Vanad 2000, a. s.	A	ČR	Vysočina	Riegrova 824, 582 82 Golčův Jeníkov	MSP pálicí stroje, laserové stroje, plazmové a autogenní stroje, software a hardware, CAD/CAM pro pálicí plány, příslušenství, doplňkové technologie, spotřební díly, laserové stroje, plazmové a autogenní stroje, software a hardware B & R, CAD/CAM pro pálicí plány, plazmové zdroje, laserové zdroje, laserové hlavy, autogenní hořáky, materiálové stoly, odsávání, filtry, kompresory, 3D pálení pod úkošem, řezání do trubek a profilů, frézování, mikrouderové značení, pneumatické navrtávání, spotřební díly (pro řezání laserové, plazmové a autogenní)		x	x	x			x			x	
Vědeckotechnický park	Vědeckotechnický park Plzeň	N	ČR	Plzeňský kraj	Teslova 1202/3, 301 00 Plzeň	podnikatelská podpora, podpora VaV ve firmách s účinnou spoluprací s VO		x								x	x
Vědeckotechnický park	Vědeckotechnický park Univerzity Palackého	N	ČR	Olomoucký kraj	Křížkovského 8, 771 47 Olomouc	podnikatelská podpora, podpora VaV ve firmách s účinnou spoluprací s VO		x								x	x
VO	Vítkovice ÚAM, a. s.	A	ČR	Moravskoslezský kraj	Vítkovice 3020, 703 00 Ostrava	MSP aplikovaný výzkum, experimentální výzkum, technické výpočty, analýzy, spolehlivost konstrukcí, životnost konstrukcí technické výpočty a analýzy ve strojírenství, numerické a experimentální analýzy energetických zařízení a konstrukcí, řešení technických problémů plynoucích z provozu, spolehlivost a životnost konstrukcí		x	x	x						x	
Firma	VOPSS	A	ČR	Jihočeský kraj	Řepeč 92, 391 61 Opařany	MSP broušení, repasování strojních součástí obráběcích strojů, včetně, přesné broušení opravy vřeten, výroba vřeten, diagnostika, přesné broušení, generální opravy, servis strojů		x	x	x						x	

Vědeckotechnická	VŠB-TUO Centrum podpory inovací	N	ČR	Moravskoslezský kraj	Studentská 6202/17, 708 00 Ostrava-Poruba	podnikatelská podpora projektová podpora, transfer technologií, podnikatelský inkubátor, podpora podnikání		x									x	x	
VO	VŠTE ČB	N	ČR	Jihočeský kraj	Okružní 517/10, 370 01 České Budějovice	mechanika, mechatronika, robotika, materiály, měření, obrábění, materiály, termomechanika, hydromechanika, energetika, nanotechnologie, nanomateriály		x					x				x	x	
VO	VŠTE ČB, Ústav technicko-technologický, Katedra strojírenství	N	ČR	Jihočeský kraj	Okružní 517/10, 370 01 České Budějovice	Vzdělávání, VaV, strojírenské technologie a materiály, technická mechanika, mechanika a dynamika konstrukcí, mechatronika, robotika, pružnost a pevnost, části strojů,rozvoj nových kontrolních metod pro nedestruktivní identifikaci mechanického stavu jádra materiálu z hlediska bezpečnosti konstrukcí, strojů a staveb, nový způsob identifikace fyzikálně- mechanických vlastností a napjatostně-deformačních stavů		x									x	x	
Firma	VTL Blansko, a. s.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Poříčí 2469/21, 678 01 Blansko	MSP těžké svislé soustruhy, karusely, otočné stoly, rozvaděčové skříně		x										x	
Vědeckotechnická	VTP Brno	N	ČR	Jihomoravský kraj	Purkyňova 648/125, 612 00 Brno-Medlánky	podnikatelská podpora podpora VaV ve firmách s účinnou spoluprací s VO		x									x	x	
Vědeckotechnická	VTP Rostoky	N	ČR	Středočeský kraj	Bucharova 2641/14, 158 00 Praha 5	vozidlové převodovky, spalovací motory, motory s alternativními pohony													
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství	N	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2896/2, 616 69 Brno	Vzdělávání, VaV: vzdělávání ve strojírenských oborech												x	
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Odbor energetického inženýrství	N	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, zplyňování biomasy a odpadů, spalování biomasy a odpadů, tepelné výměníky a kondenzátory, numerické modelování a simulace, výzkum vlastností biopaliv, výzkum a vývoj Stirlingova a parního motoru, terciární okruhy jaderných elektráren, výzkum absorpčních oběhů		x	x								x	x	
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Odbor fluidního inženýrství Viktora Kaplana	N	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	vzdělávání, VaV		x	x									x	x
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Odbor termomechaniky a techniky prostředí	N	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, větrací systémy, spotřeba energie pro vytápění, spotřeba energie pro klimatizaci, tepelná pohoda, lidský komfort		x	x									x	x

VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, kompozitní materiály, aerodynamické optimalizační metody, aktivní řízení proudů, kvalifikační testy kosmických zařízení pro aplikaci při průzkumu planety, letová měření s využitím bezpilotních prostředků pro fotogrammetrii, balistické záchranné systémy pro bezpilotní prostředky, balistické záchranné systémy pro letouny s lidskou posádkou, měření dynamických i statických jevů kompozitových konstrukcí										
Regionální	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, NETME Centre	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	VaV, letecký průmysl, automobilový průmysl, energetika, strojírenské technologie		x	x	x	x				x	x
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	vzdělávání, VaV		x	x	x	x	x			x	x
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav fyzikálního inženýrství, Odbor fyziky povrchů a nanostruktur	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, laserová spektroskopie, koherenční optika, inovativní mikroskopie, materiálová analýza (chemické složení) pomocí spektrální charakteristiky, záření plazmatu vybuzeného laserem, metody LIBS, LIFS, Double pulse LIBS, Remote LIBS, optické metody, hodnocení kvality průmyslových produktů, měření drsnosti a topografie povrchů, optická analýza tenkých vrstev, digitální holografie, výzkum a vývoj pokročilých a nových technik světelné mikroskopie (holografická mikroskopie – CCHM, kvantitativní fázové zobrazování – QPI, 3D techniky, multifotonová mikroskopie) a jejich aplikace (sledování živých buněk in vitro, in vivo zobrazování, rychlá 3D mikroskopie)		x						x	x	
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav fyzikálního inženýrství, Odbor mikromechaniky materiálů a technické akustiky	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, mikroskopie, litografie, povrchová analýza, depozice, nanořád, nástroje		x							x	x
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav fyzikálního inženýrství, Odbor optiky a přesné mechaniky	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, mikromechanika materiálů, únava materiálů, jejich lom, technická akustika, mikromechanika materiálů – atomistické, mezoskopické a makroskopické procesy deformace a lomu, únava materiálů – jednoosé i víceosé mechanické namáhání, vliv teploty, únava speciálních materiálů, jejich lom – hodnocení lomových ploch, kvantitativní fraktografie, technická akustika – měření elastických a anelastických vlastností materiálů, digitální modelování zvuku, měření hluku v životním prostředí		x			x				x	x
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, odbor tribologie, odbor technické diagnostiky, odbor reverzního inženýrství a aditivních technologií, odbor průmyslového designu biotribologie, kolejová doprava, pokročilé problémy mazání, nedestruktivní testování, vibroakustika, 3D optická digitalizace a kontrola kvality, 3D tisk kovů, robotická výroba a generativní design, produktový design		x							x	x

VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor keramiky a polymerů	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, fyzikální a materiálová chemie keramických materiálů a kompozitů, technologie pokročilých keramických materiálů (injekční vstřikování, lisování –CIP, HIP, vytlačování, elektroforetická depozice, dip-coating, sprejování, sol-gel metody), fyzikální a chemické interakce mezi kovy a keramikou, fyzikální, chemické a biologické vlastnosti pokročilých keramických materiálů, biokeramika a biokeramické kompozity, nanokeramika, elektrokeramika		X								X	X	
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiál	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, Va, vysokopevné slitiny hliníku, superslitiny na bázi niklu, slitiny hořčík–lithium, kompozitní materiály, technická keramika, expertní databázový systém mechanicko- metalurgických charakteristik tvárné litiny, feritická tvárná litina pro záporné teploty se zvýšenou mezí kluzu, izotermicky zušlechťená tvárná litina o vysoké pevnosti, lité nástrojové oceli, lité ledeburitické vysokochromové oceli odolné proti opotřebení		X								X	X	
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor mechaniky a designu materiálů	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV		X									X	X
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor strukturní a fázové analýzy	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, progresivní funkčně- gradientní a nanostrukturní materiály, vztah mezi výchozí strukturou a mechanickými vlastnostmi kovových materiálů při vysokých rychlostech deformace, perspektivní biokompatibilní materiály, povrchové inženýrství, strukturní stabilita svarových spojů chromových žárovevných ocelí a jejich degradace během dlouhodobého provozu, teoretické modelování a experimentální studium strukturní stability moderních žárovevných ocelí,informační systém pro výzkum a vývoj materiálů a technologií ČR		X								X	X	
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Odbor inženýrské mechaniky	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, inženýrská mechanika, tvárné porušování, zbytková napjatost, dynamika, experimentální činnost, výpočty, konzultace, optimalizace strojních zařízení, spolehlivost, predikce tvárního lomu polykrystalických kovových materiálů, modely tvárního porušování, kalibrační vzorky, kalibrace modelů pro predikci trhlin, měření zbytkové napjatosti odvrťovací metodou, analýza vibrací, predikce rezonančních stavů, optimalizace konstrukcí pro snížení vibrací, dynamika rotorů (elektromotory, parní turbíny),dynamika lopatek a olopatkovaných kol, výpočtová modální analýza, harmonická analýza, tranzientní analýza, odezva při buzení náhodnými procesy		X								X	X	

VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Odbor lomové mechaniky	Z	CR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, analyticko-numerické simulace porušování materiálů, lomová mechanika obecných koncentrátorů napětí, predikce šíření trhliny v oblasti ateriálových rozhraní, lomová mechanika anizotropních a nehomogenních materiálů, modelování vícevrstevných struktur a analýza jejich odezvy na různé provozní podmínky, modelování odezvy keramických pěn na mechanické zátížení, optimalizace designu a struktury kompozitních materiálů s cílem zvýšit jejich odolnost vůči lomu, výpočtová podpora pro výrobu materiálů bez počátečních trhlin.		X								X	X
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Odbor mechatroniky	Z	CR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, systémy pro získávání energie, výpočtové a experimentální analýzy mechatronických soustav, mobilní robotika, alternativní zdroje energie pro bezdrátovou senzorku a IoT aplikace, vyrábění elektrické energie z vibrací, rázů a náhodných pohybů výpočtové analýzy – tepelné analýzy, hydraulické (ventilační) analýzy, komplexní analýzy chlazení, strukturální (pevnostní) analýzy, elektromagnetické analýzy, experimentální analýzy – ventilační měření, tepelná měření, energetické bilance, vývoj autonomních mobilních robotů pro vnitřní i venkovní prostředí		X	X	X	X					X	X
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství	Z	CR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, energetické využití odpadů a biomasy, úspory energie pro průmyslovou i komunální sféru, čištění spalin a jiných odpadních plynů, systémy pro přenos tepla, konstrukce zařízení a výpočtové modelování, vývoj nových zařízení pro procesní průmysl, energetiku a komunální sféru		X	X	X	X	X			X	X	X
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor slévárenství	Z	CR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, tavení, odlévání, metalurgie, odlitky ze slitin železa, odlitky ze slutin neželezných kovů, formovací směsi, měření teplotních polí v odlitku a ve formě, školení, modely tavení a odlévání normalizovaných i nestandardních slitin železa a neželezných kovů, vakuová metalurgie a tavení v ochraně atmosféry, poradenství v oblasti optimalizace technologií odlitků ze slitin železa a neželezných kovů, poradenství v oblasti metalurgie odlitků ze slitin železa a neželezných kovů a v oblasti vakuové metalurgie, analýza příčin vad v odlitcích a navržení nápravných opatření			X	X						X	X
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění	Z	CR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV, sendvičové prostorové panely, solární absorber, přetvárný odpor trubek, svařitelnost svarových spojů rotorů, životnost svarových spojů rotorů, povlaky, žárový nástřik, povlaky odolné proti oxidaci a korozi za vysokých teplot, vlastnosti materiálů a svarových spojů vystavených kryogenním teplotám, vývoj technologie výroby sendvičových prostorových panelů s využitím laserového svařování a hydroformování		X	X	X		X	X			X	X
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav	Z	CR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	vzdělávání, VaV			X	X						X	X

VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	Vzdělávání, VaV: objemové tváření, vlastnosti materiálů, tváření, prognostika mezních stavů, deformace, kompaktní keramika, plazmová keramická vrstva, tvářecí stroje, mechanické vlastnosti materiálů, simulace, modelování, plechy, predikce, simulace a experimentální ověřování objemového tváření za tepla i za studena			X	X							X	X	
VO	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Z	ČR	Jihomoravský kraj	Technická 2, 61669 Brno	vzdělávání, VaV			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
VO	VÚTS, a. s.	A	ČR	Liberecký kraj	Svárovská 619, Liberec XI –Růžodol I, 460 01, Liberec	Velký podnik VaV: obráběcí, textilní, polygrafická, potravinářská, balicí a zdravotnická technika automatizace, vývoj, konstrukce a stavba jednoúčelových strojů, manipulátorů, dopravníků a testovacích zařízení			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Vědeckotechnická	Výzkumný a zkušební letecký ústav, a. s.	Z	ČR	Hl. m. Praha	Beranových 130, 199 05 Praha-Letňany	letectví, kosmonautika národní centrum pro VaV a zkušebnictví				X							X		
VO	Výzkumný a zkušební ústav Plzeň	Z	ČR	Plzeňský kraj	Tylova 1581/46, 301 00 Plzeň	výzkum, vývoj, inovace Škoda, sektor energetiky, výroba dopravních prostředků, poskytování unikátních průmyslových služeb, aplikovaná mechanika, vibrodiagnostika a hluk, metalografie a chemie, žárové nástřiky, tepelné zpracování, kalibrační laboratoře, dynamická zkušebna, strojírenská výroba, mechanická laboratoř				X							X	X	
Firma	WALTER, s r. o.	A	ČR	Jihomoravský kraj	Blanenská 1289, 664 34 Kuřim	Velký podnik obrábění nástrojů, brusky, erodovací stroje				X							X		
Firma	Wikov Gear, s. r. o.	A	ČR	Hl. m. Praha	Hvězdova 1716, 140 00 Praha4 – Nusle	Velký podnik Mechanické převodovky, ozubená kola, precizní dílce, katalogové převodovky, převodovky na míru, servis převodovek, ozubená kola s přímým/šikmým ozubením, kuželová kola se spirálním ozubením, zubové spojky, přesné zakázkové obrábění, výroba strojních dílů			X	X							X		
Firma	Yamazaki Mazak Central Europe, s.r.o.	A	ČR	Středočeský kraj	Zděbradská 96, 251 01 Říčany – Jazlovice	MSP CNC soustružnická centra, obráběcí centra, stroje pro zpracovávání laserem, automatizace, CNC software pětiosé provedení strojů, provádění několika operací najednou, CNC soustružnická centra, vertikální obráběcí centra, horizontální obráběcí centra, stroje pro zpracování laserem, automatizace, CNC software			X	X	X	X	X	X	X		X		
Koncový vývoj	ZBROJOVKA BRNO	A	ČR	Jihomoravský kraj	Lazaretní 1/7, 615 00 Brno-Zábřovice	MSP střelné zbraně				X	X						X		
VO	ZČU, Fakulta strojní	Z	ČR	Plzeňský kraj	Univerzitní 2732/8, 301 00 Plzeň	VaV vzdělávání ve strojírenských oborech												X	

Regionální technologický institut	ZČU, Fakulta strojní, Centrum energetického výzkumu	Z	ČR	Plzeňský kraj	Univerzitní 8 306 14 Plzeň	VaV: technologické a experimentální okruhy, jaderný palivový cyklus, materiálový výzkum metody experimentálního výzkumu, vibrace, akustika, stavba energetických zařízení, nekovová plniva, rozložitelné biokompozitní materiály, nekovové materiály pro kvalifikované aplikace	x	x							x	x	x
VO	ZČU, Fakulta strojní, Katedra energetických strojů a zařízení	Z	ČR	Plzeňský kraj	Univerzitní 22, 306 14 Plzeň	Vzdělávání, VaV, stavba energetických strojů a zařízení, stavba jaderněenergetických zařízení	x	x								x	x
VO	ZČU, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů	Z	ČR	Plzeňský kraj	Univerzitní 22, 306 14 Plzeň	Vzdělávání, VaV, oddělení částí strojů a zařízení, oddělení dopravní a manipulační techniky, oddělení výrobních strojů a zařízení	x	x	x		x					x	x
VO	ZČU, Fakulta strojní, Katedra materiálů a strojírenské metalurgie	Z	ČR	Plzeňský kraj	Univerzitní 22, 301 00 Plzeň	Vzdělávání, VaV, výroba strojírenských materiálů, použití strojírenských materiálů, zkoušení mechanických vlastností, analýza struktur, elektronová mikroskopie		x								x	x
VO	ZČU, Fakulta strojní, Katedra průmyslové inženýrství a managementu	Z	ČR	Plzeňský kraj	Univerzitní 22, 301 00 Plzeň	Vzdělávání, VaV, digitalizace celoživotního cyklu výroby, koncepce výroby, konstrukční příprava výroby, technologická příprava výroby, technologické projektování výroby a montáže, racionalizace, logistika, průmyslový management, projektové řízení, údržba, revitalizace, recyklace, likvidace		x			x					x	x
VO	ZČU, Fakulta strojní, Katedra technologie obrábění	Z	ČR	Plzeňský kraj	Univerzitní 22, 306 14 Plzeň	Vzdělávání, VaV, optimalizace pracovních podmínek řezných nástrojů s cílem zvýšit produktivitu práce při zachování nebo zvýšení kvalitativních parametrů výrobků, vývoj a rozšíření moderních obráběcích technologií, jako je rychlostní, tvrdé a silové obrábění, do praxe, vývoj nových koncepcí řezných nástrojů a přípravků pro obrábění těžkoobrobitelných ocelí, kompozitních materiálů a nanomateriálů, vývoj simulačních metod pro realizaci nových montážních schémat s uplatněním nových montážních prvků, vývoj nových strategií úběru materiálu při obrábění tvarových ploch na NC strojích s ohledem na maximálně dosažitelnou produktivitu úběru při zachování přijatelné ochrany nástroje před poškozením strojů a procesů		x	x							x	x
Regionální technologický institut	ZČU, Fakulta strojní, Regionální technologický institut	Z	ČR	Plzeňský kraj	Univerzitní 8 306 14 Plzeň	VaV moderních konstrukcí vozidel včetně jejich pohonných systémů, VaV výrobních strojů včetně jejich modernizace, VaV tvářecích technologií, VaV obráběcích technologií, virtuální prototyping moderních konstrukcí vozidel a jejich komponent, testování vozidel a jejich částí, výzkum vlastností a chování mechanických částí pohonných systémů, virtuální prototyping výrobních strojů, výzkum aplikací nekonvenčních materiálů a technologií do konstrukcí výrobních strojů, analýza chování materiálu při tvářecích technologických procesech, vytváření nových technologických řetězců, optimalizace technologických parametrů výrobních procesů	x	x	x	x	x				x	x	x

66

Z provedeného rozboru lze identifikovat prioritní technologická témata VaVal, ve kterých jsou disponibilní největší a nejmenší kapacity na straně aktérů působících v oboru strojírenské výrobní techniky a v blízkých oborech. Jak prezentuje následující tabulka, je zřejmé že ve strategických a výzkumných oblastech „7. Využití principů cirkulární ekonomiky“, „6. Flexibilní automatizace“, „4. Digitalizace pro výrobu“, „1. Snižování spotřeby energie a uhlíkové stopy“ a „5. Chytré výrobní systémy“ je výrazně nižší počet organizací, které tato témata rozvíjejí a mohou být partnery k jejich dalšímu výzkumu a vývoji. V těchto strategických tématech je proto do budoucna potřeba primárně posilovat inovační kapacity pro obor strojírenské výrobní techniky.

Prioritní strategické téma VaVal	Procento organizací z uvedené množiny, které mohou v tématu spolupracovat
2. Zvyšování efektivity výroby	93 %
8. Zvyšování dosažitelné přesnosti, jakosti a výkonnosti výrobních procesů ve vazbě na náklady	92 %
3. Zkracování průběžné doby výroby	53 %
9. Vzdělávání a zvyšování profesních kompetencí	53 %
5. Chytré výrobní systémy	29 %
1. Snižování spotřeby energie a uhlíkové stopy	28 %
4. Digitalizace pro výrobu	24 %
6. Flexibilní automatizace	23 %
7. Využití principů cirkulární ekonomiky	13 %

5 Potenciál sdílené ekonomiky a uplatnění konceptu Průmysl 4.0 v oboru SVA

V této kapitole dokument identifikuje příležitosti a bariéry v oborovém výzkumu, vývoji a inovacích v oblasti implementaci principů sdílené ekonomiky v rámci uplatňování konceptu Průmysl 4.0. Cílem je hledat příležitost pro další rozvoj inovací a konkurenceschopnosti oboru s využitím potenciálu nových konceptů sdílené ekonomiky a konceptu Průmysl 4.0.

5.1 Potenciál sdílené ekonomiky v oboru SVT

Důležitým principem sdílené ekonomiky je, že mít přístup k věci je lepší než ji vlastnit, pokud je to levnější. Množství věcí, které firma nebo osoba vlastní, využívá pouze občas. Nejznámějšími příklady sdílení jsou například sdílená kola ve městech, rostoucí nabídky sdílených aut, sdílené bydlení, např. služba Airbnb, streamování filmů např. Netflix. Sdílená ekonomika by měla být podmnožinou spotřebitelství.

Následují odpovědi respondentů na tři otázky. Šetření se zúčastnilo 10 respondentů, z toho 4 zástupci MSP a 6 zástupců velkých podniků. V níže uvedených tabulkách jsou v prvním sloupci vždy uvedeny počty odpovědí, které jsou významově identické. Odpovědi jsou řazeny od nevýznamnějších (nejčteněji zastoupených) po méně čteně zastoupené.

Smysl a bariéry sdílení výrobní techniky

Dokážete si představit, že by mohl být model sdílené ekonomiky s výhodou uplatnitelný u produktů strojírenské výrobní techniky (např. sdílené obráběcí a tvářecí stroje, sdílení na straně uživatelů strojů) a souvisejících technologií? Mohlo by mít sdílení výrobní techniky mezi různými odvětvovými a sektory průmyslu? Co naopak brání sdílení produktů strojírenské výrobní techniky a v čem je problematické a rizikové?

- 5 náklady na opravu stroje, provozní náklady, zodpovědnost za opravu
- 5 potřeba kvalifikované obsluhy (programy, postprocesory)
- 3 možné sdílení malých strojů (problém s převozem)
- 3 model sdíleného zařízení s obsluhou
- 2 pronajímání/sdílení volné kapacity stroje
- 1 hlídání znalostí před konkurencí
- 1 není prostor pro změny kvůli nestandardním situacím
- 1 model sdílené pozice
- 1 potřeba online připojení, rozšířené reality, dálkové diagnostiky
- 1 nutné roztrždit uživatele podle vyráběných produktů – stanovit vhodný stroj

Mohl by fungovat klaster pro sdílení infrastruktury s konkurencí?

Dokážete si představit, že by mohl být model sdílené ekonomiky s výhodou uplatnitelný pro ty podniky a firmy, které vyrábí a dodávají strojírenskou výrobní techniku? Mohl by fungovat klaster podniků, které jsou si třeba i konkurenty, ale které by sdílely některou infrastrukturu? Např. sdílené nástrojařské dílny, sdílené svařovny, sdílené nástrojové hospodářství, sdílený CAx software, sdílený obchod, sdílený servis, sdílený nákup komponent a subdodávek, sdílený výzkum v oboru. Co naopak sdílení mezi podniky strojírenské výrobní techniky přirozeně brání a v čem je problematické a rizikové?

- 2 poškození stroje, opotřebení nástrojů
- 2 je jednodušší plánovat kapacity pracovníků
- 2 sdílet software a technologie (ne stroje)
- 2 společné nákupy
- 1 ne
- 1 kultura firem – nechtějí sdílet
- 1 využití softwaru ve stejnou chvíli – kdo může?
- 1 Problém, jak sdílené nákupy vyřešit účetně
- 1 vytvořit informační platformu pro sdílení služeb

- 1 *problematický vícestranný smluvní vztah*
- 1 *geografická vzdálenost firem, čas, náklady na dopravu*
- 1 *sdílení výrobních kapacit (pracoviště)*
- 1 *sdílení skladu*

Téma VaVal, aktivity pro sdílenou ekonomiku

Jaká vidíte témata výzkumu, vývoje a inovací, která by mohla sdílenou ekonomiku v obou uvedených oblastech podpořit? Nebo jaké vidíte aktivity, které by bylo třeba provést, aby mohla být takováto sdílená ekonomika přijatelná pro výrobce i uživatele strojírenské výrobní techniky?

- 2 *jestli to funguje (studie proveditelnosti)*
- 2 *studie ekonomických přínosů*
- 1 *standardizovat sdílené činnosti, definovat procesy (zařízení, know-how, realizace sdílení)*
- 1 *kvalifikovaná a zkušená obsluha*
- 1 *potřeba vytvořit právní prostředí pro sdílení, získat důvěru*
- 1 *propojení subdodávek, náhradních dílů a komponent*
- 1 *zajistit dostupnost pro malé firmy (vhodné pro sdílenou ekonomiku)*
- 1 *spolupráce firem s VO v IT oblasti*

5.2 Uplatnění konceptu Průmysl 4.0 v oboru SVT

Z podnikatelského hlediska je motivací implementace konceptu Průmysl 4.0 růst produktivity práce, který se odhaduje až ve výši 30 %. Koncept Průmysl 4.0 zahrnuje především tato témata: „chytré továrny“ (ty budou využívat kyberneticko-fyzikální systémy), strojové učení, umělou inteligenci, autokonfiguraci a autodiagnostiku, cloudová úložiště, 3D tisk, datová centra, „chytré sklady“, zvýšenou flexibilitu firem, produktivitu sériové i kusové výroby, integraci systémů, snižování negativních lidských vlivů, internet věcí, internet služeb a digitální ekonomiku. Podrobněji například v:

<https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>

Následují odpovědi respondentů na tři otázky. Šetření se zúčastnilo 10 respondentů, z toho 4 zástupci MSP a 6 zástupců velkých podniků. V níže uvedených tabulkách jsou v prvním sloupci vždy uvedeny počty odpovědí, které jsou významově identické. Odpovědi jsou řazeny od nevýznamnějších (nejčteněji zastoupených) po méně čteně zastoupené.

Bariéry

Jaké vidíte bariéry v oboru strojírenské výrobní techniky, tedy u firem produkujících nebo implementujících výrobní stroje a technologie pro uplatňování konceptu Průmysl 4.0?

- 4 *vzdělání lidských kapacit*
- 3 *chybí popisy procesů*
- 2 *konzervativní management*
- 2 *zastaralý software, zastaralé hardwarové vybavení*
- 2 *vyšší investice do obnovy*
- 2 *data – nesprávnost, neschopnost reagovat*
- 1 *nejsou*
- 1 *nedostatečné výrobní kapacity*

Inovační příležitosti v krátkodobém horizontu

Jaké vidíte naopak inovační příležitosti pro uplatňování konceptu Průmysl 4.0 v příštích několika letech? Čemu by se firmy v oboru strojírenské výrobní techniky mohly a měly věnovat okamžitě? Která témata by mělo smysl nyní akcelarovat výzkumem, vývojem a inovacemi v tomto směru?

- 5 *zpracování dat (i big data) – software, jednotný výstup*
- 4 *automatizace, automatizace technické přípravy výroby*
- 4 *prediktivní údržba*
- 4 *monitoring strojů, komponent a výrobního procesu*
- 2 *digitalizace, digitalizace TPV dokumentů*
- 2 *predikce rizik*
- 2 *zajištění efektivity*

- 2 *implementace IT nástrojů, konektivita (strojů přes aktuálně používaná rozhraní)*
- 2 *vibrodiagnostika, diagnostika*
- 1 *senzorika*
- 1 *eliminace chyb*
- 1 *sledovatelnost a trasovatelnost výrobku*
- 1 *statistika využití základních simulací v CAM*
- 1 *VaVal – sjednotit koncepce pro jednotné řešení pro výrobce OS*
- 1 *pokročilé řízení obráběcích operací*
- 1 *výroba pro paritu s ostatními na trhu*
- 1 *vzdálený servis*
- 1 *marketing, propagace*
- 1 *kommunikace OPC UA*
- 1 *UMATI*
- 1 *subdodávky (závislost firem)*

Inovační příležitosti v dlouhodobém horizontu

Jaké vidíte naopak inovační příležitosti pro uplatňování konceptu Průmysl 4.0 v dlouhodobém horizontu do roku 2030? Čemu by se firmy v oboru strojírenské výrobní techniky mohly a měly věnovat z dlouhodobého pohledu? Která témata by mělo smysl začít řešit na úrovni výzkumu, vývoje a inovací v tomto směru z dlouhodobého hlediska?

- 3 *digitalizace (digi twin strojů a procesů, virtuální zprovoznění, data – přenos, využití, vyhodnocení, zpracování, senzorika, sběr)*
- 3 *optimalizace procesů (implementovat a adaptovat koncept Průmysl 4.0 na současný výrobní proces a nástroje, spolehlivost a produktivita)*
- 2 *systémy, software v ČR, systém pro aditivní výrobu*
- 2 *automatizace (přípravných prací, zpracování dílů)*
- 2 *rozšířit funkcionalitu strojů*
- 1 *vytvořit jednotnou klasifikaci konceptu Průmysl 4.0 (rozdělení do skupin podle potřeb zákazníků)*
- 1 *zjednodušit používání strojů*
- 1 *analýza trhu*
- 1 *UMATI*
- 1 *zvýšit flexibilitu výrobků (upuštění od sériovosti)*

Závěr

Dokument Cestovní mapa oboru SVT byl zpracován v rámci řešení Projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/17_105/0018877. Cílem tohoto dokumentu je zvýšit připravenost českých podniků v oboru strojírenské výrobní techniky (malých a středních i velkých) na nástup pokročilých technologií, které vyžadují kombinaci různých kompetencí a inovativních řešení a které mohou přispět k rozvoji nových meziodvětvových a mezisektorových hodnotových řetězců.

V tomto dokumentu představujeme určení prioritních témat VaVal ve vazbě na Národní RIS3 strategii nejen s ohledem na její strategická témata, ale i ve vazbě na priority výzkumných témat v KETs. Dokument zahrnuje popis nejvýznamnějších hybných sil, které ovlivňují a do roku 2030 budou obor SVT ovlivňovat. Uvedená prioritní témata VaVal, podrobená připomínkám expertů z oboru, a uvedené hybné síly jsou východiskem pro představená strategická témata oboru strojírenská výrobní technika, která určují prioritní oborová technologická témata VaVal pro období 2022–2028.

V rámci identifikace disponibilních organizací, které by mohly vytvářet nová partnerství pro spolupráci ve výzkumu, vývoji a inovacích, byl proveden screening komerčních i výzkumných organizací, které mohou být partnery pro výzkum, vývoj a inovace v oboru SVT. Následně bylo na základě veřejně dostupných zdrojů a informací provedeno u každé organizace posouzení, ke kterým prioritním oborovým technologickým tématům VaVal, resp. strategickým tématům oboru může organizace přispět nebo ve kterých může spolupracovat. U každé organizace jsou tato relevantní témata označena. S ohledem na možnou nepřesnost veřejných informací a na jejich interpretaci je možné, že potenciál některých organizací je větší, než je uvedeno, a že tedy mohou spolupracovat v širší oblasti strategických témat.

Z provedeného rozboru lze identifikovat prioritní technologická témata VaVal, ve kterých jsou disponibilní největší a nejmenší kapacity na straně aktérů působících v oboru strojírenské výrobní techniky a v blízkých oborech. Je zřejmé, že ve strategických a výzkumných oblastech „7. Využití principů cirkulární ekonomiky“, „6. Flexibilní automatizace“, „4. Digitalizace pro výrobu“, „1. Snižování spotřeby energie a uhlíkové stopy“ a „5. Chytré výrobní systémy“ je výrazně nižší počet organizací, které tato témata rozvíjejí a mohou být partnery k jejich dalšímu výzkumu a vývoji. V těchto strategických tématech je proto do budoucna třeba inovační kapacity pro obor strojírenské výrobní techniky primárně posilovat.

Dokument dále identifikuje příležitosti a bariéry v oborovém výzkumu, vývoji a inovacích, pokud jde o implementaci principů sdílené ekonomiky v rámci uplatňování konceptu Průmysl 4.0 (viz kapitola „4. Potenciál sdílené ekonomiky a uplatnění konceptu Průmysl 4.0 v oboru SVA“). Cílem je hledat příležitosti pro další rozvoj inovací a konkurenceschopnosti oboru a využít přitom potenciál nových konceptů sdílené ekonomiky a možnosti nabízené konceptem Průmysl 4.0.