



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ECODESIGN A JEHO VLIV NA KONSTRUKCI VÝROBNÍCH STROJŮ

ECODESIGN AND ITS INFLUENCE ON THE DESIGN OF PRODUCTION MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Richard Sovják

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Zahálka

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Ing. Richard Sovják**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Zahálka**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Ecodesign a jeho vliv na konstrukci výrobních strojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době se klade stále větší důraz na životní prostředí a jeho ochranu. Výrobci se při návrhu výrobních strojů vedle klasických hledisek jako funkčnost, ekonomičnost nebo bezpečnost stále více zaměřují na ekologičnost, tzv. eco-design spočívající jak ve využití recyklovatelných a recyklovaných materiálů, tak v co nejmenší energetické náročnosti a mnoha dalších hlediscích.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování literární rešerše nejnovějších trendů v oblasti eco-designu při návrhu výrobních strojů.

Seznam literatury:

ČURDA, Dušan. Ekologická bilance - hodnocení životního cyklu. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 1996, 60 s. ISBN 80-853-6895-1.

HORNE, Ralph, Tim GRANT a Karli VERGHESE. Life cycle assessment: principles, practice, and prospects. Collingwood, Vic.: CSIRO Pub, c2009, xi, 175 p. ISBN 06-430-9452-0.

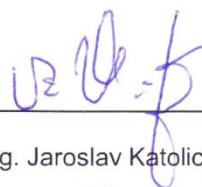
Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 23. 11. 2015



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan



ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na zpracování soupisu legislativních předpisů, nařízení a norem ovlivňující výrobní stroje. Obsahuje přehled nástrojů pro posuzování životního cyklu výrobků za pomoci metodik ecodesignu a shrnuje současný přístup výrobců výrobních strojů v oblasti zvyšování energetické účinnosti jejich výrobků. Zahrnuje nové konstrukční a koncepční řešení výrobních strojů včetně nových technologií obrábění. Představuje výhody virtuálního prototypování, aditivních technologií, optimalizace, verifikace dráhy nástroje a simulace rezných sil. Výsledkem je ucelený přehled faktorů ovlivňující ecodesign výrobních strojů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ecodesign, LCA, legislativní nařízení, optimalizace, nástroje ecodesignu, výrobní stroje

ABSTRACT

The bachelor thesis focuses on processing regulatory legislative standards applying to production machines. It provides an overview of tools for assessing the life cycle of products using the methods of eco-design and summarizes the current approach manufacturers of production machinery in improving the energy efficiency of their products. It includes new design and conceptual design of production machinery including new machining technologies. It presents the advantages of virtual prototyping, additive technologies, optimization, toolpath verification and simulation of cutting forces. The result is a comprehensive overview of the factors affecting the eco design of production machines.

KEYWORDS

Ecodesign, LCA, directive, optimisation, ecodesign tools, production machines



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SOVJÁK, R. *Ecodesign a jeho vliv na konstrukci výrobních strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 67 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Zahálka.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Zahálky a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. února 2016

.....

Jméno a přímení



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Jiřímu Zahálkovi za možnost zpracování tohoto tématu bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	10
1 Cíle práce	11
2 Definice výrobních strojů	12
2.1 Rozdělení výrobních strojů podle technologických procesů	12
2.2 Výrobní stroje a jejich význam v průmyslu	12
3 Ecodesign	14
3.1 Faktory ovlivňující ecodesign	14
3.2 Legislativní rámce a ecodesign	14
3.2.1 Kjótský protokol (I. období)	14
3.2.2 Kjótský protokol (II. období)	15
3.2.3 Pařížský protokol	15
3.2.4 Směrnice 2009/125/ES	15
3.2.5 Směrnice 2010/30/EU	16
3.2.6 Směrnice 2012/27/EU	17
3.2.7 Nařízení (ES) č. 640/2009 a č. 4/2014	17
3.2.8 Nařízení (ES) č. 641/2009 a č. 622/2012	17
3.2.9 Nařízení (ES) č. 327/2011	17
3.2.10 Nařízení (ES) č. 547/2012	18
3.2.11 Nařízení (ES) č. 1194/2012	18
3.2.12 Nařízení (ES) č. 548/2014	18
3.2.13 Nařízení (ES) č. 1980/2000	18
3.2.14 Směrnice 2002/95/ES	19
3.2.15 Směrnice 2002/96/ES	19
3.2.16 Směrnice 2006/121/ES a nařízení (ES) č. 1907/2006	19
3.3 Normy a ecodesign	20
3.3.1 JIS TS B 0024:2010	20
3.3.2 ISO 14955:2014	21
3.3.3 EN ISO 14044:2006	22
3.4 Metodiky ecodesignu	22
3.4.1 LCA	23
3.4.2 OPM	24
3.4.3 MET Matrix	24
3.4.4 Ecodesign Checklist	25
3.4.5 LiDS Wheel	25
3.4.6 10 Golden Rules	26



3.4.7	ABC	27
3.4.8	MECO Matrix	27
3.4.9	MIPS	28
3.4.10	KEPI	28
3.4.11	IO analýza	29
3.4.12	PILOT	30
3.4.13	TPI	30
3.4.14	ACLODS	31
3.4.15	Ostatní analýzy	32
4	Výrobní stroje a jejich nová řešení	33
4.1	VCSVTT (RCMT)	33
4.2	CECIMO	33
4.3	Konstrukční a koncepční řešení výrobních strojů	33
4.4	Optimalizace a technologická řešení	35
5	Průmyslový design a ergonomie výrobních strojů	40
5.1	Průmyslový design	40
5.2	Vliv ergonomie	40
6	Energetická náročnost provozu výrobních strojů	42
6.1	Kovosvit MAS	42
6.2	Tajmac-ZPS	43
6.3	TOS Varnsdorf	43
7	Virtuální prototypování a optimalizace výrobních strojů	45
7.1	virtuální modely strojů	46
7.1.1	DMG Virtual Machine	47
7.1.2	SIEMENS Virtual Machine	48
7.1.3	Process Simulate	48
7.2	Verifikace dráhy a optimalizace	49
7.2.1	VERICUT	49
7.3	Simulace řezných sil	50
	Závěr	52
	Seznam obrázků a grafů	53
	Seznam tabulek	54
	Použité informační zdroje	55
	Seznam použitých zkratk a symbolů	64
	Seznam příloh	67



ÚVOD

Ecodesign můžeme popsat jako soubor opatření, která snižují negativní dopady výrobků na životní prostředí v celém jejich životním cyklu. Neustálé negativní změny globálního klimatu vlivem nešetrného hospodaření s energií jsou impulsem pro dodržování a zavádění nových pravidel ecodesignu. Vymáhání a dodržování nadnárodních a národních směrnic je možné certifikací výrobků bohužel jen s regionální působností.

Výrobní stroje, jakož to složitá strojní zařízení, jsou soubory mnoha odlišných komponentů vyžadující komplexní posouzení problematiky ecodesignu. Požadavky na ecodesign se skládají z mnoha vzájemně provázaných legislativních rámců implementovaných do národních ekonomik. Pro stanovení negativní zátěže na životní prostředí existuje mnoho analytických nástrojů založených nejenom na metodice LCA, kterou lze využít jak v raném stádiu návrhu tak v uživatelské fázi a významně tím napomáhají k řešení environmentálních, provozních a ekonomických problémů.

Samotní výrobci se snaží za pomoci inovací nacházet nová technologická řešení, které jim dávají příležitost se prosadit v těžkém konkurenčním prostředí. V úzké spolupráci s výzkumnými asociacemi a vysokými školami jsou schopni zvyšovat energetickou efektivnost výrobních strojů a tak i nových způsobů obrábění. Využití nových technologií virtuální reality jsme schopni odhalit slabiny v rámci designu, ergonomie, bezpečnosti a provozních stavů simulacemi.

Je také důležité pamatovat na konečnou fázi životního cyklu výrobních strojů a to jejich recyklace s minimálním množstvím nebezpečných látek. Z tohoto důvodu lze volit lehce recyklovatelné materiály a tím snižovat těžbu nerostných surovin pro jejich výrobu.

Práce obsahuje nejvýznamnější právní předpisy Evropské unie, soubory norem a shrnutí nástrojů pro zhodnocení životního cyklu výrobků, které mají za cíl zvýšení efektivity výrobních strojů. Uvádí možná technická řešení výrobců strojů v rámci optimalizace jejich provozu a nová konstrukční řešení zvyšující efektivitu obrábění. Zdůrazňuje význam role virtuálního prototypování, simulace a optimalizace výrobních strojů.



1 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem bakalářské práce je rešeršní zpracování nejnovějších trendů v oblasti ecodesignu při navrhování výrobních strojů.

DÍLČÍ CÍLE PRÁCE

- definování charakteristiky výrobních strojů
- sestavení faktorů ovlivňujících ecodesign výrobních strojů
- definice legislativních rámců ecodesignu (nařízení, směrnice a normy)
- rozbor nástrojů ecodesignu ovlivňující výrobní stroje
- řešení problematiky konstrukční, technologické a technické
- určení provozních problémů a jejich následná zlepšení
- vztah průmyslového designu a ergonomie k výrobním strojům
- virtuální navrhování strojů
- simulační a optimalizační nástroje výrobních strojů

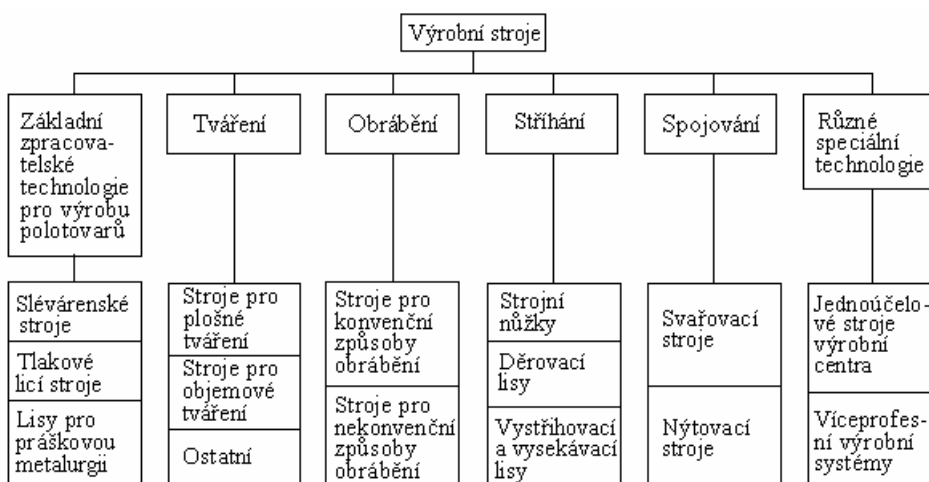


2 DEFINICE VÝROBNÍCH STROJŮ

Výrobní stroje jsou člověkem vytvořené dynamické soustavy, které slouží k realizaci úkonů technologických procesů, jenž vedou k trvalému přetvoření výchozího materiálu do požadovaného rozměru, tvaru a jakosti povrchu prostřednictvím fyzikálních, chemických nebo jiných pochodů za pomoci samostatného, nebo záložního zdroje elektrické energie, hydraulického nebo pneumatického napájení [1][3].

2.1 ROZDĚLENÍ VÝROBNÍCH STROJŮ PODLE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ

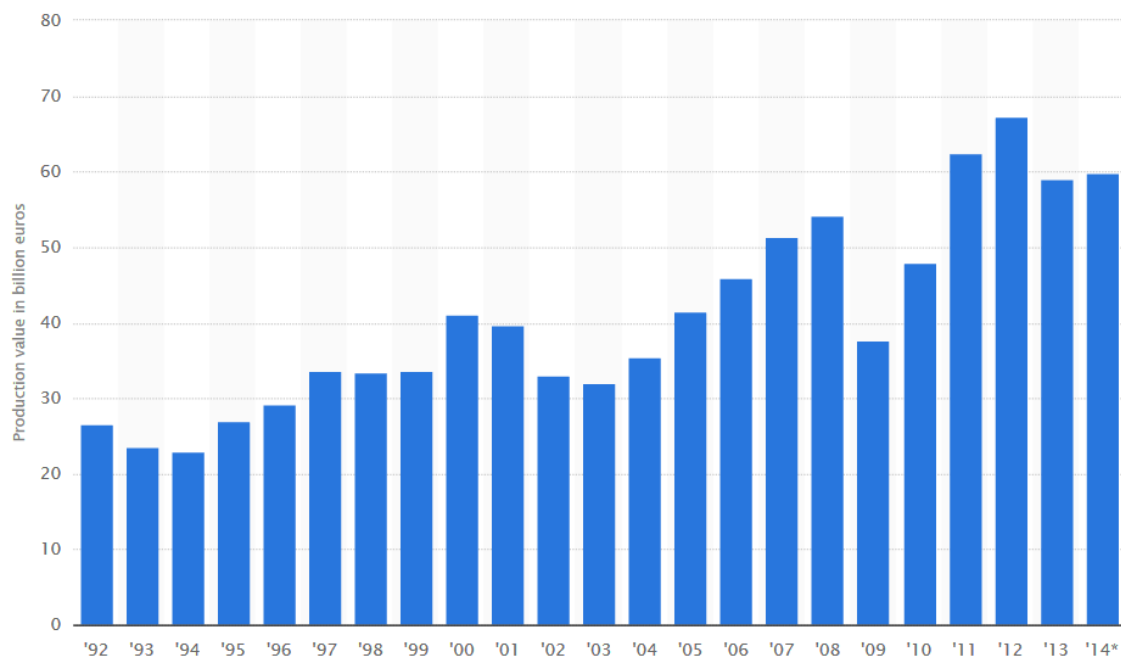
Rozmanitost využití výrobních strojů je dán z podstaty různorodosti jejich konstrukce a obráběcích procesů viz (Obr. 1). Je složité dokonce až nemožné určení univerzální metodiky pro stanovení znečištění CO₂ ekvivalentní a energetické náročnosti na jejich výrobu či samotnou spotřebu energie během životního cyklu výrobku. Každý výrobní proces je specifický a vyžaduje klasifikovaný výčet výrobních strojů, nebo dokonce individuální přístup k samotnému ecodesignu.



Obr. 1 Rozdělení výrobních strojů [3]

2.2 VÝROBNÍ STROJE A JEJICH VÝZNAM V PRŮMYSLU

Světová produkce výrobních strojů viz (Obr. 2) je strategickým výrobním segmentem pro ostatní průmyslová odvětví, která by bez nich nemohla existovat. Silný vliv tohoto odvětví průmyslu se také projevuje nepostradatelnou vazbou v zaměstnanosti regionů, ekonomického růstu jednotlivých států, jenž se poté odráží v lokální životní úrovni společnosti podle aplikovaných technologických inovací [4][5][6].



Obr. 2 Globální produkce výrobních strojů v letech 1992 - 2014 [6]



3 ECODESIGN

Ecodesign můžeme definovat "jako systematický proces navrhování a vývoje výrobku, který vedle klasických vlastností jako je funkčnost, ekonomičnost, bezpečnost, ergonomičnost, technická proveditelnost, estetičnost a pod., klade velký důraz na dosažení minimálního negativního dopadu výrobku na životní prostředí, a to z hlediska jeho celého životního cyklu" [2].

Zkráceně lze definovat ecodesign jako návrh a vývoj výrobků, které zahrnují ochranu životního prostředí.

3.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ECODESIGN

Různorodá konstrukční řešení a fáze užívání výrobních strojů viz (Obr. 1) předurčuje složitost stanovení zátěže na životního prostředí a následnou recyklaci konstrukčních částí či technologických celků. Legislativní rámce mají přímý dopad na životní cyklus výrobních strojů, které následně ovlivňují způsob jejich provozu, konstrukční a materiálové složení.

3.2 LEGISLATIVNÍ RÁMCE A ECODESIGN

Rozmanitost, struktura a technologický rozvoj jednotlivých ekonomik států, zejména negativní vliv na životní prostředí a viditelné změny klimatu jsou hybnou silou, která vede společnost ke globálním řešením. Legislativní rámce umožňují stanovení a sjednocení kvantifikovatelných a popisných požadavků na snižování emisí skleníkových plynů, které jsou dány mezinárodními smlouvami, jenž jsou po té zaváděny do národních ekonomik a ovlivňují nejenom samotné výrobce obráběcích strojů, ale i celá průmyslová odvětví.

3.2.1 KJÓTSKÝ PROTOKOL (I. OBDOBÍ)

Kjótský protokol navazuje na Rámcovou úmluvu Organizace spojených národů o změně klimatu, která byla přijata na COP3 v Kjótu roku 1992 a zavazuje hospodářsky rozvinuté země ke snižování emisí šesti skleníkových plynů (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs, SF_6) popřípadě CO_2 ekvivalentní, jenž jsou důsledkem globálního oteplování. Tento mezinárodně právní nástroj v boji proti změnám klimatu zavazuje tyto rozvinuté země, aby v letech 2008 až 2012 (první kontrolní období) snižovaly oproti roku 1990 emise skleníkových plynů nejméně o 5 %. Protokol vešel v platnost 16. února. 2005 po ratifikaci Ruskem bez účasti USA a Austrálie.

Evropské společenství, rozhodnutím rady 2002/358/ES se zavázalo snížit emise skleníkových plynů o 8 % (6% limit se týká zemí Maďarska, Polska, Malty a Kypru) [7][8][9].



Nástroje v boji proti změnám klimatu [7][8][9]:

- zvyšování energetické účinnosti průmyslových odvětví
- podpora udržitelného zemědělství a lesnictví
- snižování emisí vlivem dopravy
- využití recyklace odpadů
- rozvoj a podpora obnovitelných zdrojů energií
- omezování podpor působící proti cílům úmluvy
- sdílení informací a zkušeností
- regulace prostřednictvím emisních povolenek
- společná koordinace čistého rozvoje

3.2.2 KJÓTSKÝ PROTOKOL (II. OBDOBÍ)

Klimatická konference COP18 konaná v Dauhá prodlužuje Kjótský protokol do druhého období od roku 2013-2020 a otevírá také cestu k celosvětové dohodě platné po skončení schváleného období od roku 2020. Úmluva stanovuje nový skleníkový plyn a tím je fluorid dusitý NF_3 . Zavazuje ke snížení emisí skleníkových plynů ve výši 20 % vůči roku 1990 a také zachování nárůstu globální teploty pod 2 °C. Ke druhému období Kjótského protokolu se zavázalo 37 států, které generují pouze 15% podíl celosvětově vypouštěného CO_2 [9][10][11][12]. K druhému období se nově nepřipojily významní znečišťovatelé jako jsou Japonsko, Kanada a stále chybí USA a Čína [11].

3.2.3 PAŘÍŽSKÝ PROTOKOL

Významným krokem k ochraně klimatu do roku 2030 s výhledem až do roku 2100 je stanovení nových závazků na Pařížské konferenci COP21 v roce 2015. Pařížský protokol nahrazuje Kjótský protokol, jemuž končí platnost v roce 2020. Tato nová globální dohoda zahrnuje 180 států, které produkují více jak 90 % emisí skleníkových plynů. Úmluva stanovuje udržení globálního oteplování pod 2 °C do roku 2100. Evropská unie se zavázala snížit emise skleníkových plynů do roku 2030 o 40 % vůči roku 1990, USA o (26 až 28) % vůči roku 2005 do konce roku 2025 a Čína o (60 až 65) % vůči roku 2005 do roku 2030. [13][14]

3.2.4 SMĚRNICE 2009/125/ES

Směrnice Evropského parlamentu a Rady navazuje na směrnici 2005/32/ES novou přepracovanou a rozšiřující směrnici 2009/125/ES. Tato směrnice stanovuje rámce se zaměřením na ecodesign výrobků spojených se spotřebou energie a její rozsah platnosti je rozšiřován o nové směrnice a nařízení (ES). Prováděcí metodika MEErP je zaměřena na 7 úkolů (legislativa, trh, uživatelé, technologie, životní prostředí a ekonomie, konstrukce, prognózy). Metodologie bude sloužit také jako podklad pro přepracování směrnice 2009/125/ES. [15][35]

Ecodesign výrobků je významným regulačním prvkem, strategií v oblasti snižování negativních dopadů na životní prostředí a optimalizací výrobních, distribučních



a recyklačních procesů. Směrnice poskytuje profit jak samotným spotřebitelům (snížení spotřeby energií při zachování stejných funkčních parametrů) tak i výrobcům, kteří produkují šetrné výrobky k životnímu prostředí za pomoci nových vědeckých poznatků. [15]

POŽADAVKY NA ECODESIGN VÝROBKŮ

Významné aspekty ecodesignu při návrhu výrobků s přihlédnutím na jejich fáze životního cyklu:

- výběr a použití surovin
- výroba
- balení, přeprava a distribuce
- instalace a údržba
- užívání
- konec životního cyklu až po likvidaci

Každá fáze životního cyklu výrobku podléhá posouzení jen v případě její relevantnosti:

- předpokládaná spotřeba materiálu, energie a jiných zdrojů, například vody
- předpokládané emise do ovzduší, vod nebo půdy
- předpokládané znečištění životního prostředí fyzikálními vlivy jako hluk, vibrace, záření, elektromagnetická pole
- předpokládané množství vyprodukovaného odpadního materiálu
- možnost opětovného použití, recyklace a využití materiálu nebo energie při zohlednění směrnice 2002/96/ES

POŽADAVKY NA VÝROBCE

Výrobci výrobků jsou povinni provést posouzení životního cyklu vzorku (následného výrobku) za běžných podmínek a za účelem jeho používání. Provedou také tzv. ekologický profil výrobku, kde definují v měřitelných hodnotách vstupy a výstupy v rámci celého životního cyklu výrobku. Lze také vyžadovat od výrobců informace pro recyklační centra o demontáži, recyklaci a likvidaci výrobků a také informace pro spotřebitele.

OZNAČENÍ VÝROBKŮ SPLŇUJÍCÍ ECODESIGN

Výrobky splňující směrnici ecodesignu nesou označení CE a jsou zapsány v Úředním věstníku EU a tyto mohou být volně uváděny na trh členských států. V případě výrobků splňující nařízení (ES) č. 1980/2000 přebírá platnost CE tato udělená ekoznačka. [15]

3.2.5 SMĚRNICE 2010/30/EU

Směrnice se zabývá uváděním spotřeby energie a jiných zdrojů na energetických štítcích a nahrazuje tím směrnici 95/75/EHS z roku 1992. Tato směrnice je určena k podpoře energeticky účinným výrobků a vztahuje se na výrobky spojené se spotřebou energie, které mají významný přímý nebo nepřímý dopad na spotřebu energie nebo popřípadě jiných hlavních zdrojů během jejich užívání. Nevztahuje se na použité výrobky a dopravní prostředky. [16]



3.2.6 SMĚRNICE 2012/27/EU

Směrnice o energetické účinnosti, o změně směrnic 2009/125/ES a 2010/30/EU, se zaměřuje na snížení spotřeby primární energie, nebo spotřeby konečné energie a energetické závislosti na zahraničním dovozu. Zavádí povinné zvyšování účinnosti výrobků, pobídky k uplatňování nových technologií či metod. Kontroly dle norem EN ISO 14000 (systémy environmentálního managementu). [17]

3.2.7 NAŘÍZENÍ (ES) Č. 640/2009 A Č. 4/2014

Nařízení, jímž se provádí směrnice 2005/32/ES požadavků na ecodesign elektromotorů. Motory a pohony zodpovídají za cca 70 % spotřeby elektrické energie v průmyslu. Je možné dosáhnout (20 až 30) % úspor za použití energeticky účinných elektromotorů. Nařízení zahrnuje motory zabudované do jiných výrobků, mimo výrobků u nichž nelze měřit odděleně energetickou účinnost (např. převodovky). [18][19]

Motorem se rozumí:

- motor s kotvou nakrátko
- výkon (0,75 až 375) kW
- počet pólů 2 až 6
- jmenovité napětí do 1 000 V
- určen pro nepřetržitý provoz

Platnost nařízení od 1. ledna 2015 pro motory (7,5 až 375) kW a od 1. ledna 2017 pro motory (0,75 až 375) kW ve třídách IE3 popřípadě IE2 vybaveny pohonem s proměnnými otáčkami. [18]

3.2.8 NAŘÍZENÍ (ES) Č. 641/2009 A Č. 622/2012

Prováděcí nařízení (ES) č. 641/2009 a č. 622/2012 ke směrnici 2005/32/ES, požadavky na ekodesign samostatných bezucpávkových oběhových čerpadel a bezucpávkových oběhových čerpadel vestavěných ve výrobcích (nevztahuje se na čerpadla pro oběh pitné vody a vestavěná ve výrobcích a uvedených na trh do 1. ledna 2020). Důležitým environmentálním aspektem čerpadel je spotřeba elektřiny v provozu, která dle prognóz má být do roku 2020 55 TWh.

Od 1. srpna 2015 musí mít samostatná a vestavěná bezucpávková oběhová čerpadla hodnotu indexu energetické účinnosti (EEI) nejvýše 0,23. [20][21]

3.2.9 NAŘÍZENÍ (ES) Č. 327/2011

Nařízení, kterým se provádí směrnice 2009/125/ES, požadavky na ekodesign ventilátorů poháněných elektromotory s příkonem (0,125 až 500) kW. Požadavky na minimální



energetickou účinností byly stanoveny v nařízení č. 640/2009, avšak se nevztahují na ventilátory. Ty jsou distribuovány ve velkých objemech a mají významný dopad na životní prostředí. V případě zavedení ecodesignu dojde k ročním úsporám elektrické energie 34 TWh do roku 2020. Zavádí se energetická účinnost od začátku roku 2013. [22]

3.2.10 NAŘÍZENÍ (ES) Č. 547/2012

Požadavky na ecodesign vodních čerpadel podle směrnice 2009/125/ES se provádí nařízením (ES) č. 547/2012. Významným parametrem ecodesignu oběhových čerpadel je spotřeba elektrické energie během fáze užívání. Ukazatel minimální účinnosti (MEI) pro čerpadla musí odpovídat hodnotě C v závislosti na druhu a rychlosti čerpadla. [23]

3.2.11 NAŘÍZENÍ (ES) Č. 1194/2012

Nařízení, jímž se provádí směrnice 2009/125/ES, ekodesign směrových světelných zdrojů, světelných zdrojů využívajících elektroluminiscenčních diod a souvisejících zařízení. Nařízení se vztahuje na osvětlení směrové, LED a instalované do jiných výrobků. Netýká se produkce LED modulů o množství menším jak 200 ks za rok a také světel, kde prvotním účelem není osvětlení (např. signalizační zařízení, topení atp.). [24]

3.2.12 NAŘÍZENÍ (ES) Č. 548/2014

Prováděcí nařízení (ES) č. 548/2014 ke směrnici 2009/125/ES malé, střední a velké výkonové transformátory. Stanovením požadavků ecodesignu na transformátory otvírá prostor pro technologie a konstrukční řešení zlepšující jejich účinnost. Celková ztráta instalovaných středních a velkých transformátorů v EU27 v roce 2008 je cca 93,4 TWh/rok.

Transformátory mohou mít napětí (1,1 až 36) kV se jmenovitým výkonem maximálně 40 MVA. Nařízení se nevztahuje na svařovací transformátory, trakční, přístrojové atp. [25]

3.2.13 NAŘÍZENÍ (ES) Č. 1980/2000

Nařízení reviduje dobrovolný systém Společenství pro udělování ekoznačky a slouží k propagaci výrobků s menším dopadem na životní prostředí během celého životního cyklu výrobku, služby nebo spotřebitele. Odpovědnost za správu a revize udělování ekoznačky odpovídá VEUEZ.

Klíčové environmentální aspekty pro stanovení ekoznačky:

- studie proveditelnosti a průzkum trhu
- úvahy o životním cyklu
- rozbor zlepšení
- návrh kritérií



Výsledkem posuzování je stanovení až tří dopadů na životní prostředí prostřednictvím ekoznačky a to: nízké znečištění ovzduší, účinné využití energie a snížená toxicita. Součástí procesu udělování ekoznačky je stanovení Posuzovací matice životního cyklu výrobku. [26]

3.2.14 SMĚRNICE 2002/95/ES

Směrnice omezuje používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních, zejména látky jako rtuť, kadmium, olovo, šestimocný chrom, PBB a PBDE. Řešení problematiky používání těžkých kovů a retardérů hoření v EEZ je nahrazení těchto látek bezpečnými nebo méně nebezpečnými látkami včetně dbání důsledné recyklace. [27]

3.2.15 SMĚRNICE 2002/96/ES

Regulace odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ) je cílena na zlepšování životního prostředí, smysluplné nakládání s přírodními zdroji a ochraně lidského zdraví. Klade důraz na recyklaci EEZ a také využívání již použitých částí. Směrnice se netýká jen EEZ z domácností s napětím AC 1 000 V a DC 1 500 V, ale také např. ovládacích zařízení v průmyslových zařízeních. [28]

3.2.16 SMĚRNICE 2006/121/ES A NAŘÍZENÍ (ES) Č. 1907/2006

Směrnice 2006/121/ES mění směrnici Rady 67/548/EHS o sblížení právních a správních předpisů týkajících se klasifikace, balení a označování nebezpečných látek se mění nařízením č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek a o zřízení Evropské agentury pro chemické látky. Směrnice a nařízení vyžaduje povinnost posouzení po výrobcích průmyslových výrobků o látkách v nich obsažených nebo látkách samostatných. [29][30]

Posuzování nebezpečných látek:

- posouzení nebezpečnosti pro lidské zdraví
- posouzení fyzikálně-chemické nebezpečnosti
- posouzení nebezpečnosti pro životní prostředí
- posouzení perzistentních, bioakumulativních a toxických (PBT), vysoce perzistentních a vysoce bioakumulativních (vPvB) látek
- posouzení expoziční
- charakterizace rizik



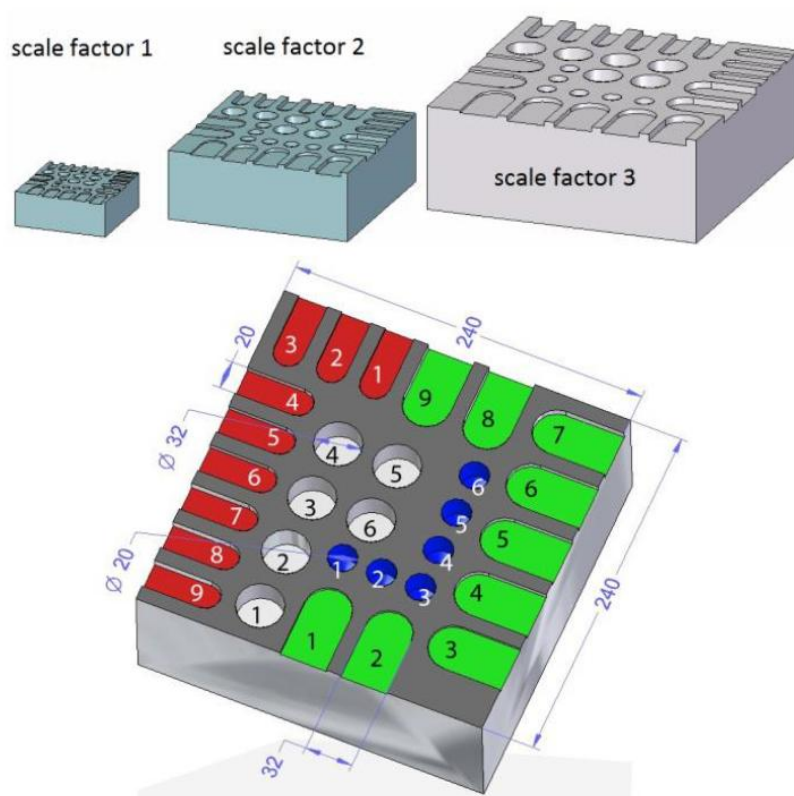
3.3 NORMY A ECODESIGN

3.3.1 JIS TS B 0024:2010

Japonská normy JIS TS B 0024:2010 patří mezi normy zabývající se kovo obráběcími stroji a je dále členěna na 4 části s různou variabilitou použití strojů. Norma TS B 0024-1:2010 je jedinou ukončenou normou v rámci standardizace energetické účinnosti obráběcích center.

Působnost normy:

- JIS TS B 0024-1:2010 (obráběcí centra)
- JIS TS B 0024-2:2010 (číslicově řízené soustruhy a soustružnická centra)
- JIS TS B 0024-3:2010 (rovinné brusky s vodorovnou osou brouscího včetně a s vratným pohybem stolu)
- JIS TS B 0024-4:2010 (hrotové brusky)



Obr. 3 Normovaný obrobek dle JIS TS B 0024-1:2010 - zvětšení 2 [32]

Energetická efektivita je posuzovaná dle JIS TS B 0024-1:2010 při příkonu celého stroje ve třech režimech (stand-by, temperování a obrábění) na definovaném dílci s odstupňovanými řeznými podmínkami v patřičném faktoru zvětšení 1, 2 popřípadě 3. Základní rozměr je definován při délkách hran obrobku 120 mm a faktoru zvětšení 1 viz (Obr. 3). Norma sleduje taktéž neproduktivní režimy od počátku do konce obrábění dílce. [31][32]



Postup obrábění definovaného dílce (Obr. 3):

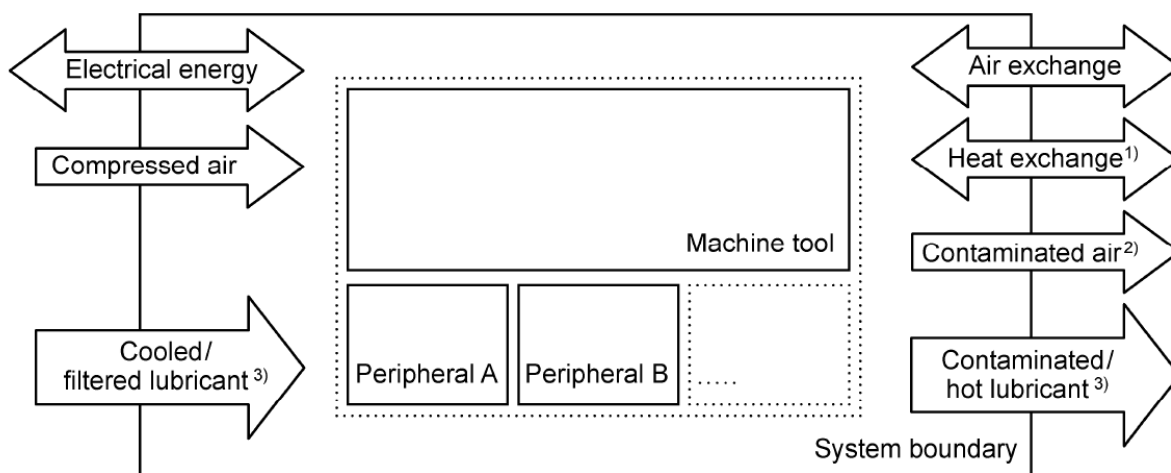
- čelním frézováním (šedá barva)
- drážkování (zelená barva)
- drážkování (červená barva)
- vrtání (bílá barva)
- vrtání (modrá barva)

3.3.2 ISO 14955:2014

Nová mezinárodní norma pro posouzení ochrany životního prostředí obráběcími stroji je členěna na 4 části. Část první ISO 14955-1:2014 je již aplikovatelná hlavně pro opracování kovů NC stroji. Nová norma se má stát standardem v oblasti metodiky postupů, měření, vyhodnocování a stanovování závěrů při ochraně životního prostředí. Je připravovaná v součinnosti se skupinou TC39/WG12. [31][32][33][34]

Části normy:

- ISO 14955-1:2014 - Metodologie pro energeticky úsporné stroje
- ISO 14955-2:2014 - Metody hodnocení energeticky úsporných obráběcích strojů a jejich komponentů
- ISO 14955-3:2014 - Zásady pro zkoušení obráběcích strojů na řezání kovu s ohledem na energetickou účinnost
- ISO 14955-4:2014 - Zásady pro zkoušení tvářecích nástrojů s ohledem na energetickou účinnost



Obr. 4 Schéma metodického postupu dle ISO 14955-1:2014 [33]

Schéma viz (Obr. 4) znázorňuje metodiku na stanovení podmínek posuzovaného systému na toky vstupních a výstupních energií k připojeným periferiím obráběcího stroje, určení jednotlivých funkcí a přiřazení funkcí komponentům. Tento přístup zajišťuje porovnatelnost



konstrukčně odlišných obráběcích strojů a možný návrh opatření pro zlepšení jejich efektivity provozu. [31][32][33][34]

3.3.3 EN ISO 14044:2006

Nejvýznamější norma pro ochranu životního prostředí v rámci posuzování životního cyklu výrobku je: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice. Nahrazuje dřívější normy EN ISO 14040:1997, EN ISO 14041:1998, EN ISO 14042:2000 a EN ISO 14043:2000. [36]

Norma poskytuje pokyny a požadavky pro posouzení LCA a LCI jako:

- cíl a rozsah definice LCA
- inventarizační analýza životního cyklu (LCI)
- analýza dopadů životního cyklu (LCIA)
- interpretace fází životního cyklu
- hlášení zpráv a kritické přezkoumání LCA
- sestavení omezení LCA
- vztah mezi jednotlivými fázemi LCA
- podmínky pro použití hodnoty a volitelných hodnot.

Více viz Kapitola 3.4.1.

3.4 METODIKY ECODESIGNU

Stávající nástroje ecodesignu mohou být využívány pro posouzení výrobku v raném stádiu návrhu, zlepšení jeho funkčních vlastností během užívání, konce životního cyklu, popřípadě v celém rozsahu či částech životního cyklu. Náročnost zpracování informací je dána povahou posuzovaného nástroje ecodesignu, který může být založen na LCA metodice popřípadě na jiných metodikách, které jsou schopny odhalit možnosti pro patřičná zlepšení výrobku. Nástroje ecodesignu mohou mít přístup kvalitativní, semi-kvantitativní i kvantitativní a z tohoto důvodu poskytují různou úroveň výstupu. [38][40][41]

Nástroje pro posouzení dopadu na životní prostředí:

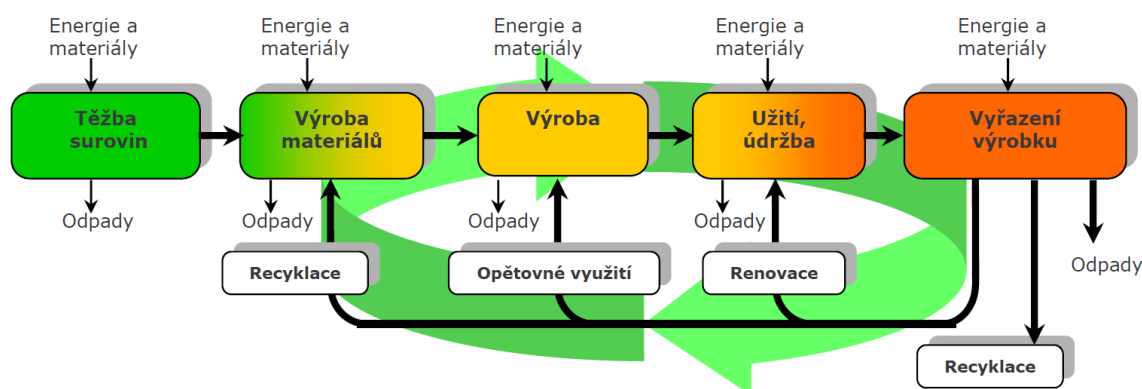
- LCA
- OPM
- MET Matrix
- Ecodesign Checklist
- LiDS Wheel
- 10 Golden Rules
- ABC
- MECO
- MIPS
- KEPI
- IO analýza



- PILOT
- TPI
- ACLODS
- další nástroje

3.4.1 LCA

LCA poskytuje nejkomplexnější a systematické posouzení dopadu výrobku, služby či systému na životní prostředí popřípadě na jiné zájmové oblasti člověka. Při posuzování jsou brány v potaz všechny fáze životního cyklu od vytěžení surovin až po uložení odpadu zpět do země "od kolébky po hrob" viz (Obr. 5). V případě LCA bez využití posouzení dopadů na životní prostředí hovoříme po té o LCI inventarizační analýze životního cyklu. Zpracování LCI vyžaduje znalost výrobních operací, vlivy dopadů na životní prostředí, materiálová složení, druhy energetických vstupů, užívání výrobku, recyklační scénáře a veškerý dotčený transport. [37][38][42]



Obr. 5 Schéma životního cyklu produktu podle LCA [37]

Fáze metodiky LCA:

- stanovení cílů a rozsahu
- inventarizační analýza
- posouzení dopadů (klasifikace, charakterizace a vyhodnocení vlivů)
- interpretace zjištění

Omezení metodiky LCA:

- špatně stanovené hranice systému
- omezená dostupnost údajů (procesy, ...)
- nevhodně zvolené modely LCI
- špatný výběr zdrojů a kategorií dopadů



Je nutné si také uvědomit vysokou cenu a finanční náročnost zavádění komplexních LCA metodik v rámci snižování ekologické zátěže. Podstatný problém v zavádění nástrojů ecodesignu je časová náročnost posouzení a sestavení podkladů pro analýzu. Komplexní analýzy LCA je možné zpracovávat v počítačových programech jako je: SimaPro, OpenLCA, GaBi, PRé Consultants, Umberto. [43]

3.4.2 OPM

Oil Point Method (OPM) je založena na metodice LCA, která využívá množství spalování fosilných paliv (ropa, uhlí, ...), které je nutné pro zhotovení 1 kg materiálů nebo pro vyrobení požadované energie v kWh viz (Tab. 1).

$$1 \text{ Oil Point (OP)} = \text{Energetický obsah 1 kg ropy} = 45 \text{ MJ}$$

Hodnotící metodika dopadu na životní prostředí poskytuje dobré výsledky a může suplovat složitou LCA metodiku. Výhodou je také jednoduchý model výpočtu, možnost aktualizace a doplňování vstupních dat OPM.

Tab. 1 Výběr indikátorů OPM dle typu materiálu/procesu [37]

Material or process	Value	Unit
Carbon steels	1	OP/kg
Aluminium (100% primary)	4.4	OP/kg
Aluminium (100% recycled)	0.2	OP/kg
HDPE plastic (material and processing)	1.8	OP/kg
Wood, all kinds	0.5	OP/kg
Electricity (European average)	0.25	OP/kWh

Problematika neexistujících ukazatelů OPM, lze doplnit z LCA metodiky, literaturou obsahující patřičné zdroje či interpolací stávajících hodnot (např. Aluminium 50% recyklát vznikne interpolací hodnot). Popis více jak 120 hodnot indikátorů lze nalézt na www.designisite.dk. [39][41]

3.4.3 MET MATRIX

Hodnotící metoda je určena k obecnému posouzení celého životního cyklu s kvalitativním výstupem. Nástroj je tvořen první maticí viz (Tab. 2), která hodnotí ochranu přírody s aspekty na materiály, energii a toxicitu a druhou maticí zaměřenou na volbu použitých materiálů s důrazem na jejich životnost. Matici lze použít k řešení environmentálních problémů v jakékoliv fázi životního cyklu, nebo ověření stávajících či plánovaných nových strategií. K dosažení výsledků je nutná široká znalost problematiky ecodesignu, avšak výhodou je rychlost a jednoduchost tohoto nástroje. [38][41][44]



Tab. 2 Matice MET (upraven) [45]

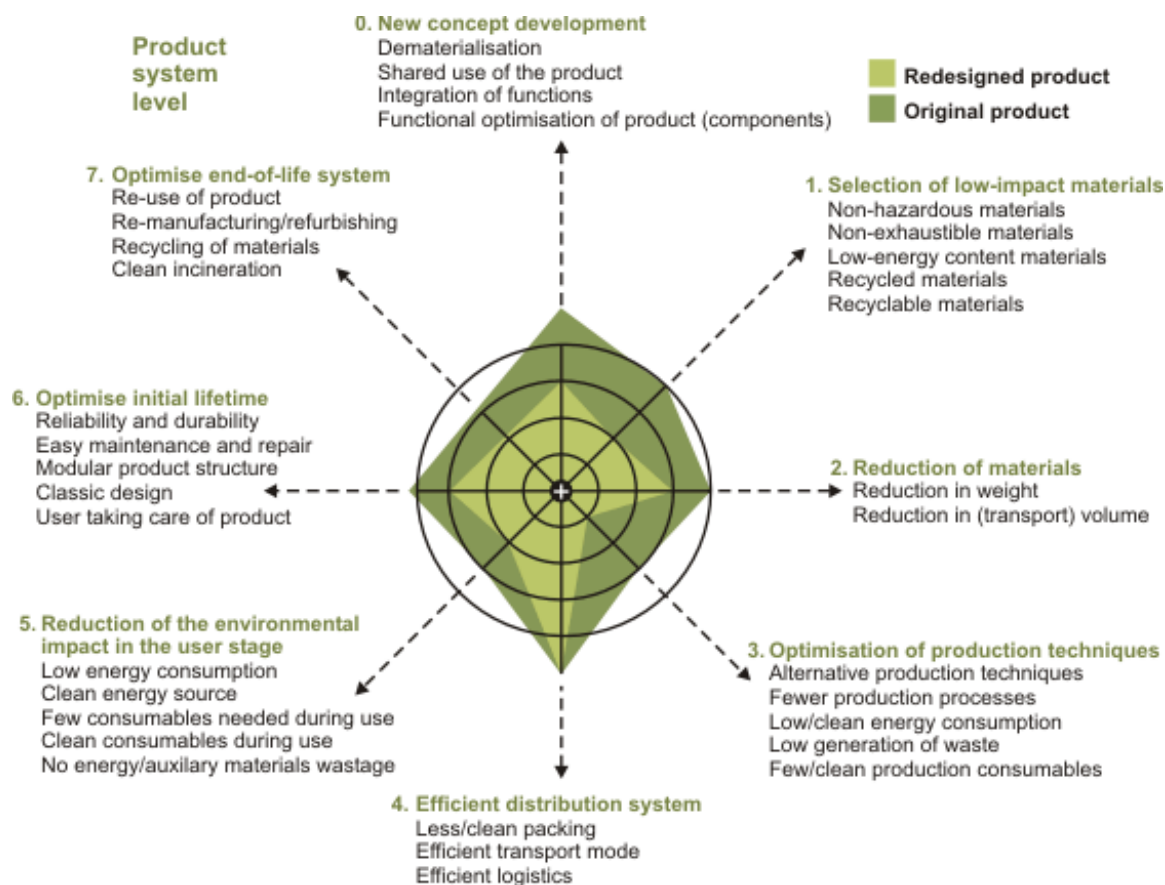
MET Matrix	VSTUPY		VÝSTUP
	(M) Materiály	(E) Energie	(T) Toxické emise
Suroviny & Výroba komponentů (těžba)	> Všechny potřebné materiály, díly a komponenty.	> Spotřeba energie pro získání surovin. > Energie použitá na vyčištění > Energie spotřebovaná na transport materiálů do továrny.	> Toxický odpad při těžbě a zušlechťování materiálu před výrobou.
Tovární výroba (včetně balení & odeslání)	> Pomocné materiály zakoupené (šrouby, elektrické položky atd.) > Další látky používané ve výrobním procesu (tj. předměty pro svařování, malování, atd.)	> Spotřeba energie v procesech používaných ve výrobním závodě.	> Toxický odpad produkovaný v továrně. > Zbytky materiálů: odřezky, zmetky, atd.
Distribuce & Dodavatelský řetězec	> Materiály používané pro balení výrobků. > Prvky obalů používaných pro přepravu a distribuci.	> Spotřeba energie v průběhu zabalování a balení (sou-li > Doprava z továrny ke konečným distributorům.	> Odpad ze spalování během přeprav. > Odpad z balení.
Používání Používání (normální užívání) a servis (údržba a opravy)	> Spotřební materiál. > Odhadované náhradní díly.	> Energie spotřebovaná výrobkem po celou dobu jeho předpokládané životnosti.	> Odpady z spotřebního > Odpady z náhradních dílů.
End of Life - (EoL) Nakládání s odpady - využití a odstranění	> Spotřeba surovin a pomocných materiálů pro ukončení životnosti.	> Energie použitá ve EoL soustavě pro materiály nebo díly (spalování, recyklace, atd.) > Energie pro dopravu do EoL systémy.	> Toxický odpad vytvářený produkty v EoL. > Odpad ze spalování. > Recyklace & balení materiálů.

3.4.4 ECODESIGN CHECKLIST

Metoda je navržena k prověření celého životního cyklu výrobku a je založena na semi- kvantitativním přístupu. Slouží k posouzení zavedených ecodesign pravidel ve třech úrovních (díly, produkty a funkce). Samotné hodnocení probíhá na všech úrovních s bodovým hodnocením (1-dobré, 2-lhostejné, 3-špatné a 4-irelevantní) následné vyhodnocení umožňuje snížení dopadů na životní prostředí. [38][41]

3.4.5 LIDS WHEEL

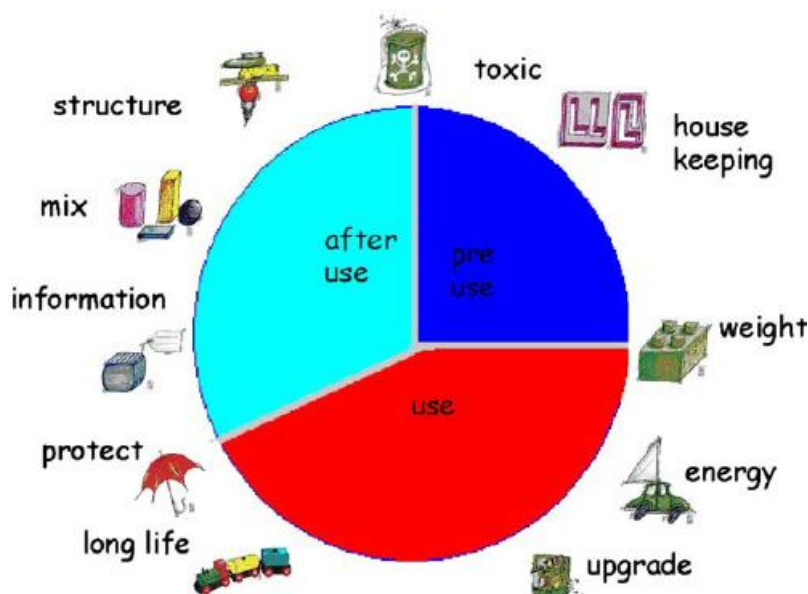
Vizualizovaný nástroj ecodesignu LiDS Wheel viz (Obr. 6) je založen na kvalitativním přístupu k otázce životního prostředí a poskytuje konkrétní řešení. Umožňuje porovnání životního cyklu starého a nového výrobku prostřednictvím diagramu 8 parametrů s vyznačením intenzity dopadu na osách (0-nová koncepce rozvoje, 1-materiály s malým dopadem, 2-snížení spotřeby materiálu, 3-optimalizace výrobních technik, 4-optimalizace distribučního systému, 5-snížení vlivu uživatelské fáze, 6-optimalizace počáteční životnosti, 7-optimalizace ukončení životního cyklu). Za pomocí nástroje je možné ihned ověřit environmentální dopady v kterékoliv fázi životního cyklu. [41][46][54]



Obr. 6 LiDS Wheel [46]

3.4.6 10 GOLDEN RULES

Nástroj byl vyvinut pro usnadnění zavádění udržitelného vývoje výrobků v multidisciplinárním odborném prostředí prostřednictvím pravidel ecodesignu. Metodika slučuje mnoho předpisů do uceleného řešení, které je možné aplikovat ve firemním prostředí. Nástroj obsahuje "10 zlatých pravidel ecodesignu" viz (Obr. 7), která by měla být využita v raném stádiu návrhu popřípadě k porovnání existujících produktů. Výstupem jsou kvalitativní informace, které lze využít ke konkrétním změnám v životním cyklu výrobku. [38][41][47]



Obr. 7 10 Golden Rules zobrazeno v životním cyklu výrobku [47]

3.4.7 ABC

ABC analýza je určena k porovnání celého životního cyklu výrobku s kvalitativním přístupem s možností návrhu zlepšení dopadu výrobku na životní prostředí po jeho vyhodnocení. Metoda porovnává vlastnosti 11 rozmanitých kritérií výrobku s následným vyhodnocením A-C. [41]

Stupně hodnocení:

- A (problematické) - vyžadované opatření
- B (střední) - dodržování opatření, možné zlepšení
- C (neškodné) - opatření není vyžadováno

3.4.8 MECO MATRIX

Nástroj MECO patří do zjednodušené analýzy LCA se semi-kvantitativním přístupem (část výsledků je kvantitativní i kvalitativní z důvodu kvantitativních vstupních údajů). MECO matice viz (Tab. 3) lze použít v libovolné fázi životního cyklu výrobku a je možné jí použít k porovnání s kvantitativními LCA výsledky. Materiály a energie jsou zahrnuty do spotřeby zdrojů, dopady na životní prostředí jsou zařazeny v kategorii ostatní. Analýza poskytuje více pozitivních informací o toxických látkách a dalších dopadech než LCA. [41][48][49]



Tab. 3 Matice MECO [48]

MATERIALS	•Tree/ fibrous plants •White liquor		•Products (paper) • Transports		•Reuse/Upcycle Combine with other materials
ENERGY	•Machines to chipped and harvested	•Electricity for machines	•Energy for transports	•If use with machine like printer	•Recycle •Transport to landfill
CHEMICALS	•Sodium sulfide •Caustic soda •Chlorine	•White liquor • Colour to dye the paper			•Recycle: mixture with chemicals
OTHERS	•Workers	•Workers			

3.4.9 MIPS

Indikátor MIPS je založen na základě ekologického baťohu (na materiálech, produktech a spotřebě), které jsou zpracovávány z hlediska vstupu zdrojů na servisní jednotku. Pomocí tohoto indikátoru můžeme rychle výrobky zhodnotit a provést jejich úpravu v rámci celého životního cyklu. Indikátor má kvantitativní výstup a je založen na LCA. [50][51]

3.4.10 KEPI

Metoda KEPI viz (Tab. 4) posuzuje tři faktory životního cyklu výrobku (výroba, distribuce a použití), které jsou založeny na základě výsledků LCA a hodnotí je v celém jejich životním cyklu. Pro hodnocení jsou vybrané indikátory, které mají významný dopad na životní prostředí. Je možné provádět porovnání výrobků, ale musí být splněny předpoklady, že výrobky jsou totožného druhu a stejně technologicky řešeny (např. PDA vs. PDA). [44][52]

Pro zajištění účinnosti metody:

- poskytnout jasné výsledky
- požadovat omezené množství dat
- časově nenáročné zpracování
- data založena na fyzikálních a chemických vlastnostech produktu
- výsledky posouzení dopadů bez extrapolace



Tab. 4 Ukázka nástroje KEPI na mobilním telefonu [44]

Phase of the lifecycle	Manufacturing	Distribution	Use
Proposed indicators	<ul style="list-style-type: none"> • Gold quantity • Area of printed circuit board x number of layer • Total area of dies (of integrated circuit) • Bromine quantity • LCD screen area • Quantity of solder paste • Copper quantity in charger and cables 	<ul style="list-style-type: none"> • Number of components in the mobile phone 	<ul style="list-style-type: none"> • Energy consumption in sleep mode

3.4.11 IO ANALÝZA

Analýza IO je založena na sumarizaci vstupních a výstupních dat v rámci ekonomických pohybů za výrobky či služby. Inventarizační analýzy a analýza LCA jsou náročné na zpracování dat a jsou zaměřeny přímo na daný produkt/službu z tohoto důvodu je možné použít IOT (vstupně výstupní tabulky), které obsahují emisí znečištění jednotlivých států. Při využívání IOA v LCA se nejdříve sestaví Matice užití a Matice výroby viz (Tab. 5). Řádky jsou pro jednotlivé produkty a sloupce tvoří ekonomické sektory, z kterých budou kvantifikovány nepřímé materiálové a energetické toky výrobků v monetárních jednotkách (stanovení celkových nároků na energetické a materiálové toky pro určitý produkt během výroby v ekonomické sféře). Po definovaných matematických úpravách a substituci vektoru spotřeby za složení výrobku získáme požadovaná informace o znečištění. [53]

Význam součtových vektorů:

- t - spotřeba výrobků mezipotřeba a konečná spotřeba
- q - celková domácí výroba produktů (spotřeba na výrobu jiných produktů, meziproduktů a na konečnou spotřebu)
- g - celkové produkce jednotlivých ekonomických sektorů



Tab. 5 Matice užití (horní tabulka) a Matice výroby (dolní tabulka) [53]

Ekonomický sektor Produkt	Ekonomický sektor 1	Ekonomický sektor 2	...	Ekonomický sektor n	Konečná spotřeba	Celková spotřeba
Produkt 1	U matice				y_1	t_1
Produkt 2					y_2	t_2
...					$y_{...}$	$t_{...}$
Produkt n					y_n	t_n

Ekonomický sektor Produkt	Ekonomický sektor 1	Ekonomický sektor 2	...	Ekonomický sektor n	Celková domácí výroba
Produkt 1	M matice				$\sum \text{řádku} = q_1$
Produkt 2					$\sum \text{řádku} = q_2$
...					$\sum \text{řádku} = q_{...}$
Produkt n					$\sum \text{řádku} = q_n$
Celkové produkce ES	$\sum \text{sloupce} = g_1$	$\sum \text{sloupce} = g_2$	$\sum \text{sloupce} = g_{...}$	$\sum \text{sloupce} = g_n$	

3.4.12 PILOT

Pomocí nástroje Ecodesign Pilot (kvantitativní přístup) je možné provádět posouzení dopadu výrobku na životní prostředí v kterékoliv jeho fázi životního cyklu se zařazením do pěti skupin. Optimalizace se provádí po té ve skupině s největšími environmentálními dopady. [38][54][55][56]

Zatřídění výrobku po analýze podle vlastností do skupin:

- intenzivní využití surovin
- intenzivní produkce
- intenzivní doprava
- intenzivní využívání
- intenzivní dispozice

3.4.13 TPI

Indikátor TPI je ukazatelem dopadu toxického zatížení na životní prostředí a je založen na materiálovém složení výrobku. Nástroj není zaměřený na přístup "od kolébky po hrob", materiálů vzniklých během pomocných procesů, odpadů při spalování, ale na použité materiály a jejich aspekty. Materiály dle bezpečnostních listů jsou mapovány indikátorem od 0 (nejhorší) - 7 (nejlepší) a po té jsou násobeny hmotností látky a upraveny do maximální hodnoty 100. Výsledné hodnoty jsou udávány v TPI/mg látky. [57]

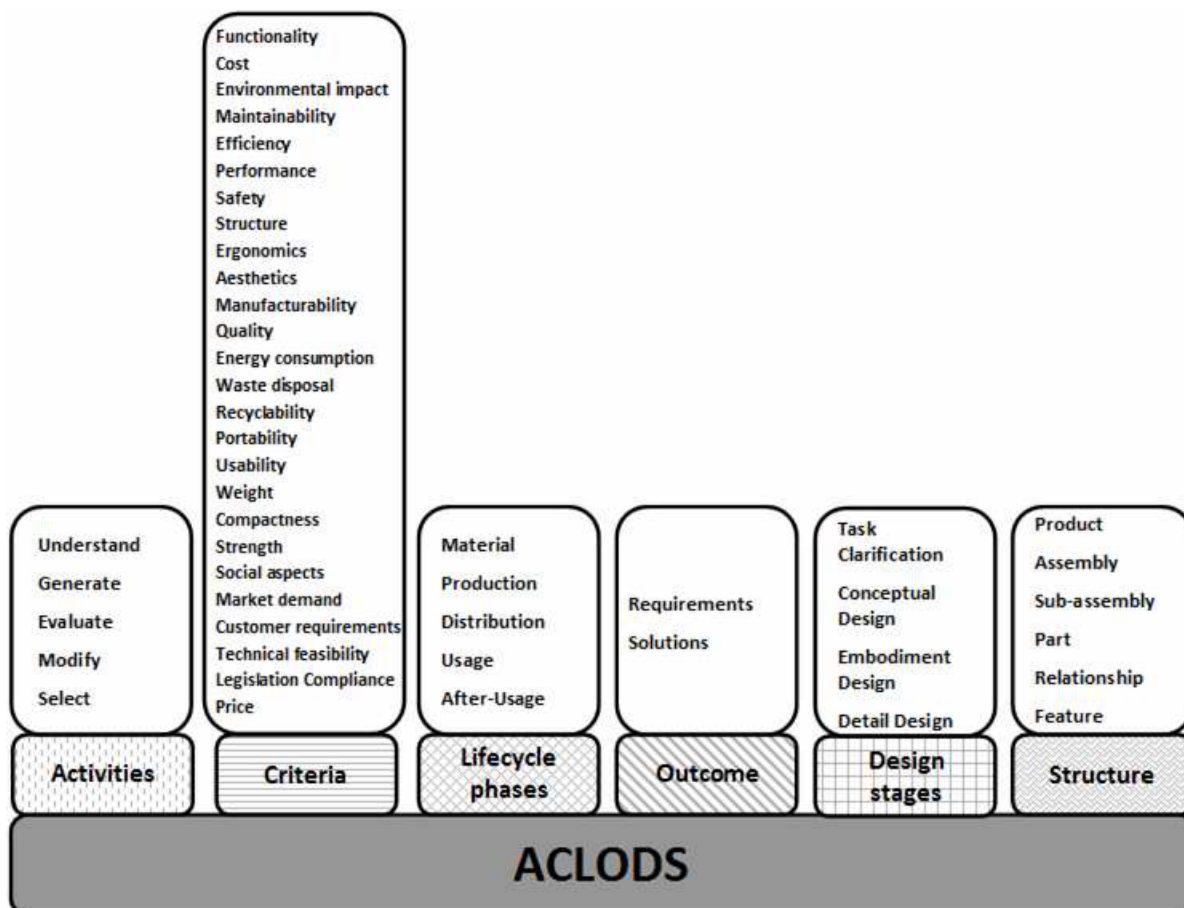


3.4.14 ACLODS

Nástroj zhodnocuje stávající přístup k ecodesignu ve fázi návrhu v závislostech na šesti bodech, které jsou pilířem metody ACLONDS viz (Obr. 8). Data jsou shromážděna a porovnána v procentuálním sloupcovém grafu v jednotlivých fázích s danými faktory. Komplexní metodika je navržena pro konstruktéry a designéry, kteří musí zohlednit všechny prvky návrhu a využít prostředky k minimalizování negativních environmentálních dopadů. [58]

Fáze metody ACLONDS:

- aktivity konstruktér/designér (úpravy, výběr, řešení, ...)
- kritéria (kvalita, odpad, recyklace, váha, legislativa, ekonomika, ...)
- životní cyklus (použití, konec životního cyklu, ...)
- výsledky (modifikace, odmítnutí, přijetí)
- konstrukci/design (konceptní design, tvarová čistota, ...)
- strukturu (montáž, demontáž, díly, ...)



Obr. 8 ACLOND holistický rámec [58]



3.4.15 OSTATNÍ ANALÝZY

Nástroje pro posuzování ecodesignu mají rozmanité využití jak pro posouzení životního cyklu z hlediska životního prostředí (MIT, EPI, ECI, EOD, Morphological Box, ERPA, SLCA, EPLC, EOD, GQFD, HoE, ECQFD, EIFA, Factor 10, ...), toxicity (Volvo Lists, AT&T, Kodak), montáže a demontáže výrobku (DfA, DfD), marketingu (DfM, LCECA, Funktionkosten, EMS), určitých fází výroby, porovnání výrobků či jiné významné aspekty výrobku/služby. Je nutné stanovit účel posouzení výrobku či služby a vybrat vhodnou metodiku pro dosažení požadovaného hodnocení. [38][41][51][52][56]



4 VÝROBNÍ STROJE A JEJICH NOVÁ ŘEŠENÍ

Výrobci výrobních strojů jsou vázáni pro dané trhy respektovat požadavky na ecodesign pro dílčí části tak i pro komplexní řešení z hlediska nařízení, norem, směrnic viz (Kap. 3.2 a 3.3). Certifikace výrobků CE a ecolabeling jsou důležitým faktorem ke snížení znečištění životního prostředí. Účinným nástrojem pro efektivní dodržování pravidel ecodesignu je součinnost výzkumných center, národních či celoevropských asociací výrobních strojů. Přínosem tohoto přístupu jsou inovativní technická, technologická a konstrukční řešení.

4.1 VCSVTT (RCMT)

Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii bylo založeno v roce 2000 při ČVUT s cílem vytvoření výzkumné, vzdělávací, školicí organizace a položení základů spolupráce s českým průmyslem strojírenské výrobní techniky. VUT v Brně bylo jedním ze spoluřešitelů významných výzkumných projektů ve spolupráci s podniky SST, jenž významně přispěly k ecodesignu výrobních strojů. [59][60]

4.2 CECIMO

Evropského sdružení výrobců obráběcích strojů založeno v roce 1950, které zahrnuje 15 národních členů, kterým je i Svaz strojírenské technologie SST (zakladatelem bylo 21 organizací z České a Slovenské republiky zabývajících se výrobou, výzkumem nebo prodejem obráběcích a tvářecích strojů). Výrobci ve sdružení zahrnují 98% podíl produkce výrobních strojů v EU a 40 % je distribuováno mimo EU. Cílem sdružení je výzkum v oblastech vědy, technologie a ekonomie. [61][62][63]

Asociace CECIMO v roce 2012 vytvořila iniciativu Blue Competence Machine Tools, která je společnou platformou evropským firmám zaměřeným na výrobní stroje. Blue Competence Machine Tools je značkou reprezentující dodržování ecodesign principů a reaguje na platnou legislativu EU. [62][64]

4.3 KONSTRUKČNÍ A KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ VÝROBNÍCH STROJŮ

Výrobní stroje jsou konstruovány pro rozmanité technologické operace s různým koncepčním řešením a uspořádáním komponentů. Tato různorodost a univerzálnost omezuje stanovení všeobecně platné metodiky určení jejich energetické náročnosti.

STRUKTURA A KONSTRUKCE VÝROBNÍCH STROJŮ

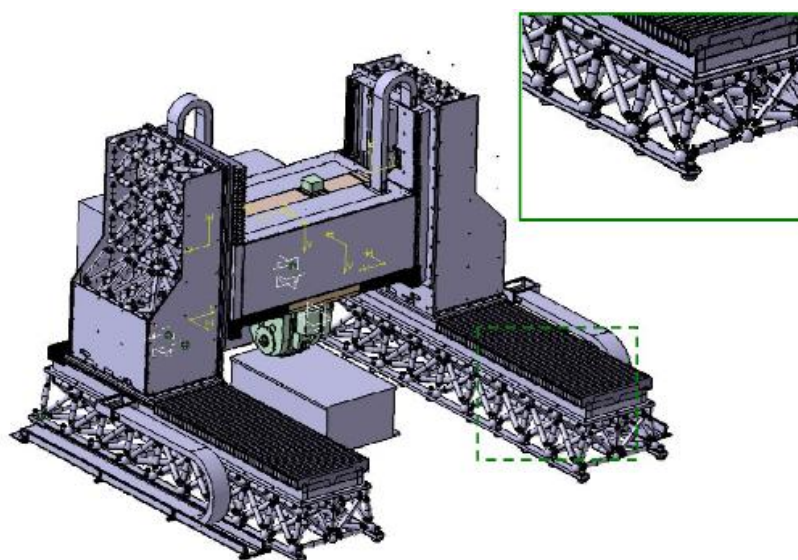
Výrobní stroje musí během svého provozu vykazovat požadovanou tuhost, nízkou hmotnost, dostatečně tlumit vibrace a zejména být stabilní vlivem tepelného zatížení od periferií, samotného obrábění či externího působení tepla. Vynikající vlastnosti v oblasti tepelné roztažnosti, chemické odolnosti, tlumení vibrací vykazují vyztužené polymerbetony oproti oceli a šedé litině. Tlakové rozvody médií jsou uvnitř nosné konstrukce a montážní body jsou její součástí.



Využití uhlíkových kompozitů ve stavbě výrobních strojů brání masovému využití vysoká cena, problémové spojování a komplikovaná recyklace. Společnost FUKUDA představila vřetena z uhlíkových kompozitů, které vykazují téměř nulovou tepelnou roztažnost, vysokou dynamickou tuhost a nižší vibrace, které vedou k delší životnosti stroje [65][69]. Výrobní stroj Sodice z kompozitů (všechny 3 pohybové osy, stůl a vřeteník) v porovnání s totožným strojem vyrobeného tradičním řešením (ocel a litina) vykazoval výrazného zkrácení výrobního času, nebo při stejném čase mnohem vyšší přesnosti. [65]

Ocelové svařované struktury mohou být zesíleny vhodnou vnitřní výplní např. z polymerbetonu popřípadě vnitřní plošnou výtuhou ve tvaru X, která zlepšuje odolnost proti ohybu o 32 % a proti torznímu napětí o 15 % vůči konstrukci bez vyztužení. Ocelové struktury s výplní hliníkovou pěnou nebo polymerbetonem zejména tlumí nežádoucí vibrace. Český výrobce TOS Kuřim s modelem FUT využil hybridní řešení svařence lože a stojanu s betonovou výplní. [66][67][68]

Na obrázku (Obr. 9) je prototyp lehké nosné příhradové konstrukce, která je tvořena piezoelektrickými prvky, aktivními tlumiči s magneto-rheologickou kapalinou. Sensory a pohony zajistí mechanickou tuhost celého systému. [66]



Obr. 9 Prototyp nosné části od firmy Fatronik [66]

KONCEPCE KONSTRUKCE VÝROBNÍCH STROJŮ

Výrobní stroje nekonvenční konstrukce jako paralelní kinematická struktura obráběcího centra OKUMA Cosmos Centre PM 600 je vhodná pro vysokorychlostní obrábění forem. Výhodou je působení tahových a tlakových sil v ovládacích tyčích, které jsou bohužel namáhány tepelnými dilatacemi. [70][71]

Průmyslový robot umožňuje opakované a přesné prostorové pohyby, avšak nevýhodou je nižší tuhost vřetene a přesnost vůči CNC obrábění. [72]

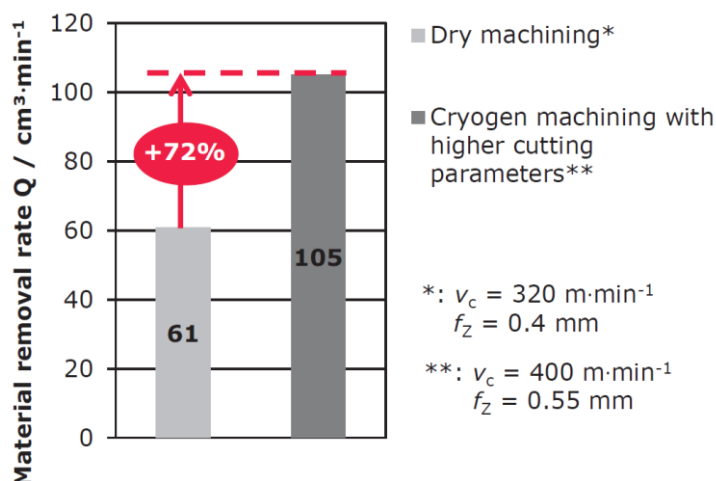


4.4 OPTIMALIZACE A TECHNOLOGICKÁ ŘEŠENÍ

Energetická optimalizace výrobních strojů je souhrn úprav vedoucí k jejich ekonomickému a efektivnímu provozování. Cílená spolupráce výrobců zapojených v asociaci CECIMO snižuje zatížení životního prostředí. Optimalizací výrobních strojů lze významně zefektivnit jejich provoz.

CRYOGENICKÉ CHLAZENÍ

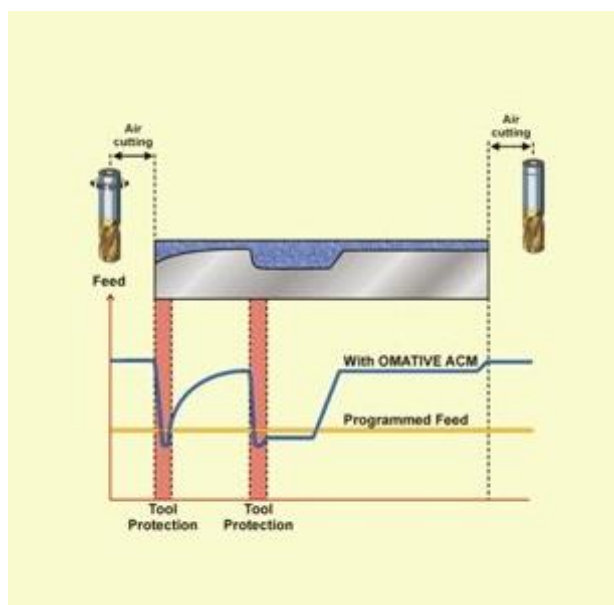
Inovativním přístupem k chlazení řezného procesu přistoupila společnost Walter AG, která využívá tekuté CO₂. Chladicí médium prochází vřetenem přes držák nástrojů do nástroje Cryo•tec™. Obráběný díl je chlazen tekutým CO₂ a paralelně doprovázen proudem vzduchu, aerosolem popřípadě emulzí. Cryogenické chlazení snižuje teplotu nástroje před procesem obrábění až na -78,5 °C. Využitím cryogenického chlazení během řezného procesu klesla teplota nástroje ze 70 °C na 40 °C v porovnání s MQL, tímto řešením se prodlouží životnost nástroje až o 50 %. Výsledný povrch má vysokou kvalitu vůči suchému obráběním a MQL, zejména množství odebrané třísky je až o 72 % větší viz (Obr. 10). [73][74]



Obr. 10 Efekt cryogenického chlazení na množství odebraného materiálu [73]

OPTIMALIZACE DRÁHOVÉHO ŘÍZENÍ

Adaptivní modul od firmy FIDIA, umožňuje v reálném čase sledovat výkonové požadavky vřetene a tím optimalizovat rychlost posuvu a otáčky nástroje v závislosti na jeho zatížení viz (Obr. 11). Touto úpravou lze prodloužit životnost nejenom nástroje ale i samotného stroje. [75] Simulace a verifikace dráhy viz (Kap. 7.2).



Obr. 11 Graf optimalizace dráhového řízení při frézování [76]

NÁSTROJE S DLOUHOU ŽIVOTNOSTÍ

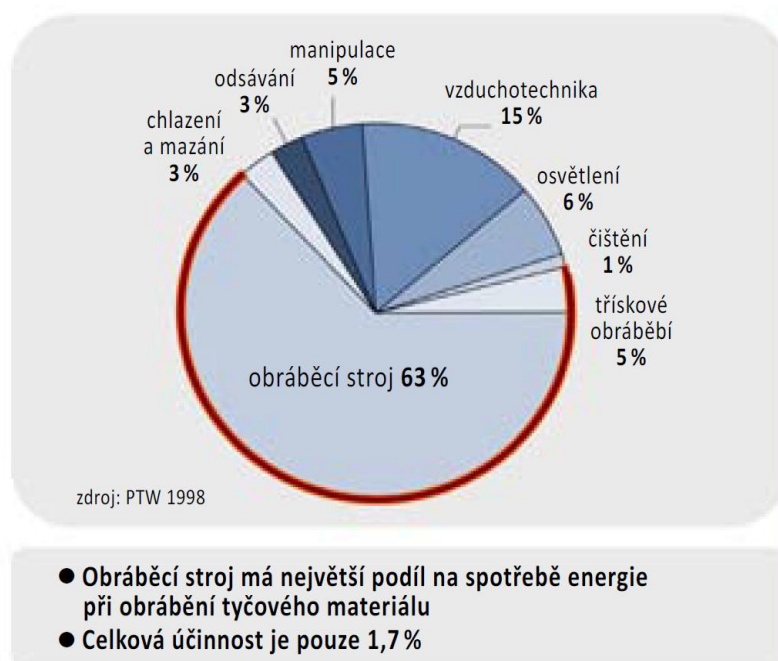
Volba nástroje a řezné prostředí mají dle způsobu obrábění vliv spotřebu elektrické energie a životnost nástroje. Hrubovací operace se podílí až 40 % na celkové spotřebované energii a je možné vhodnou volbou nástroje a jeho geometrie docílit až 50% snížení příkonu vřetene při stejných řezných podmínkách se stejnou životností břitu. Řezné podmínky (chladicí, mazací a řezací účinky) se podílí na spotřebované energii a životnosti nástroje, ale zejména na jakosti povrchu obrobku. [77]

Nové druhy břitových destiček WNT poskytují o 50 % delší životnost při vysokých řezných rychlostech (intenzivnější řezný proces s vyšším příkonem). [78]

Aditivní přístup výroby vrtáků s vyměnitelnými destičkami Mapal QTD za pomoci tavení kovového prášku laserem umožňuje dvojitě spirálové vedení přívodu chladicí kapaliny přímo tělem nástroje. Inovativní přístup eliminuje nežádoucí účinky centrálního přívodu chladicí kapaliny, který omezuje průtok kapaliny do vložky. Aditivní výroba vrtáků snižuje výrazně jejich hmotnost a přispívá k větší rychlosti obrábění a přesnosti. [79]

OPTIMALIZACE PROVOZU (PERIFERIE)

Periferie výrobních strojů (chlazení, stlačený vzduch, fluidní okruhy, pohony, atd.) mají významný potenciál pro dosažení energetických úspor viz (Obr. 12). Řešením je hibernace a samoregulační opatření, které umožní snížit energetickou náročnost stroje na jednotku produkce [77][80][81]. Praktické ukázky optimalizace od předních českých výrobců výrobních strojů viz (Kap. 6).



Obr. 12 Energetická náročnost obráběcího stroje [82]

Optimalizace provozu [76][77][80][81]:

- procesní optimalizace viz (Kap. 7.1-7.3)
- plánovaná regulace a řízení provozu
- odpojování motorů
- odpojování periferií
- snižování spotřeby řezné emulze
- zabránění úniku vysokotlaké řezné emulze
- intenzivnější řezný proces s vyšším příkonem
- výroba s minimem vedlejších časů
- co nejkratší temperování stroje
- a další

REGULACE OTÁČEK ELEKTROMOTORŮ

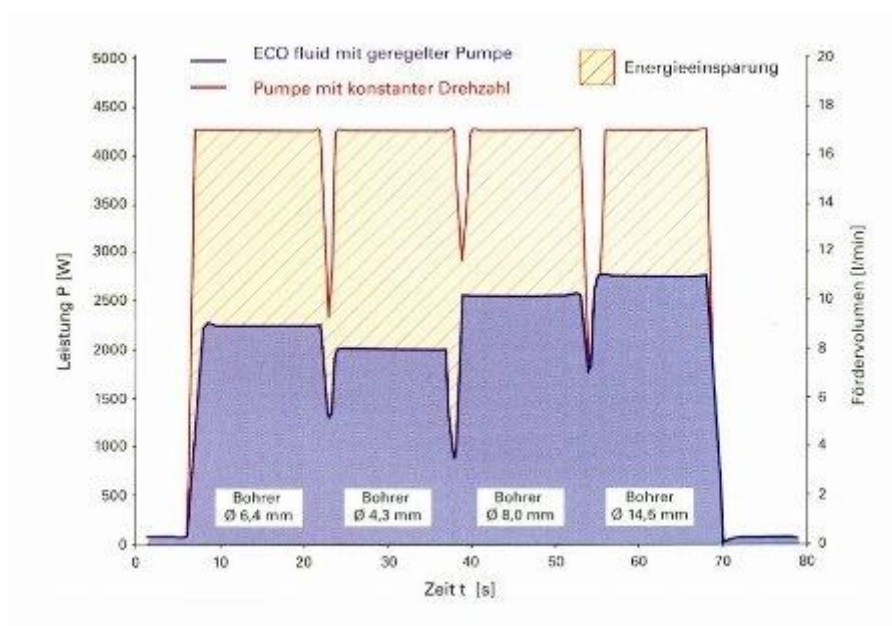
Nejvýznamnější úsporou v provozu střídavých elektromotorů je řízení otáček v závislosti na jejich aktuálním využití za pomoci frekvenčních měničů. Frekvenční měniče lze využívat u 1-fázových a 3-fázových asynchronních motorů s kontrolou zátěžového točivého momentu v závislosti na výstupní frekvenci. Regulaci lze provést za pomoci PID regulátoru, nebo integrací PLC do řídicího systému obráběcího stroje. Výhodami využití frekvenčních měničů jsou úspory až 60 % vůči konvenčnímu řešení. Díky plynulému spínání s frekvenčním řízením nedochází k proudovým rázům a negativním vibracím. [83][84]



FLUIDNÍ OKRUHY

Snížením energetické náročnosti až o 40 % od původního odběru lze docílit redukcí množství řezné kapaliny z důvodu propustnosti řezného nástroje. Optimalizaci lze provést za pomoci množství chladicí kapaliny s odpovídající velikostí nástroje a instalací frekvenčních měničů, které po té zajistí optimální řezné podmínky. Chlazení poskytuje prostor pro energetické a ekonomické úspory viz (Obr. 13). [76][77]

Progresivní metoda obrábění viz kapitola Cryogenické chlazení.



Obr. 13 Příkon agregátů (50 bar) – bez regulace a s frekvenční regulací [76]

PNEUMATICKÉ SYSTÉMY

Stlačený vzduch v pneumatických okruzích plní mnoho významných funkcí (ofuk pravítek, odměřování, přetlakové těsnění vřetene, ofuk nástrojového rozhraní vřetene, atp.), které vyžadují optimálně dimenzovaný kompresor a rozvody. Negativní vlastnosti vysokotlakových systémů jsou netěsnosti, ztráty rozvodem a vlivem chladnutí stlačeného vzduchu. Výrobní stroje nemusí využívat pro svůj chod stlačeného vzduchu popřípadě jen s minimálními nároky. Odměřovací pravítka od firmy Schneeberger nevyžadují ofuk pravítka. Těsnění vřetene nevyžaduje přetlakové těsnění stlačeným vzduchem, nebo jen minimální požadavky na dodávku vzduchu. [76]

AKUMULÁTORY HYDRAULICKÝCH SYSTÉMŮ

Hydraulické systémy u obráběcích strojů vytváří v okruhu nekontinuální průtok a lokální špičky, které minimalizuje akumulátor. V současnosti mohou být upínací jednotky nahrazeny



účinnějšími lineárními elektromotory a z tohoto důvodu mohou být výrobní stroje prosté hydraulických okruhů. [76]

REKUPERACE ENERGIE

Rekuperaci energie lze provádět frekvenčními měniči pohonů prostřednictvím stejnosměrného meziobvodu. Rekuperovaná energie může být dodávána do rozbíhajících se elektromotorů popřípadě přímo do sítě. Moduly schopné rekuperace vykazují nižší účinnost, avšak hodí se pro zastavení vřeten při výměně nástroje. Vyšší efektivnost je dána od určité frekvence až po zastavení vřetene. [76]

CHLAZENÍ STROJŮ

Chlazení komponentů výrobních strojů je dáno tzv. COP (koeficient účinnosti), který udává poměr chladícího výkonu ku příkonu. Nejefektivnějším způsobem chlazení je využití frekvenčně řízeného chladícího systému. V případě nižších teplot než je okolí je vhodné řešení náporový výměník s ventilátorem řízeným frekvenčním měničem. [76]

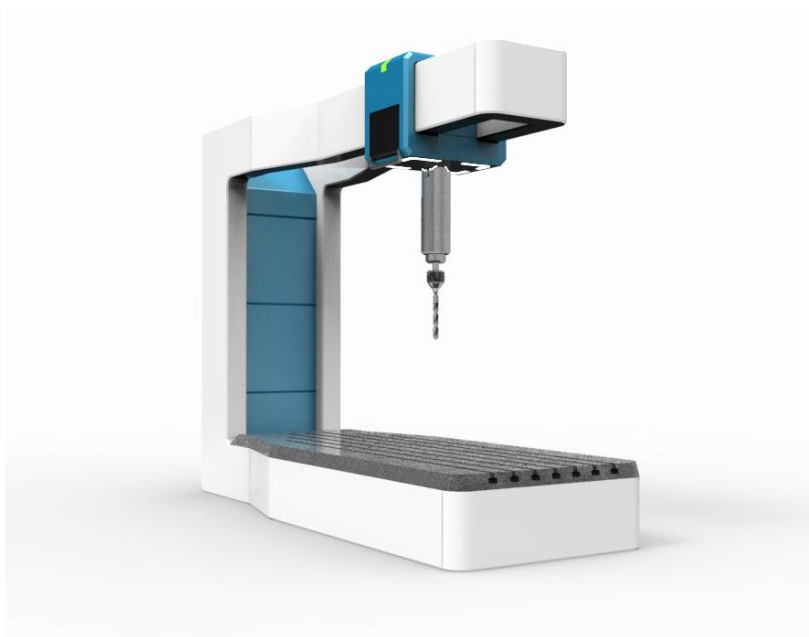


5 PRŮMYSLOVÝ DESIGN A ERGONOMIE VÝROBNÍCH STROJŮ

Design průmyslových výrobků ovlivňuje environmentální vlastnosti výrobků z podstaty tvarového, materiálového pojetí a konstrukce viz (Obr. 14). Ergonomické řešení zasahuje do uživatelské fáze životního cyklu výrobku.

5.1 PRŮMYSLOVÝ DESIGN

Průmyslový designér by neměl být pouze odborník v rámci estetiky, ergonomie, umění, ale také v procesu vývoje, organizace výroby, podnikových financích, marketingu, marketingových komunikacích, projektovém řízení a v implementaci designu. Jednou z opomíjených oblastí designu je environmentální design, který cílí na minimální negativní dopady na životní prostředí. Průmyslový designér za pomoci tvarového a barevného členění, dává jedinečný výraz navrhovaným výrobkům prostřednictvím zvolených materiálů. Optimálním výsledkem je minimalizování množství komponentů, jenž mají negativní environmentální dopady. Výrobky, které jsou produkovány z odpadních materiálů, jenž jsou zpětně zavedeny do řetězce výroby, snižují výslednou zátěž na životní prostředí. Při využití recyklátů klesají emise nebezpečných látek až o 50 % oproti zcela novým komponentům [98].



Obr. 14 Design radiální vrtačky [85]

5.2 VLIV ERGONOMIE

Ergonomie "vztah stroj-člověk" je významným faktorem, který ovlivňuje samotné užívání stroje, ale i bezpečnost a výkonnost daného zařízení či pracovníka.



Nařízení vlády 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení je zaměřeno na ergonomii, navrhování a konstruování strojních zařízení, kde musí být dbáno na snižování a odhadování rizik s cílem na zajištění ochranných opatření pro splnění ochrany zdraví při práci.

Ovládací zařízení na stanovišti obsluhy prostřednictvím technické či programové povahy musí být umístěny tak, aby nedocházelo k časovým ztrátám vlivem špatného umístění či nejasnosti použitých piktogramů, vytvářet nebezpečné situace, chyby v logice a neočekávaně uvádět stroje do chodu. Ovládací systémy umožňují bezpečné zastavení v rámci seřizování a údržby, poruchy či nehody stroje. Nepřímé vlivy, které působí na pracovníky strojů, jsou zejména emise nebezpečných materiálů, látek, vibrací, hluku a záření.

Nevhodně provedené a umístěné sdělovače a ovladače zvyšují energetickou spotřebu výrobních strojů (elektromotorů a ostatních komponentů) během samotného obrábění, přestavování či běhu stroje naprázdno. Ergonomické a bezpečnostní aspekty mají významnou roli v rámci uživatelské fáze životního cyklu výrobku. [86]

Analýzu a optimalizace výrobních či servisních operací je možné řešit za pomoci ergonomických softwarů viz (Obr. 15) jako je např. Tecnomatic Jack od společnosti Siemens [87].



Obr. 15 Náhled programového rozhraní Tecnomatic Jack [87]



6 ENERGETICKÁ NÁROČNOST PROVOZU VÝROBNÍCH STROJŮ

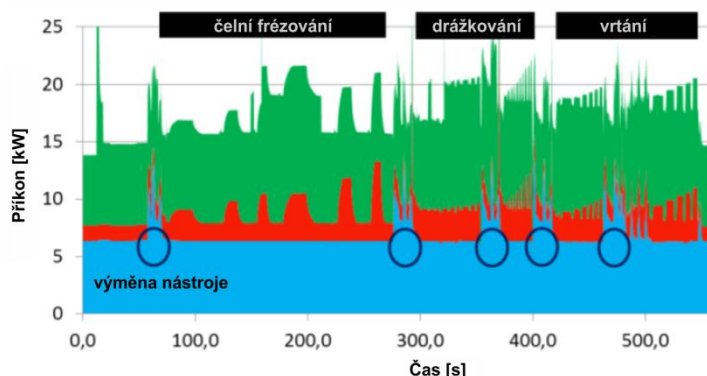
Energetickou náročnost jednotlivých výrobních strojů lze posoudit na definovaném obrobku ovlivněné velikostí výrobního stroje dle normy JIS TS B 0024:2010 viz (Kap. 3.3.1). Ze získaných dat je možné určit spotřebu elektrické energie na jednotlivých perifériích a na daný obráběcí proces (energie reálného stlačeného vzduchu je kalkulována při 6 barech a je stanovena na 30 W elektrického ekvivalentu na l/min [31][32]). Po celkovém vyhodnocení je možné provést cílenou optimalizaci pro snížení energetických požadavků výrobního stroje s dosažením jejich samoregulace. Společnost Mori Seiki navrhuje značení energetické účinnosti obráběcích strojů za pomoci energetického štítku, který udává příkon při stand-by režimu, tak i rotace včetně naprázdno. Toto značení obráběcích strojů by se mohlo stát zcela běžnou praxí. [31]

6.1 Kovosvit MAS

Model MCU630V-5X viz (Obr. 16) vykazuje nízký příkon pro NC pohony, avšak příliš vysoké jsou energie na stlačený vzduch určený pro čištění vřetene a pohonů. Snížením tlaku za pomoci redukčních ventilů došlo k celkovému snížení spotřeby o 18 %. [32]

Kovosvit MAS (Model: MCU630V-5X)

Faktor zvětšení obrobku 1, dle normy JIS TS B 0024:2010



Popis obráběcího stroje:

5-osé obráběcí centrum
462 l pracovní prostor
35 kW, 18 000 ot/min vřetene
110 kVA připojené napájení

Výsledky měření:

Celkový příkon 18,8 kW (100 %)
NC pohony 2,7 kW (14,4 %)
Periférie 9,1 kW (48,4 %)
Stlačený vzduch 7,0 kW (37,2 %)

■ Stlačený vzduch
■ NC pohony
■ Periférie

Obr. 16 Kovosvit MAS - posouzení dle normy JIS TS B 0024:2010 (upraveno) [32]



6.2 TAJMAC-ZPS

Vysoká spotřeba elektrické energie modelu TM 1250 viz (Obr. 17) byla detekována na periferiích stroje jako jsou celkové chlazení stroje, chlazení řezné kapaliny a hydraulické pumpy. Optimalizace spočívala v automatické hibernaci stroje při jeho nečinnosti, dovybavení pohonu chlazení frekvenčním měničem, spojením chladících okruhů do jednoho a osazením akumulátoru do hydraulického obvodu. Navržená opatření snížila celkovou spotřebu o 19,4 %. [32]

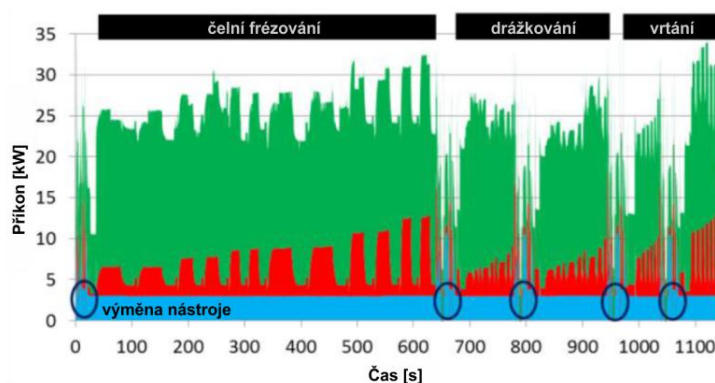
Tajmac-ZPS (Model: TM 1250)



Popis obráběcího stroje:

4-osé obráběcí centrum/soustružnické centrum
2 620 l pracovní prostor
48 kW, 6 500 ot/min včetně
100 kVA připojené napájení

Faktor zvětšení obrobku 2, dle normy JIS TS B 0024:2010



Výsledky měření:

Celkový příkon 23,8 kW (100 %)
NC pohony 4,0 kW (16,8 %)
Periférie 16,5 kW (69,3 %)
Stlačený vzduch 3,3 kW (13,9 %)

■ Stlačený vzduch
■ NC pohony
■ Periférie

Obr. 17 Tajmac-ZPS - posouzení dle normy JIS TS B 0024:2010 (upraveno) [32]

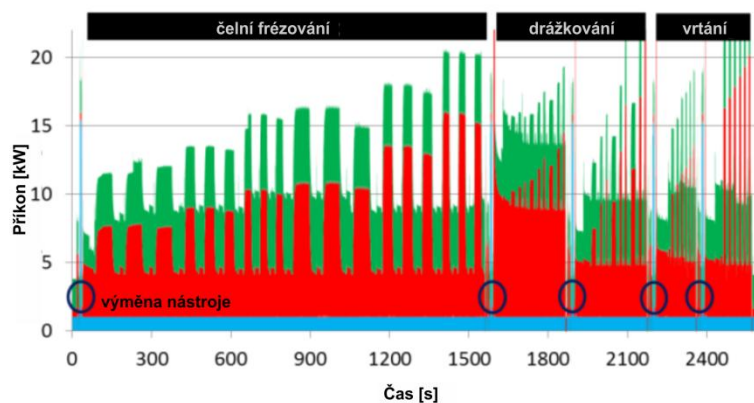
6.3 TOS VARNSDORF

Nejvyšší spotřebu modelu WHN13 CNC viz (Obr. 18) vykazovala periferie včetně. Opatření ke snížení spotřeby bylo nahrazení neefektivního asynchronního motoru včetně. Optimalizací bylo dosaženo 15,4% snížení celkové spotřeby elektrické energie. [32]



TOS Varnsdorf (Model: WHN13 CNC)

Faktor zvětšení obrobku 3, dle normy JIS TS B 0024:2010



Popis obráběcího stroje:

horizontální vyvrtávačka/obráběcí centrum
11 000 l pracovní prostor
46 kW, 3 200 ot/min vřetene
85 kVA připojené napájení

Výsledky měření:

Celkový příkon **12,0 kW (100 %)**
NC pohony **6,3 kW (52,5 %)**
Periférie **4,3 kW (35,8 %)**
Stlačený vzduch **1,4 kW (11,7 %)**

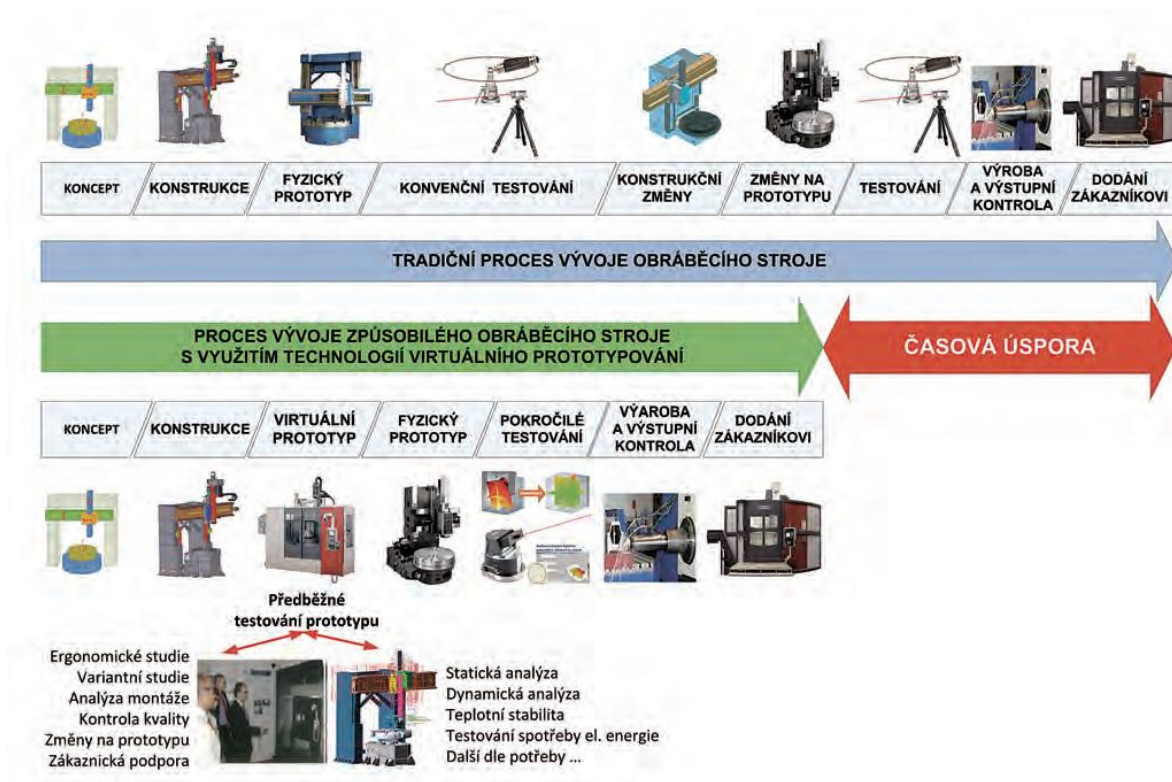
■ Stlačený vzduch
■ NC pohony
■ Periférie

Obr. 18 TOS Varnsdorf - posouzení dle normy JIS TS B 0024:2010 (upraveno) [32]



7 VIRTUÁLNÍ PROTOTYPOVÁNÍ A OPTIMALIZACE VÝROBNÍCH STROJŮ

Virtuální prototypování je interdisciplinární oblast, která vyžaduje odbornou znalost z mnoha oborů, která umožní výrobu konkurenceschopného zařízení. Současné trendy ve vývoji výrobních strojů kladou požadavky na kvalitu výroby a produktivitu práce z důvodu složitost výrobků, narůstající variabilitou a požadavkům na výrobu nestandardních zařízení. Dle dosavadních zkušeností lze uspořit více jak 50 % nákladů v rané fázi návrhu výrobku viz (Obr. 19). Nesmírnou výhodou je možnost ověření jak současného výrobku tak i nového ve více alternativách a pracovních scénářích. [88][89]



Obr. 19 Srovnání tradičního procesu vývoje s využitím virtuálního prototypu stroje [89]

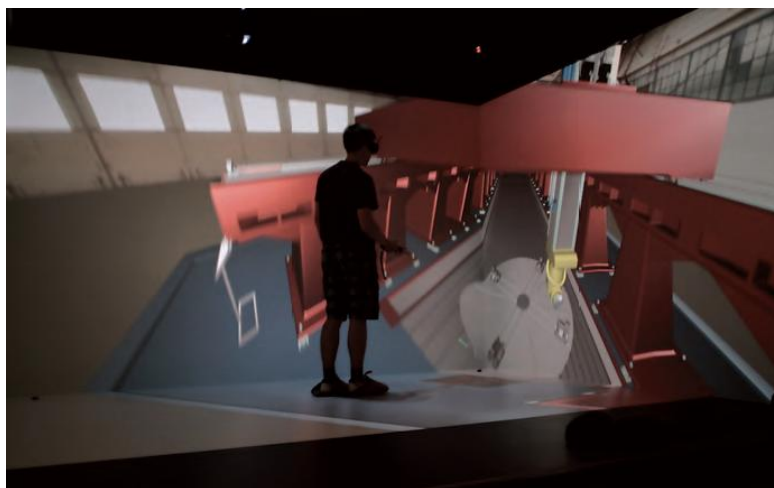
Postup transformace objektu pro virtuální prototypování:

- analýza objektu reálného světa
- transformace objektu do virtuálního světa
- transformace virtuálního objektu na fyzikální model
- stanovení simulačního (matematického) objektu

Počítačové simulace vyžadují matematické modely, které definují chování virtuálního objektu. Tyto modely mohou být součástí CAD softwaru, popřípadě využít jiných metod jako je MKP (SIMULINK) či MBP (ANSYS).



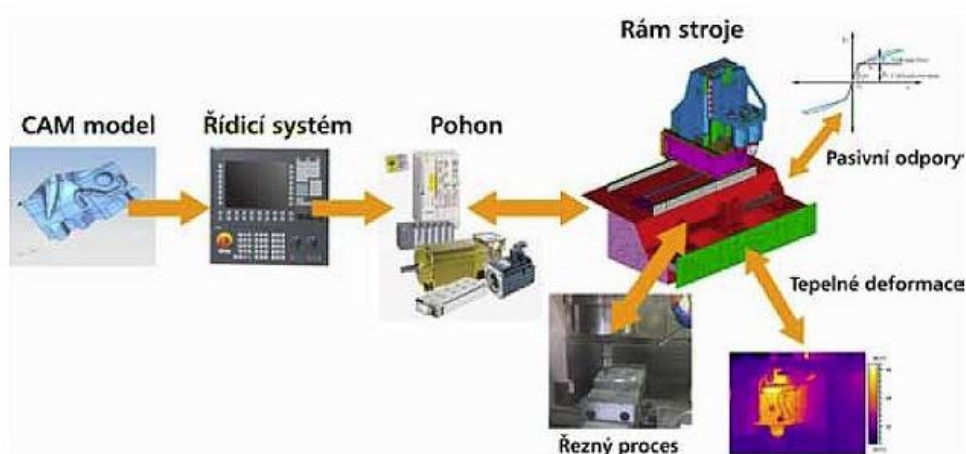
Nejpokročilejším prostředím pro virtuální prototypování v rané fázi návrhu výrobku je využití virtuální reality popřípadě rozšířené virtuální reality viz (Obr. 20). Virtuální realita poskytuje mnoho cenných informací jako je detekce kolizí, ergonomické a bezpečnostní problémy, vývojové chyby, zkracovat vývojový čas, prezentace výrobků, vizuální zaškolení obsluhy, vykreslení pohybových drah, ale zejména interakce s výrobkem v reálném měřítku. [82][89]



Obr. 20 Virtuální realita karuselu v NetMe Centra FSI VUT Brno [89]

7.1 VIRTUÁLNÍ MODELY STROJŮ

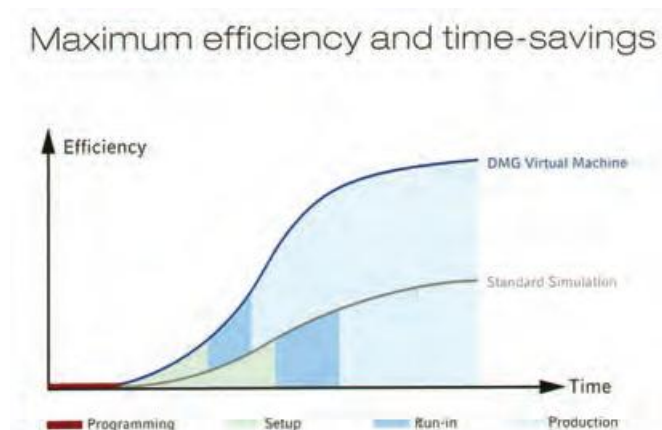
Virtuální modely strojů reflektují dynamické a statické vlastnosti stroje, avšak nemusí obsahovat dynamické chování např. pasivní odpory, vnější silové vlivy, vliv zrychlení pohybujících se hmot atp. Pro komplexní analýzu musí modely MKP propojit nosné části rámu s pohony a řízením a zohlednit pasivní odpory, tepelné deformace a vlivy rezného nástroje. Vhodně sestavené modely viz (Obr. 21) dovolí predikovat chování zařízení, zvyšovat výkonnost a z toho důvodu snížit negativní dopady na uživatelskou fázi životního cyklu výrobku. [82][90]



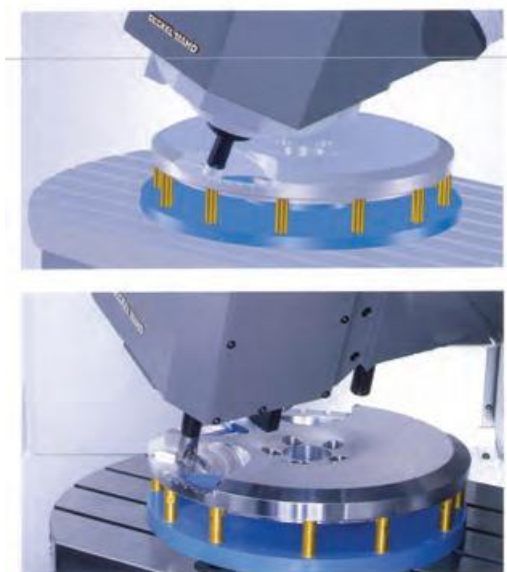
Obr. 21 Postup posouzení virtuálního modelu stroje [90]

7.1.1 DMG VIRTUAL MACHINE

Software DMG Virtual Machine poskytuje simulaci kinematických a dynamických os obráběcího stroje, kontinuálního odebrání materiálu a uchycení obrobku. Programový nástroj je schopen snížit neproduktivní časy, sledovat kolizní situace a programové chyby v NC kódu obrobku bez nutnosti využití energetických požadavků fyzického stroje s omezením rizik jeho možného poškození viz (Obr. 22 a Obr. 23). Prostřednictvím softwaru lze provádět optimalizaci NC kódu se zachováním kompatibility CNC zařízení a CAM programy. Predikci komplexních či dílčích obráběcích časů je možné získat v součinnosti s PLC a simulací obráběcích procesů s 99,9 % shodou s realními podmínkami. Získání požadovaných úprav je možné simulovat v reálných časových podmínkách nebo za pomoci zkrácení výpočtového času obrábění s predikcí až 70 % se skutečným časem. [75][90][91]



Obr. 22 Graf porovnání účinnosti simulací [75]



Obr. 23 Porovnání simulace a skutečného obrábění [75]

7.1.2 SIEMENS VIRTUAL MACHINE

Společnost Siemens vytvořila "Virtual machine" pro simulování dráhového řízení pohybových os stroje CNC, který je vybaven uživatelským rozhraním SINUMERIK HM pro výpočty úběru materiálu a kolizních stavů. Za pomoci VNCK je možné určit dynamické vlastnosti stroje. Nástroj umožňuje realistické simulace obráběcího procesu a v případě propojení modelu stroje a jádra skutečného řídicího systému je možné získávat odhady časových požadavků na obrábění. Výhodou simulace je kontrola programovacích chyb a významně zredukovat požadavky na přípravu výroby. [75]

7.1.3 PROCESS SIMULATE

Simulační nástroj od společnosti Siemens PLM pro ověřování 3D procesů strojů, výrobních linek či jednotlivých pracovních uzlů. Umožňuje ověřit funkci stávajících nebo nově vyvíjených zařízení s důrazem na simulaci člověka, robotů nebo montážních operací. [92][93]

Postup při aplikaci Process Simulate:

- vytvoření nové studie
- vložení 3D geometrie
- definice kinematiky
- vytvoření jednotlivých operací
- nadefinování signálů/senzorů
- nadefinování posloupnosti (sekvence) operací
- testování a verifikace operací (kontrola dosažitelnosti, kolizí atp.)



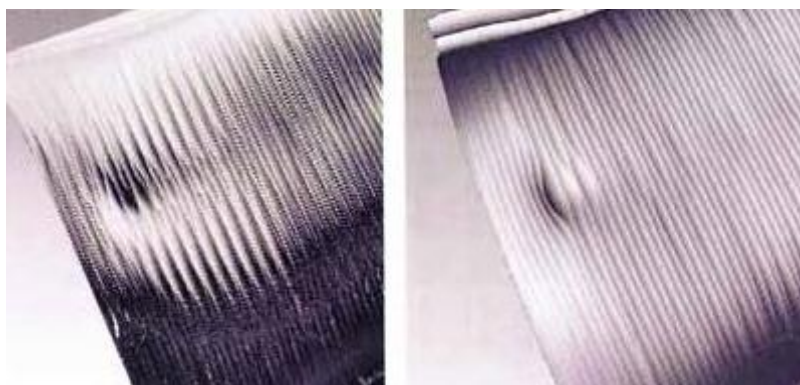
Komponenty průmyslové automatizace je možné připojit přes jednotku PLC pro virtuální testování zařízení, díky tomu můžeme zkrátit a omezit nevhodné chování navržených/optimalizovaných strojů. [92]

7.2 VERIFIKACE DRÁHY A OPTIMALIZACE

Optimalizační nástroje pro simulaci obráběcího procesu nezlepšují pouze samotné operace obrábění včetně kolizních stavů, ale také umožní uspořit nemalé finanční prostředky s malým úsilím. Ve spolupráci s virtuálním jádrem CNC systému lze analyzovat řízení pohonů, kvalitu NC dat a parametrů CNC. Simulace obráběcího procesu je možné rozšířit o dynamické chování kmitání od pohonů, od vnějších buzení nebo změn komponentů stroje.

Vizualizace simulací prostřednictvím např. Visi Virtual Machine nebo RCMT. RCMT umožňuje zobrazit kvalitu obrobených ploch viz (Obr. 24), geometrické odchylky povrchu a samotné dráhy po stopách nástroje. Optimalizaci lze provádět za pomoci nastavení vhodných parametrů dráhového řízení, které jsou způsobeny dynamickými vlivy (vibrace pohybových os) s cílem zpřesnění obráběcího procesu.

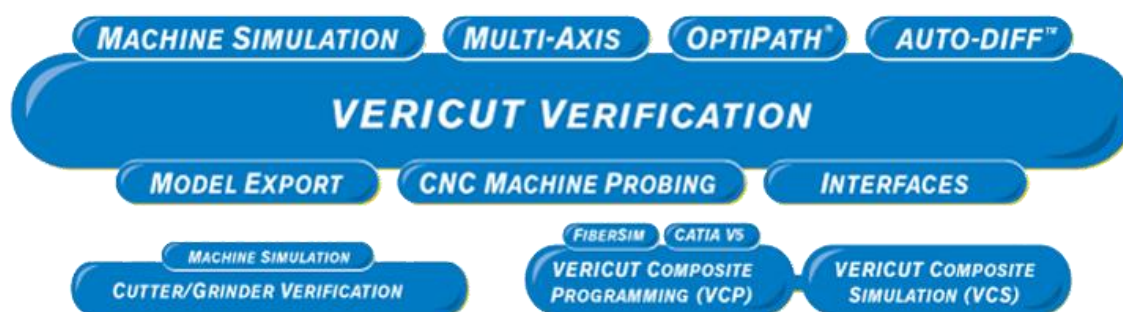
Speciální verifikační nástroje jsou schopny zamezit poškození nástroje, zvyšují výkon a chrání samotný obrobek. [90][94][95]



Obr. 24 Zobrazení skutečného (vlevo) a simulovaného povrchu (vpravo) [90]

7.2.1 VERICUT

Modulový systém Vericut je určen pro simulaci obráběcích procesů, které nezatěžují výrobní kapacitu stroje viz (Obr. 25). Vericut je možno integrovat do CAM systémů a je schopno simulovat obráběcí stroje významných výrobců jako je Makino, DMG/ Mori Seiki, Okuma a Mazak. [94]



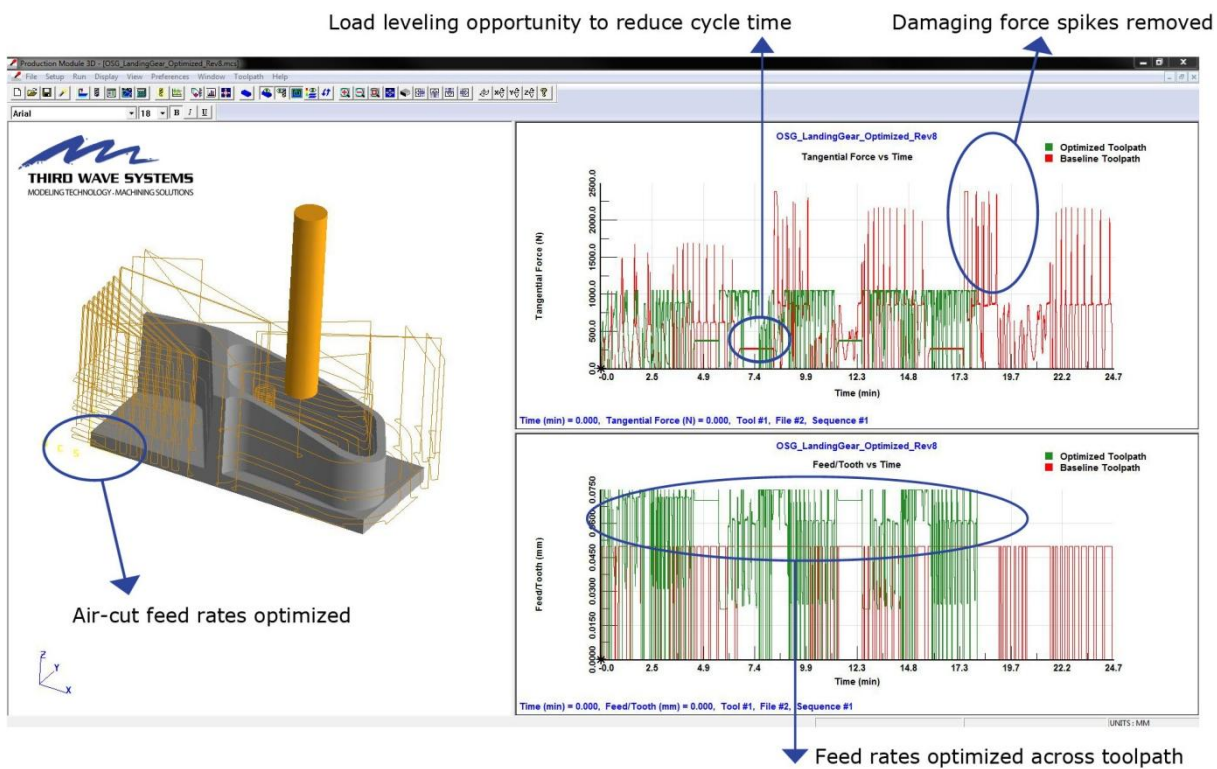
Obr. 25 Moduly systému Vericut [94]

Důležité moduly systému Vericut [96]

- Machine Simulation (simulace limitů stroje, obrábění, kolize)
- Multi-Axis (simulace 4 a 5 osé vrtání, soustružení, frézování, mill/turn operace)
- OptiPath (NC optimalizace)
- Auto-Diff (detekce konstrukční vs. simulační model)
- Vericut verification (simulace úběru materiálu dle NC kódu)

7.3 SIMULACE ŘEZNÝCH SIL

Společnost AdvantEdge představila nástroj Production Modul, který v kombinaci s optimalizací dráhového řízení a simulací řezných sil. Tento modul zohledňuje aktuální skutečný průnik nástroje do obráběného dílce v uživatelem zvoleném výpočetním kroku viz (Obr. 26). Lze také definovat charakteristiky stroje, typ nástroje, druh obráběného materiálu, CAD/CAM data geometrii obrobku. Je možné importovat dráhy nástroje ze softwaru Vericut viz (Kap. 7.2.1) a také časy na jejich výměnu ze softwaru MetaMAX. [75]



Obr. 26 Graf silového zatížení nástroje (nahore), výšky odebíraného materiálu (dole) [97]



ZÁVĚR

Z důvodu stále se zhoršujícího se stavu globálního klimatu je nutné regulovat znečištění životního prostředí na nadnárodní úrovni. Tato regulace je prováděna pomocí Kjótského a navazujícího Pařížského protokolu, který zavazuje národy světa k omezení skleníkových plynů, které jsou emitovány při výrobě elektrické energie tak i jejího užívání.

Evropská unie hlouběji integruje nadnárodní úmluvy v oblasti ochrany klimatu do svých směrnic a nařízení. Směrnice 2009/125/ES, která je zaměřena na ecodesign výrobků spojených se spotřebou, bude přepracována prováděcí metodikou MEErP. Požadavky na energeticky šetrné výrobky (elektromotory, transformátory, ventilátory, čerpadla a osvětlení) jsou zakotveny v ostatních nařízeních/směrnících EU. Od roku 2017 budou rozšířeny požadavky na energeticky účinné elektromotory s frekvenčními měniči, jelikož současný podíl spotřeby elektrické energie v průmyslu tvoří 70 %.

Pro posouzení celkového dopadu výrobků/služeb na životní prostředí slouží nástroj LCA norma EN ISO 14044:2006, která je schopna posoudit celý životní cyklus výrobku od "kolébky po hrob" nebo jen v určitých fázích. V současné době existuje mnoho nástrojů, které jsou založeny na LCA tak i na jiných metodikách a poskytují očekávanou úroveň výstupu. Problém využívání komplexní metodiky LCA je časová náročnost, nákladné zaškolení, nutná hluboká znalost procesů výroby, těžby surovin, transportu, užívání a recyklace.

Největší podíl na negativní dopad na životním prostředí má uživatelská fáze výrobních strojů, což je dáno účelem jejich využití. Snižováním energetických požadavků se aktivně zabývají samotní výrobci z důvodu legislativních požadavků a certifikace CE, tak i mezinárodní asociace (CECIMO), výzkumnými organizacemi (VCSVTT) a národní svazy (SST), kterými jsou zpravidla členy.

Je možné porovnat jednotlivé vstupy energií dle obráběného procesu na výrobu definovaného dílce dle JIS TS B 0024-1:2010 a zvolit následnou optimalizaci stroje. Možnost porovnání energetické náročnosti vede k budoucímu štítkování výrobních strojů i přes jejich rozmanité koncepce a způsoby obrábění.

Snahou výrobců z hlediska konstrukce je omezení teplotních deformací, šíření vibrací, deformací nosné konstrukce (dílčích částí), které vedou k dosažení požadovaných přesností výrobního stroje. Významných finančních úspor je možné dosáhnout virtuálním prototypováním, simulací obráběcího procesu, které zabraňuje vzniku kolizí nástroje, popřípadě poškozením obráběcího stroje. Optimalizační nástroje jsou schopny verifikovat, simulovat a optimalizovat dráhové řízení včetně řezných sil. Úspor lze také docílit vhodnou ergonomií. Budoucnost výrobních strojů je v jejich samoregulaci.

Zaváděním nových technologií chlazení řezného procesu, aditivní technologie výroby nástrojů a využíváním kompozitů snižují energetické požadavky při užívání výrobních strojů.

Je nutné také pamatovat, že nejenom samotná výroba a uživatelská fáze výrobních strojů znečišťují životní prostředí, ale i materiálové složení výrobků, které lze snížit důslednou recyklací.



SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1 Rozdělení výrobních strojů [3].....	12
Obr. 2 Globální produkce výrobních strojů v letech 1992 - 2014 [6]	13
Obr. 3 Normovaný obrobek dle JIS TS B 0024-1:2010 - zvětšení 2 [32].....	20
Obr. 4 Schéma metodického postupu dle ISO 14955-1:2014 [33].....	21
Obr. 5 Schéma životního cyklu produktu podle LCA [37]	23
Obr. 6 LiDS Wheel [46]	26
Obr. 7 10 Golden Rules zobrazeno v životním cyklu výrobku [47].....	27
Obr. 8 ACLOND holistický rámec [58]	31
Obr. 9 Prototyp nosné části od firmy Fatronik [66]	34
Obr. 10 Efekt cryogenického chlazení na množství odebraného materiálu [73].....	35
Obr. 11 Graf optimalizace dráhového řízení při frézování [76].....	36
Obr. 12 Energetická náročnost obráběcího stroje [82]	37
Obr. 13 Příkon agregátů (50 bar) – bez regulace a s frekvenční regulací [76].....	38
Obr. 14 Design radiální vrtačky [85].....	40
Obr. 15 Náhled programového rozhraní Tecnomatic Jack [87]	41
Obr. 16 Kovosvit MAS - posouzení dle normy JIS TS B 0024:2010 (upraveno) [32].....	42
Obr. 17 Tajmac-ZPS - posouzení dle normy JIS TS B 0024:2010 (upraveno) [32].....	43
Obr. 18 TOS Varnsdorf - posouzení dle normy JIS TS B 0024:2010 (upraveno) [32]	44
Obr. 19 Srovnání tradičního procesu vývoje s využitím virtuálního prototypu stroje [89]	45
Obr. 20 Virtuální realita karuselu v NetMe Centra FSI VUT Brno [89].....	46
Obr. 21 Postup posouzení virtuálního modelu stroje [90].....	47
Obr. 22 Graf porovnání účinnosti simulací [75].....	47
Obr. 23 Porovnání simulace a skutečného obrábění [75].....	48
Obr. 24 Zobrazení skutečného (vlevo) a simulovaného povrchu (vpravo) [90]	49
Obr. 25 Moduly systému Vericut [94].....	50
Obr. 26 Graf silového zatížení nástroje (nahore), výšky odebíraného materiálu (dole) [97]...51	



SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Výběr indikátorů OPM dle typu materiálu/procesu [37].....	24
Tab. 2 Matice MET (upraven) [45]	25
Tab. 3 Matice MECO [48].....	28
Tab. 4 Ukázka nástroje KEPI na mobilním telefonu [44]	29
Tab. 5 Matice užití (horní tabulka) a Matice výroby (dolní tabulka) [53]	30



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] OBSAH. *Úvodní stránka | KVS* [online]. Liberec, 2011 [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobni_stroje/obrabeci.pdf
- [2] REMTOVÁ, Květa. *Ekodesign* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2003, 15 s. [cit. 2015-12-20]. ISBN 80-721-2230-4. Dostupné z: [http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/MZPAPFIVNKW4/\\$FILE/ekodesign%20Remtova.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/MZPAPFIVNKW4/$FILE/ekodesign%20Remtova.pdf)
- [3] MAŇAS, Stanislav. *VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ: TVÁŘECÍ STROJE. ČVUT Fakulta strojní* [online]. Praha, 2007 [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf
- [4] SCHISCHKE, Karsten. *Energy-Using Product Group Analysis - Lot 5: Machine tools and related machinery* [online]. Berlin, 2012 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: http://www.ecomachinetools.eu/typo/reports.html?file=tl_files/pdf/EuP_LOT5_Executive_Summary_August2012_Final.pdfF47ZdxEoSbZuVUocvZM-1stwrSFg
- [5] Study on COMPETITIVENESS OF THE EUROPEAN MACHINE TOOL INDUSTRY. *Cecimo Where manufacturing begins* [online]. 2011 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: http://www.cecimo.eu/site/fileadmin/Publications/Studies_and_Reports/Study_on_Competitiveness_of_the_European_Machine_Tool_Industry_-_December_2011.pdf
- [6] Global production value of machine tools from 1992 to 2014 (in billion euros). *Statista - The Statistics Portal for Market Data, Market Research and Market Studies*: [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.statista.com/statistics/264211/world-production-of-machine-tools/>
- [7] Kjótský protokol o změně klimatu. *EUR-Lex* [online]. 2011 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=URISERV:l28060&from=CS>
- [8] KJÓTSKÝ PROTOKOL K RÁMCOVÉ ÚMLUVĚ ORGANIZACE SPOJENÝCH NÁRODŮ O ZMĚNĚ KLIMATU. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2008 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kjotsky_protokol/\\$FILE/OMV-cesky_protokol-20081120.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kjotsky_protokol/$FILE/OMV-cesky_protokol-20081120.pdf)
- [9] Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2015 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol
- [10] KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. *United Nations Treaty Collection* [online]. 2012 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2012/CN.718.2012-Eng.pdf>
- [11] Kjótský protokol se prodlouží do roku 2020, ale bez Kanady a Japonska. *Zprávy iDNES.cz - Přehled nejnovějších událostí z domova i ze světa* [online]. 2012 [cit. 2016-01-



- 03]. Dostupné z: http://zpravy.idnes.cz/prodlouzeni-kjotsky-protokol-o-snizovani-emisi-do-roku-2020-pau-/zahranicni.aspx?c=A121208_174446_zahranicni_brm
- [12] Na konferenci o klimatu v Dohá se učinil mírný krok vpřed k dosažení celosvětové dohody o klimatu do roku 2015. *EUROPA - European Union website, the official EU website* [online]. 2012 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-1342_cs.htm
- [13] Klimatická konference v Paříži 2015 (COP21). *Evropská unie - portál o EU | EurActiv.cz* [online]. 2015 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.euractiv.cz/print-version/link-dossier/klimaticka-konference-v-parizi-2015-cop21-000137>
- [14] ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT. *Climate Change Newsroom from the UNFCCC* [online]. 2015 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>
- [15] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/125/ES. *EUR-Lex* [online]. 2009 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=CS>
- [16] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2010/30/EU. *EUR-Lex* [online]. 2010 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32010L0030>
- [17] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/27/EU. *ERÚ - Domovská stránka* [online]. 2013 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/463070/27_2012_konsolidovane/25d2290d-08e5-48f3-8b01-25ff752b5916
- [18] NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 640/2009. *EUR-Lex* [online]. 2009 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0640>
- [19] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 4/2014. *EUR-Lex* [online]. 2014 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0004>
- [20] NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 641/2009. *EUR-Lex* [online]. 2009 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0641>
- [21] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 622/2012. *EUR-Lex* [online]. 2012 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0622>
- [22] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 327/2011. *EUR-Lex* [online]. 2011 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0327>



- [23] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 547/2012. *EUR-Lex* [online]. 2012 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0547>
- [24] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1194/2012. *EUR-Lex* [online]. 2012 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R1194>
- [25] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 548/2014. *EUR-Lex* [online]. 2014 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0548>
- [26] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1980/2000. *EUR-Lex* [online]. 2000 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000R1980&from=CS>
- [27] *EUR-Lex* - 32002L0095 - CS. *EUR-Lex* [online]. 2003 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0095:cs:HTML>
- [28] *EUR-Lex* - 32002L0096 - CS. *EUR-Lex* [online]. 2003 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0096:cs:HTML>
- [29] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/121/ES. *BOZP info* [online]. 2006 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: http://www.bozpinfo.cz/priloha/reach_cz_smernice
- [30] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1907/2006. *EUR-Lex* [online]. 2007 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:136:0003:0280:cs:PDF>
- [31] Ekodesign výrobních strojů. *Úvod* [online]. 2012 [cit. 2016-01-06]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/ekodesign-vyrobnich-stroju.html>
- [32] HOLKUP, Tomáš, Jiří VYROUBAL a Jan SMOLIK. 4.1 Improving energy efficiency of machine tools. In: *Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Innovative Solution*. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, 2013, s. 125-130. ISBN 978-3-7983-2609-5
- [33] WEISS, Lukas. Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen– Der schwierige Weg zur Entwicklung der Normenreihe ISO 14955. 3. *Wiener Produktionstechnik Kongress ADAPTIVE & SMART MANUFACTURING* [online]. Wien, 2014 [cit. 2016-01-06]. Dostupné z: http://www.produktionstechnik.at/fileadmin/wpk/doc/2014_Vortraege/4b_Werkzeugmaschinen/4_Energieeffizienz_von_Werkzeugmaschinen.pdf
- [34] Comparison of Machine Tools Regarding Energy – The Difficult Path to an Energy Label. WITTSTOCK, Volker a Jörg PAETZOLD. *Qucosa: Startseite* [online]. 2013 [cit. 2016-01-06]. Dostupné z: http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/10906/2-19_Comparison_of_Machine_Tools.pdf



- [35] Methodology for Ecodesign of Energy - related Products: MEErP 2011. *Welcome to VHK* [online]. 2011 [cit. 2016-01-08]. Dostupné z: <http://www.vhk.nl/downloads/473/MEErP%20Methodology%20Part%201%20Final.pdf>
- [36] ISO 14044:2006. *Environmental management - Life Cycle Assessment- Requirements and guidelines*. 1. Dublin: NSAI, 2006. Dostupné také z: <https://www.bae.uky.edu/montross/bae506/ISO%20EN%2014044-2006.pdf>
- [37] Inovace výrobků a jejich systémů: Přehled metodiky analýzy inovačního potenciálu výrobků a služeb s diskusními otázkami. *Aktuality | Eko-Net CIR* [online]. 2004 [cit. 2016-01-08]. Dostupné z: <http://eko-net.cir.cz/prirucka-inovace-vyrobku-s-vyuzitim-lca/485362/lca.pdf>
- [38] BOVEA, M.D. a V. PÉREZ-BELIS. A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. *Journal of Cleaner Production*. 2012, 20(1), 61-71. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.07.012. ISSN 09596526. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652611002538>
- [39] BEY, Nouredine Yahya. Environmental assessment - Gotten across to industrial designers. In: PROGRAMME CHAIRS: MOGENS MYRUP ANDREASEN, Herbert Birkhofer and Dorian Marjanovic a editor Dorian MARJANOVIC. *Proceeding of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17, 2002, Cavtat - Dubrovnik - Croatia*. Zagreb, Croatia: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2002, s. 1293-1298. ISBN 9536313456. Dostupné také z: https://www.designsociety.org/publication/29732/environmental_assessmentgotten_across_to_industrial_designers
- [40] KNIGHT, Paul a James O. JENKINS. Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective. *Journal of Cleaner Production*. 2009, 17(5): 549-558. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.10.002. ISSN 09596526. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652608002515>
- [41] SOPHIE HALLSTEDT. *A foundation for sustainable product development*. Karlskrona: Department of Mechanical Engineering, Blekinge Institute of Technology, 2008. ISBN 978-917-2951-365
- [42] MALÝ, Karel. *Životní cyklus průmyslových podlah v zemědělství a lesnictví*. Brno, 2010. Dostupné také z: http://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=29928;zp=29733;download_prace=1. Disertační práce. MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
- [43] VALLET, Flore, Benoît EYNARD, Dominique MILLET, Stéphanie Glatard MAHUT, Benjamin TYL a Gwenola BERTOLUCI. Using eco-design tools: An overview of experts' practices. *Design Studies*. 2013, 34(3): 345-377. DOI: 10.1016/j.destud.2012.10.001. ISSN 0142694x. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142694X12000634>
- [44] ECO-DESIGN TOOLS - Indicators | Eco-3e. *Eco-3e* [online]. 2016 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://eco3e.eu/toolbox/indicators/>



- [45] MET Matrix. *Site off-line / Locus Research* [online]. 2008 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: http://locusdev.co.nz/sites/default/files/METMatrix_OnlineTemplate.xls
- [46] Focus 3: EMS and EIA: Topic 7: Life Cycle Analysis: Introduction and Background. *RMIT University / Melbourne / Australia* [online]. 2016 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: https://www.dlswb.rmit.edu.au/conenv/envi1128/focus3/f3_t7_q37.htm
- [47] LUTTROP, Conrad a Jessica LAGERSTEDT. EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. *Journal of Cleaner Production*. 2006, 14(15-16), 1396-1408. DOI: 10.1016/j.jclepro.2005.11.022. ISSN 09596526. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652605002556>
- [48] Eco-Design: Principles of Eco-Design. *Eco-Design / Principles of Eco-Design* [online]. 2014 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: <https://yuentsunwing.wordpress.com/2014/03/14/meco-matrix/>
- [49] HOCHSCHORNER, Elisabeth. *Life cycle thinking in environmentally preferable procurement* [online]. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2008 [cit. 2016-01-10]. ISBN 978-917-1789-105. Dostupné z: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:13528/FULLTEXT01.pdf>
- [50] SCHMIDT-BLEEK, Friedrich. The Factor 10/MIPS-Concept: Bridging Ecological, Economic, and Social Dimensions with Sustainability Indicators. In: *United Nations University* [online]. 1999 [cit. 2016-01-10]. ISSN 1609-493X. Dostupné z: <http://archive.unu.edu/zef/publications-e/ZEF-EN-1999-03-D.pdf>
- [51] NOWOSIELSKI, R., M. SPILKA a A. KANIA. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* [online]. 2007, 23(1), 91-94 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: http://www.journalamme.org/papers_vol23_1/1188.pdf
- [52] SINGHAL, Pranshu, Salla AHONEN, Gareth RICE, Markus STUTZ, Markus TERHO a Hans VAN DER WEL. Key Environmental Performance Indicators (KEPIs): A new approach to environmental assessment. In: *International Congress and Exhibition on Electronics Goes Green 2004+*. Berlin: Fraunhofer IRB Verlag, 2004, s. 697 - 702. Dostupné také z: http://www.lcaforum.ch/Portals/0/DF_Archive/DF27/Stutz2KEPIPaper2004.pdf
- [53] Input output analýza. Úvod | *Databáze vysokoškolských kvalifikačních prací zaměřených na LCA* [online]. 2016 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: <http://vskp.vsb.cz/oblast-ioa/>
- [54] Ecodesign - ecological design. *EcoLAN - Environmental Engineering and Consultancy* [online]. 2008 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: <http://www.ecolaningenieria.com/en/environmental-engineering/ecodesign>
- [55] A Guide for EcoDesign Tools: 2nd Edition, August 2005. *Latest EcoDesign Developments* [online]. 2005 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z:



- <http://www.ecodesignarc.info/servlet/is/203/A%20Guide%20for%20EcoDesign%20Tools%202nd%20edition.pdf?command=downloadContent&filename=A%20Guide%20for%20EcoDesign%20Tools%202nd%20edition.pdf>
- [56] WIMMER, W., R. ZÜST a Ch. STRASSER. The Application of the ECODESIGN PILOT and Methodical Support for the Implementation of ECODESIGN in Products. In: *Proceeding of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17, 2002, Cavtat - Dubrovnik - Croatia*. Zagreb, Croatia: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2002, s. 1357-1364. ISBN 9536313456. Dostupné také z: https://www.designsociety.org/download-publication/29741/the_application_of_the_ecodesign_pilot_and_methodical_support_for_the_implementation_of_ecodesign_in_products
- [57] Environmental evaluation methods: Toxic Potential Indicator (TPI). *Willkommen - Fraunhofer IZM* [online]. 2014 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: http://www.izm.fraunhofer.de/en/abteilungen/environmental_reliabilityengineering/key_research_areas/environmental_assessmentandeco-design/toxic-potential-indicator--tpi-.html
- [58] KOTA, Srinivas a Amaresh CHAKRABARTI. ACLODS – A holistic framework for environmentally friendly product lifecycle design. In: *Global Product Development*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, s. 137-146. DOI: 10.1007/978-3-642-15973-2. ISBN 978-3-642-15972-5. Dostupné také z: http://www.cpdm.iisc.ernet.in/ideaslab/paper_scans/UID_83.pdf
- [59] Historie | Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii. *Ústav výrobních strojů a zařízení | Ú12135* [online]. 2016 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.rcmt.cvut.cz/o-nas/cz/historie>
- [60] VCSVTT - detašované pracoviště na FST. *Fakulta strojní* [online]. 2016 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <https://www.fst.zcu.cz/pro-partnery/nabizime-pro-partnery-FST/nabidka-kateder-pracovist-FST/nabidka-VCSVTT-FST.html>
- [61] ČASOPIS SVAZU STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. *Svaz strojírenské technologie* [online]. 2013 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: http://www.sst.cz/images/soubory/svet_stroj_tech201303_complete.pdf
- [62] *CECIMO Where manufacturing begins* [online]. 2016 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.cecimo.eu/site/>
- [63] Představení Svazu strojírenské technologie - SST. *Svaz strojírenské technologie* [online]. 2016 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://sst.cz/index.php/cs/o-svazu>
- [64] Blue Competence a výrobní stroje. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2014 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/blue-competence-a-vyrobnni-stroje.html>
- [65] V konstrukci obráběcích strojů přichází druhá revoluce. *TT | Technický týdeník* [online]. 2014 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z:



- http://www.technickytydenik.cz/rubriky/prumysl/v-konstrukci-obrabecich-stroju-prichazi-druha-revoluce_28550.html
- [66] ZULAIKA, Juanjo a Francisco Javier CAMPA. New Concepts for Structural Components. *Machine Tools for High Performance Machining*. London: Springer London, 2009, , 47-63. DOI: 10.1007/978-1-84800-380-4_2. ISBN 978-1-84800-379-8. Dostupné také z: http://link.springer.com/10.1007/978-1-84800-380-4_2
- [67] Y. LIANG, Steven a Albert J. SHIH. Machine Tool Components. In: *Analysis of Machining and Machine Tools*. Boston, MA: Springer US, 2016, s. 63-94. DOI: 10.1007/978-1-4899-7645-1. ISBN 978-1-4899-7643-7. Dostupné také z: <http://www.springer.com/us/book/9781489976437>
- [68] Funkčnost a ergonomičnost v progresivním nadčasovém designu. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2015 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/funkcnost-a-ergonomicnost-v-progresivnim-nadcasovem-designu.html>
- [69] Obráběcí stroje vyrobené z kompozitů. *TT | Technický týdeník* [online]. 2015 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-inovace/obrabeci-stroje-vyrobene-z-kompozitu_33264.html
- [70] PM-600. *Okuma | CNC Machine Tools | CNC Controls | Global* [online]. 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.okuma.com/pm-600>
- [71] Nové kinematické struktury strojů. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2001 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-kinematicke-struktury-stroju.html>
- [72] HADYNA, Daniel. Obrábění, frézování, vrtání, broušení průmyslovým robotem. *Hadyna - International, Ostrava* [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2009-2_Obrabeni%20robotem.pdf
- [73] CORDES, Susanne, Fabian HÜBNER a Thomas SCHAARSCHMIDT. Next Generation High Performance Cutting by Use of Carbon Dioxide as Cryogenics. *Procedia CIRP*. 2014, 14, 401-405. DOI: 10.1016/j.procir.2014.03.091. ISSN 22128271. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827114002340>
- [74] Walter wins Innovation Prize. *Walter Tools - Engineering Kompetenz for turning, holemaking, milling and threading solutions* [online]. 2013 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: http://www.walter-tools.com/en-gb/press/press_lounge/pages/emo-award-2013.aspx
- [75] SULITKA, Matěj, Jiří ŠVÉDA, Martin MAREŠ a Otakar HOREJŠ. Virtuální prototypování. *Společnost pro obráběcí stroje* [online]. 2009 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.czspos.cz/akce/20100225.emo2009/22_virtualni_prototypovani.pdf
- [76] Energeticky úsporné výrobní stroje. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM* [online]. 2012 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/energeticky-uspornе-vyrobni-stroje.html>



- [77] Ecodesign - cesta k efektivní výrobě a technologiím. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2012 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ecodesign-cesta-k-efektivni-vyrobe-a-technologieim.html>
- [78] Technologie domu budoucnosti můžeme mít doma již dnes. *Techmagazín.cz* [online]. 2012 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.techmagazin.cz/ke_stazeni/tm2012/tm042012.pdf
- [79] Vrtáky QTD s tvrdokovovými destičkami vyrobené aditivní technologií. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vrtaky-qt-d-s-tvrdokovovymi-destickami-vyrobene-aditivni-technologie.html>
- [80] Ekodesign & čeští výrobci obráběcích strojů. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2015 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ekodesign-cesti-vyrobci-obrabecich-stroju.html>
- [81] VYROUBAL, Jiří. ECODESIGN – ekologie, ekonomie, nebo obojí?: Energeticky úsporné CNC výrobní stroje. *Ústav výrobních strojů a zařízení | Ú12135* [online]. 2014 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: [http://www.rcmt.cvut.cz/file/?\\$redakce\\$download\\$cz\\$TecniCall_2014_01_Ecodesign.pdf](http://www.rcmt.cvut.cz/file/?$redakce$downloadczTecniCall_2014_01_Ecodesign.pdf)
- [82] ČASOPIS SVAZU STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. *Svaz strojírenské technologie* [online]. 2010 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://sst.cz/images/soubory/svet_stroj_tech201006_complete.pdf
- [83] Energeticky úsporné chlazení obráběcích strojů. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2013 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/energeticky-uspodne-chlazení-obrabecich-stroju.html>
- [84] Měníče frekvence. *NORD - Koupit převodovky, převodovky, motory, měniče frekvence, decentrální pohonnou techniku firmy NORD* [online]. 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/F3050_CZ_4513-zwei_Seiten.pdf Lineární elektromotory
- [85] SOVJÁK, Richard, Eva FRIDRICHOVÁ a Ladislav KŘENEK. *Vrtačka*. 36109 Průmyslový vzor. Uděleno 02.07.2014
- [86] 176/2008 Sb. *Bezpečnost práce a požární ochrana | GUARD7* [online]. 2008 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: http://www.guard7.cz/files/pdf/nv_08-176.pdf
- [87] Ergonomické analýzy na virtuálních lidech Tecnomatix Jack pro studenty zdarma. *Konstrukter.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2014/03/25/ergonomicke-analyzy-na-virtualnich-lidech-tecnomatix-jack-pro-studenty-zdarma/>



- [88] LOUCKÝ, Milan. Virtuální ověřování složitých výrobků před zprovozněním. *Konstrukter.cz* [online]. 2015 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2015/01/27/virtualni-overovani-slozitych-vyrobku-pred-zprovozenim/>
- [89] 8.3 VIRTUÁLNÍ PROTOTYPOVÁNÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2014 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/content/file/CNC_ukazky_Cz/8.3.pdf
- [90] BORO VAN, Petr. Cesty ke zvýšení efektivity navrhování obráběcích strojů (1). *TT | Technický týdeník* [online]. 2015 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/ze-zivota-vyzkumneho-centra/cesty-ke-zvyseni-efektivnosti-navrhovani-obrabecich-stroju-1_32373.html
- [91] DMG MORI Virtual Machine. *DMG MORI – Lathes, CNC Milling Machines, Service and Software* [online]. 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://en.dmgmori.com/blob/387046/fcab13043054cfb6968a06c0ceab144c/ps0uk15-virtual-machine-pdf-data.pdf>
- [92] LOUCKÝ, Milan. Virtuální zprovožňování strojů s pomocí Process Simulate. *Konstrukter.cz* [online]. 2015 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2015/01/30/virtualni-zprovoznovani-stroju-s-pomoci-process-simulate/>
- [93] NOVÁK, Ivo. *Optimalizace výrobních systémů využitím simulačních modelů*. Zlín, 2012. Disertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [94] VERICUT | AXIOM TECH s.r.o. *Úvodní strana - AXIOM TECH s.r.o.* [online]. 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.axiomtech.cz/24753-vericut>
- [95] PAGÁČ, Marek. Virtuální obrábění ve Visi 21 zajistila Eureka. *Konstrukter.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2014/09/17/virtualni-obrabeni-ve-visi-21-zajistila-eureka/>
- [96] VERICUT | AXIOM TECH s.r.o. *Úvodní strana - AXIOM TECH s.r.o.* [online]. 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.axiomtech.cz/24882-verifikace-a-optimalizace>
- [97] Optimization_CallOuts.jpg. *Third Wave Systems | Modeling Technology | Machining Solutions* [online]. 2014 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.thirdwavesys.com/wp-content/uploads/2014/06/Optimization_CallOuts.jpg
- [98] KIM, Seung-Jin a Sami KARA. Predicting the total environmental impact of product technologies. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2014, 63(1): 25-28. DOI: 10.1016/j.cirp.2014.03.007. ISSN 00078506. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007850614000109>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

3D	[-]	Three Dimensional
AC	[-]	Alternating Current
ACLONDS	[-]	Activities-Criteria-Lifecycle phases-Outcome-Design stage-Structure
AG	[-]	Aktiengesellschaft
CAD	[-]	Computer Aided Design
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CECIMO	[-]	European Association of the Machine Tool Industries
CNC	[-]	Computer numeric controll
CO ₂	[-]	Oxid uhličitý
COP	[-]	Coefficient of Performance
COPx	[-]	Conference of the Parties
ČVUT	[-]	České vysoké učení technické v Praze
DC	[-]	Direct Current
DfA	[-]	Design for Assembly
DfD	[-]	Design for Disassembly
ECI	[-]	Environmental Condition Indicator
ECQFD	[-]	Environmentally Conscious Quality Function Deployment
EI	[-]	Energy Efficiency Index
EEZ	[-]	Elektrická a elektronická zařízení
EHS	[-]	Evropské hospodářské společenství
EIFA	[-]	Environmental Impact and Factor Analysis
EMS	[-]	Environmental Management System
EN	[-]	European Standarts
EOD	[-]	Environmental Objective Deployment
EoL	[-]	End of Life
EPI	[-]	Environmental Performance Indicators
EPLC	[-]	Environmental Product Life Cycle Matrix
ERPA	[-]	Environmentally Responsible Product Assessment Matrix
ES	[-]	Evropské společenství
EU	[-]	Evropská unie
FSI	[-]	Fakulta strojního inženýrství
GQFD	[-]	Green Quality Function Deployment



HDPE	[-]	High Density Polyethylene
HFCs	[-]	Hydrogenovaný fluorovodík
HoE	[-]	House of Ecology
CH ₄	[-]	Methan
IE	[-]	Efficiency Levels
IO	[-]	Input Output
IOA	[-]	Input Output Analysis
IOT	[-]	Input Output Table
ISO	[-]	International Organization for Standardization
JIS	[-]	Japan Industrial Standard
KEPI	[-]	Key Environmental performance indicators
LCA	[-]	Life Cycle Assessment
LCECA	[-]	Life Cycle Environmental Cost Analysis
LCI	[-]	Life Cycle Inventory
LED	[-]	Light-Emitting Diode
LiDS	[-]	Lifecycle Design Strategies
MAS	[-]	Moravské akciové strojírný
MBS	[-]	Multi-Body Simulation
MECO	[-]	Materials Energy Chemicals Others
MEERp	[-]	Methodology for the Ecodesign of Energy-related Products
MEI	[-]	Minimum Efficiency Index
MET	[-]	Materials, Energy, and Toxicity
MIPS	[-]	Material Input Per unit of Service
MIT	[-]	Material Intensity
MKP	[-]	Metoda konečných prvků
MQL	[-]	Minimum Quantity Lubrication
N ₂ O	[-]	Oxid dusný
NC	[-]	Numerical Controller
NF ₃	[-]	Fluorid dusitý
OEEZ	[-]	Odpadní elektrické a elektrotechnické zařízení
OPM	[-]	Oil Point Method
PBB	[-]	Polybromované bifenily
PBDE	[-]	Polybromovaný difenylether



PBT	[-]	Perzistentní bioakumulativní a toxické látky
PDA	[-]	Personal Digital Assistant
PFCs	[-]	Polyfluorovodíky
PID	[-]	Proportional Integral Derivative Controller
PILOT	[-]	Product Investigation, Learning and Optimization Tool
PLC	[-]	Programmable Logic Controller
PLM	[-]	Product Lifecycle Management
RCMT	[-]	Research Center of Manufacturing Technology
SF ₆	[-]	Fluorid sírový
SLCA	[-]	Streamlined Life Cycle Assessment
SST	[-]	Svaz strojírenské technologie
TOS	[-]	Továrna obráběcích strojů
TPI	[-]	Toxic Potential Indicator
TS	[-]	Technical Specification
USA	[-]	United States of America
VCSVTT	[-]	Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii
VEUEZ	[-]	Výbor Evropské unie pro ekoznačku
VNCK	[-]	Virtual Numeric Controlled Kernel
vPvB	[-]	Vysoce perzistentní a vysoce bioakumulativní látky
VUT	[-]	Vysoké učení technické v Brně



SEZNAM PŘÍLOH

CD-ROM - Bakalářské práce

Dne 29. 2. 2016 zpracoval Ing. Richard Sovják.