FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ

DISERTAČNÍ PRÁCE

k získání akademického titulu doktor
v doktorském studijním programu: P2301 Strojní inženýrství
studijním oboru: Stavba strojů a zřízení

Predikce vlastností technických produktů v konstrukčním procesu

Autor: Ing. Bc. Stanislav Kroták
Školitel: Prof. Ing. Stanislav Hosnedl, CSc.

Plzeň 2013

Čestné prohlášení

Předkládám k posouzení a obhajobě disertační práci, jejíž rámcové téma je „Vlastnosti technických produktů a jejich predikce - nástroj pro zvyšování kvality konstruovaného produktu“.

Tato práce je koncipována dle požadavků studijního a zkušebního řádu ZČU v Plzni, tj. obsahuje zejména shrnutí a zhodnocení poznatků ve studované oblasti a seznam souvisejících publikací.

Prohlašuji, že jsem tuto písemnou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

V Plzni dne:……. ……

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, kteří mě v mém úsilí podporovali a podporují, zejména svému školiteli, Prof. Ing. Stanislavu Hosnedlovi CSc., za jeho odborné vedení a cenné připomínky, které mi v průběhu vzniku této práce poskytoval.

Upozornění

Podle zákona o právu autorském č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR), § 17, zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků, nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora, autorů citovaných prací a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Anotace

Obsahem disertační práce jsou metody predikování vlastností technických produktů a to již ve fázi konstruování s následným prokázáním správnosti těchto metod při řešení reálných konstrukčních problémů.

V teoretické části je uveden podrobný rozbor konstrukčního procesu s možnými přístupy k průběhu jeho řešení, základní poznatky z vědního oboru Engineering Design Science, nejnovější poznatky o predikování vlastností technických produktů a v neposlední řadě i základní principy a metody Projektového managementu. Následují jak navržené a upravené metody pro predikování vlastností technických produktů vycházející z Projektového managementu a Engineering Design Science, tak i nové přístupy vycházející z matematických analýz navrhovaného technického produktu. Pro ověření navržených přístupů jsou v práci vypracovány dva příklady, kdy každý ověřuje platnost jednoho uvedeného přístupu.

V prvním případě byl řešen návrh přípravku pro provádění tahové zkoušky hliníkové lahve a ve druhém případě bylo řešeno svěrné spojení horní svorníkové konstrukce suchého transformátu.

Annotation

The dissertation thesis deals with methods for predicting the properties of technical products already in the construction phase, followed by validation the accuracy of these methods by solving real design problems.

The theoretical part includes a detailed analysis of the design process with possible approaches to the course of its solution, basic knowledge of the scientific discipline Engineering Design Science, the latest findings on the prediction of properties of technical products and last but not least, the basic principles and methods of Project Management. Then proposed and modified methods for predicting the properties of technical products based on Project Management and Engineering Design Science as well as new approaches based on mathematical analysis of the proposed technical product are following. For the verification of the proposed approaches two examples are developed in the work, where each one verifies the validity of one mentioned approach.

In the first case, the design solution for the implementation of the tensile test of an aluminium bottle and in the second case a clamp joint of the upper bolt construction of a dry transformer was solved.

Annotation

Die vorliegende Dissertationarbeit beschäftigt sich mit Methoden für Prädiktion von Eigenschaften technischer Produkte und zwar schon in der Konstruktionsphase. Nach der Theorie folgt einen Nachweis, dass die in der Arbeit beschriebene Methoden für reale Konstruktionsaufgabe einsetzbar sind.

In der Theorie ist eine Analyse vom Konstruktionsprozess mit potenziellen Vorgängen für seine Lösung angeführt. Neben dem sind in der Theorie die Grundlagen von Wissenschaftlichzweig Engineering Design Science, die neusten Erkenntnisse zur Prädiktion von Eigenschaften der technischen Produkte und auch die Grundlagen und Methoden des Project Managements erwähnt. Sowohl die entworfenen und gepflegten Methoden für die Prädiktion von Eigenschaften der technischen Produkte, die vom Project Management und Engineering Design Science ausgehen, als auch die neuen Stellungen, die auf der mathematischen Analyse konstruierendes Produkts basieren, folgen. Für eine Beglaubigung der vorgeschlagenen Stellungen werden in der Arbeit zwei Bespiele ausgearbeitet, wobei jeder eine erwähnte Stellung beglaubigt.

Im ersten Beispiel wurde einen Entwurf einer Vorrichtung für eine Zugprobe der Aluminiumflasche gelöst. Im zweiten Beispiel wurde eine Klemmenverbindung von oberer Presseisenkonstruktion eines trocken Transformators gelöst.

Obsah

Seznam obrázků 7
Seznam příloh 9
Seznam použitých zkratek 10
1 Úvod 12
2 Teoretická a metodická východiska 14
2.1 Konstrukční proces 14
2.1.1 Strategie pokus - omyl 14
2.1.2 Strategie intuitivní 14
2.1.3 Strategie instruktivní 15
2.1.3.1 VDI 2221 15
2.1.3.2 Fázové koncepty 17
2.1.3.3 Postupné zjemňování 17
2.1.3.4 Pět fází 17
2.1.4 Strategie teorií podložená 18
2.1.4.1 Teoretické a metodické aspekty konstruování 18
2.1.5 Hodnocení a závěry 20
2.2 Engineering Design Science na bázi Teorie technických systémů 21
2.2.1 Technický produkt a technický systém v TTS 23
2.2.2 Transformační systém a Transformační proces ..... ;24
2.2.3 Model životního cyklu produktu jako série transformačních systémů 25
2.2.4 Vlastnosti technických produktů 26
2.2.4.1 Taxonomie vlastností TS 28
2.2.5 Význam vlastností TS pro konstruování TS 30
2.2.6 Konstrukční proces 30
2.2.6.1 Teoreticky podložený konstrukční proces 31
2.2.7 Konstrukční situace 33
2.3 Projektový management a jeho základní principy 35
2.3.1 Přehled hlavních směrů Projektového managementu a jejich standardů 35
2.3.2 Hodnocení a závěry 37
2.3.3 Projektový management a konstrukční proces 38
3 Analýza možností predikování vlastností TS 41
3.1.1 Využití teorie vlastností TS pro poznatky o predikování vlastností 42
3.1.2 Taxonomie poznatků o predikování vlastností 43
3.1.3 Poznatky PoX pro konstruování 43
3.1.4 Analytické predikování vlastností TS 44
3.1.4.1 Časové řady 44
3.1.4.2 Fuzzy množiny 46
3.1.4.3 Korelační a regresní analýza 49
3.1.4.4 Markovovy řetezce 50
4 Cíle disertační práce, pracovní hypotézy a použité vědecké metody zkoumání 52
4.1 Cíle 52
4.2 Hypotézy 52
4.3 Použité vědecké metody 52
4.3.1 Empirické metody 53
4.3.2 Logické metody 53
4.3.3 Systémový přístup 53
4.3.4 Tvůrčí metody 53

5 Predikování vlastností TS v konstrukčním procesu 54
5.1 Predikování vlastností TS pomocí metod PM 57
5.1.1 Metody vycházející z Projektového managementu využitelné pro predikování vlastností TS v konstrukčním procesu 57
5.1.1.1 FMEA 57
5.1.1.2 Quality Function Deployment – QFD 58
5.1.1.3 Ishikawa diagram 58
5.1.1.4 Analýza stromu chyb 58
5.1.1.5 Target Costing 59
5.1.1.6 Design Review 60
5.1.1.7 SWOT analýza 61
5.1.1.8 Hodnotová analýza 61
5.1.1.9 Ganttův diagram 62
5.2 Hodnocení metod Projektového managementu z hledisek využití pro predikování vlastností technických produktů v konstrukčním procesu 63
5.3 Vybrané metody Projektového managementu podpořené znalostmi na základě Teorie technických systémů 65
5.3.1 Metoda Ishikawa s podporou TTS pro predikování vlastností TS 65
5.3.2 Metoda FMEA s podporou TTS pro predikování vlastností TS 68
5.3.3 Hodnocení a závěr 69
5.4 Predikování vlastností pomocí analytických metod 70
5.4.1 Návrh metodické základny predikování vlastností pomocí korelační a regresní analýzy 70
6 Aplikace a ověření 72
6.1 Využití metod Projektového managementu zdokonalených TTS 72
6.1.1 Představení řešené problematiky 72
6.1.2 Návrh konstrukce testovacího přípravku 73
6.1.3 Analýza provozní etapy vzorku 76
6.1.4 Návrh funkční a orgánové struktury testovacího přípravku 76
6.1.5 Hodnocení navrženého řešení 79
6.1.6 Návrh funkční a orgánové struktury zařízení pro úpravu vzorků 80
6.1.7 Zhodnocení navrženého řešení 82
6.2 Hodnocení projektu 83
6.3 Využití korelační a regresní analýzy v konstrukčním procesu 84
6.3.1 Představení řešené problematiky 84
6.3.2 Výběr profilu svorníku 86
6.3.3 Korelační analýza závislosti rozměrů a tuhosti 87
6.3.4 Hodnocení projektu 93
7 Splnění cílů disertační práce 95
8 Potvrzení hypotéz disertační práce 97
9 Závěr, přínosy práce a doporučení pro další výzkum 98
10 Shrnutí 100
Použité informační zdroje 102
Seznam publikovaných prací 106
Přílohy práce 108

Seznam obrázků

Obr. 1 - Ovlivnění vynaložených nákladů na produkt v jednotlivých etapách vývoje [23]..... 12
Obr. 2 - Konstrukční proces dle [48] (v originální podobě)..... 16
Obr. 3 - Model postupného zjemňování, překlad z [19] 17
Obr. 4 - Model pěti fází, překlad z [31] 18
Obr. 5 - Základní struktura poznatků EDS o a pro konstruování [33] 22
Obr. 6 - Generické složky technického produktu v komplexním pojetí EDS [33] 23
Obr. 7 - Obecný model transformačního systému (TrfS) s transformačním procesem (TrfP) [33] 24
Obr. 8 - Životní cyklus TS - jako série TrfP v životních etapách [33]..... 26
Obr. 9 - Vlastnost TS, indikátory vlastností TS, hodnota indikátoru vlastností TS [33] 27
Obr. 10 - Relace významných hodnot indikátorů vlastností TS [33]..... 28
Obr. 11 - Domény vlastností a jejich vzájemný vztah, upraveno dle [33]..... 29
Obr. 12 - Hierarchická struktura taxonomie vlastností technického produktu dle [33]..... 30
Obr. 13 - Model konstrukčního procesu jako transformační systém dle EDS..... 31
Obr. 14 - Obecný model postupu řešení problému 32
Obr. 15 - Základní struktura teoreticky podloženého OMPK [20] 32
Obr. 16 - Členění KP na hierarchické, opakující se činnosti/operace dle [33] 33
Obr. 17 - Vztah mezi stanovením, projevením a predikcemi (hodnot indikátorů) vlastností TS v jeho životním cyklu dle [33] 42
Obr. 18 - Obecný model postupu řešení problému 54
Obr. 19 - Členění KP na hierarchické činnosti/operace s vyznačenými činnostmi/operacemi 55
Obr. 20 - Ukázka využití Ganttova diagramu v rámci řešení projektu ve VCTT FORTECH. 62
Obr. 21 - Členění metod PM do tříd a ohodnocení pro integraci do KP..... 63
Obr. 22 - Životní cyklus produktu s integrací obecných metod PM..... 64
Obr. 23 - Model metody Ishikawa 65
Obr. 24 - Metoda Ishikawa s teoretickou podporou EDS/TTS upraveno [33] 66
Obr. 25 - Model metody Ishikawa s teoretickou podporou EDS/TTS rozšířený o externí faktory 66
Obr. 26 - Životní cyklus TS jako série modelů metody Ishikawa..... 67
Obr. 27 - Etapy životního cyklu TS jako faktory v metodě Ishikawa..... 68
Obr. 28 - Model konstrukčního procesu jako transformační systém dle EDS..... 68
Obr. 29 - FMEA operátoru člověk HuS 69
Obr. 30 - FMEA operátoru technický systém TS..... 69
Obr. 31 - FMEA operátoru aktivní a reaktivní okolí AEnv 69
Obr. 32 - FMEA operátoru manažerský systém MgS..... 69
Obr. 33 - FMEA operátoru informační systém IS..... 69
Obr. 34 - Prototypová láhev s vyznačenými místy odběru vzorků 72
Obr. 35 - Polotovar lahve s vyznačeným místem odběru vzorku 72
Obr. 36 - Konečná podoba vzorků v podobě virtuálních modelů 73
Obr. 37 - Využití SWOT analýzy v rámci řešení konstrukce testovacího přípravku..... 73
Obr. 38 - Využití Ishikawa diagramu obohaceného o TTS..... 74
Obr. 39 - Strom cílů a dílčích cílů vedoucích k provedení tahové zkoušky..... 74
Obr. 40 - Integrace LC testovacího přípravku TS_{TP}, vzorku TS_{VZ} 75
Obr. 41 - Provozní scénář hlavních fází a operací vzorku LC 76
Obr. 42 - Provozní scénář hlavních fází a operací testovacího přípravku v provozní etapě LC 76
Obr. 43 - Morfologická matice s vybranými alternativami nositelů funkcí/orgánů..... 77

Obr. 44 - 3D návrhy testovacího přípravku (A, B, C) 78
Obr. 45 - Specifikace požadavků testovacího přípravku 78
Obr. 46 - Navržená varianta testovacího přípravku se dvěma vzorky 79
Obr. 47 - FMEA testovacího přípravku 79
Obr. 48 - Provozní scénář hlavních fází a operací zařízení 80
Obr. 49 - Morfologická matice s vybranými alternativami 81
Obr. 50 - 3D návrhy zařízení pro úpravu vzorků (A, B, C) 82
Obr. 51 - Specifikace požadavků zařízení pro úpravu vzorků 82
Obr. 52 - FMEA zařízení pro úpravu vzorků 83
Obr. 53 - Navržená varianta zařízení pro úpravu vzorků 83
Obr. 54 - Schéma a řez suchého transformátoru [25] 84
Obr. 55 - Příklad suchého transformátoru s vyznačenými svorníky a táhly 85
Obr. 56 - Příklad jádra suchého transformátoru s vyznačenými svorníky a táhly 85
Obr. 57 - Uvažovaný výpočetní typ svorníku 86
Obr. 58 - Průřezové charakteristiky vybraných profilů 87
Obr. 59 - Schematické zobrazení U-profilu s definovanými rozměry 87
Obr. 60 - Vstupní rozměry U-profilu pro korelační a regresní analýzu 87
Obr. 61 - Korelační koeficient rozměrů U-profilu a tuhosti U-profilu 88
Obr. 62 - Korelační závislosti vybraných profilů svorníků 89
Obr. 63 - Korelační závislosti vybraných profilů svorníků 90
Obr. 64 - Koeficienty determinace rozměrů U-profilu 91
Obr. 65 - Znázornění průběhu tuhosti U-profilu v závislosti na rozměru „b“ s proloženou regresní přímkou a její rovnicí 92
Obr. 66 - Schematické zobrazení U, L a J profilu 93

Seznam příloh

Příloha č. 1 - Simulace svorníků pomocí MKP 109
Příloha č. 2 - Seznam podaných užitných a průmyslových vzorů 115

Seznam použitých zkratek

$\widetilde{A}$	Fuzzy množina
μ_a	Funkce příslušnosti
a_1	Neznámý parametr
AEnv	Aktivní a reaktivní okolí
a_o	Neznámý parametr
ASCH	Analýza stromu chyb
BS	British Standards
C	Nákladová náročnost
CAD	Computer-aided design
CAx	Computer aided Technologies
C_t	Cyklická složka
DfX	Design for X
DIN	Deutsche Industrie-Norm
DR	Design Review
EDS	Engineering Design Science
ε_t	Náhodná složka
FMEA	Analýza možného výskytu a vlivu vad
HA	Hodnotová analýza
HuS	Člověk
IPMA	International Project Management Association
IS	Informační systém
k	Korelační koeficient
KP	Konstrukční proces
KS	Konstrukční systém
LC	Životní cyklus
M	Matice hodnocení přechodů
MgS	Manažerský systém
MKP	Metoda konečných prvků
MPKP	Metodické poznatky ke konstrukčnímu procesu
MTS	Metodické poznatky k technickým systémů
n	Počet bloků
OMPK	Obecný model postupu konstruování
p	Počet ošetření znáhodnění

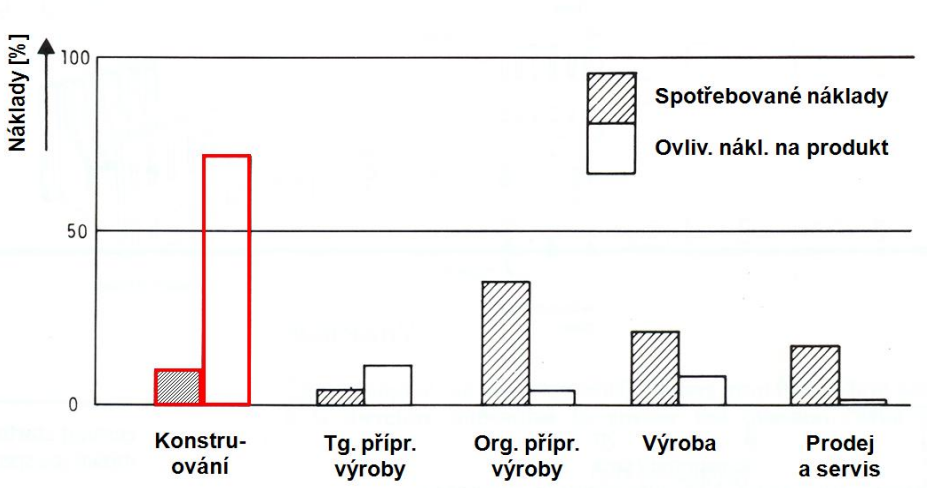
P	Pravděpodobnost
PM	Projektový management
PMBoK	Project management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
PoX	Prediktion of X
Q	Posuzovaná kvalita
QFD	Dům kvality
R	Koeficient determinace
RP	Rapid Prototyping
RT	Rapid Tooling
r_{xy}	Korelační koeficient
St	Sezónní složka
t	Časová proměnná
T	Časové nároky
TKP	Teoretické poznatky ke konstrukčnímu procesu
TrfP	Transformační proces
TrfS	Transformační systém
TS	Technický systém
T_t	Trendová složka
TTS	Teorie technických systémů
VCTT	Výzkumné centrum tvářecích technologií
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VR	Virtuální realita
x	Hodnota veličiny x
y	Hodnota veličiny y
y_t	Hodnota modelovaného ukazatele
ZKM	Systémové navrhování technických produktů

1 Úvod

Systematické plánování a konstruování technických produktů bude v příštích letech nabývat na stále větším významu, neboť tlak na konečnou cenu výrobku bude vyžadovat precizní provádění všech činností, které jsou se vznikem výrobku spojené. Systematické plánování a konstruování toto umožňuje, a proto bude hrát významnou roli v konstrukčních procesech. Tím se tak bude stávat předním určujícím faktorem tržní úspěšnosti technických produktů a také firem. Již v současné době je kladen vysoký tlak na dosahování odpovídající konečné kvality produktů, která naplní očekávání a potřeby zákazníků do té míry, že budou ochotni tyto produkty kupovat. Z toho důvodu je nutné zefektivnit a pokud možno zpřehlednit tu etapu vývoje produktu, ve které jsou určovány a stanovovány požadované budoucí vlastnosti technických produktů.

Uvědomíme-li si, že vlastnosti technických produktů jsou primárně určeny již v etapě jejich konstruování, je klíčové zaměřit se na efektivní provádění právě této etapy. Konstruování lze obecně definovat dle [33] jako významnou syntetizující tvůrčí odbornou činnost, jejíž výstupy zásadně ovlivňují úspěšnost výrobku na trhu, stav našeho životního prostředí, spokojenost, zdraví i životy nás všech. Jedná se o činnost, jejíž výstupy odrážejí odborné znalosti z řady obecných i speciálních vědních disciplín, pokrok lidstva, využití tvůrčího potenciálu a schopnost jeho realizace.

V průběhu konstrukce nejsou určovány jen konečné vlastnosti produktu, ale jsou také částečně nebo zcela vymezeny náklady na jeho výrobu, transport apod. Podle literatury [23] se v průběhu konstrukce neodvolatelně určuje již minimálně 70 % pozdějších výrobních nákladů tím, že je konstrukcí předem stanoven např. zvolený princip řešení, materiály, rozměry, přesnosti a částečně i výrobní postup a způsob výroby. V konstrukci je třeba brát v úvahu pravidla a poznatky z mnoha oblastí, aby se celkové náklady udržely na co možná nejnižší úrovni.



Obr. 1 - Ovlivnění vynaložených nákladů na produkt v jednotlivých etapách vývoje [23]

V této práci je ukázáno, jak predikovat vlastnosti technických produktů za pomoci dvou rozdílných přístupů. Prvním z nich je predikování vlastností vycházející z teoretického základu postaveném na konstrukční strategie na bázi Teorie technických systémů, která je ještě ovlivněna myšlenkami a přístupy z oblasti Projektového managementu. Druhým nástrojem je predikování na základě analytických výpočtů. Pro oba nástroje jsou v práci uvedeny jak teoretické poznatky nutné k jejich provádění v konstrukčním procesu, tak reálné příklady využití s ukázkou postupu při konstrukčním řešení za pomoci nových přístupů vedoucích k nalezení vhodných řešení. Jako základ těchto nových teoretických přístupů slouží tři oblasti - poznatky o konstrukčním procesu, Projektový management a analytické metody predikování vlastností.

2 Teoretická a metodická východiska

2.1 Konstrukční proces

Pro konstrukční procesy existují různé strategie a přístupy. Jedná se o různé metody a doporučení, instrukce apod., jak efektivně a optimálně při úspoře vložených nákladů (časových i jiných) dosáhnout požadovaného řešení nebo minimálně řešení odpovídajícího ve větší míře požadavkům. Konstrukční strategie jsou odborně a vědecky vypracované postupy, které poskytují návod, jak řešit konstrukční problém. Samotný problém za konstruktéra však neřeší a ani ze své podstaty nemohou. Určité postupy využívá každý konstruktér tak, že si buď osvojí obecnou strategii, nebo si pro sebe vypracuje svou vlastní strategii, která je optimální pro řešení vzniklých problémů.

Podle výsledků výzkumu [20] existují různé strategie konstruování. Nejjednodušší strategií je pokus – omyl. Další a v praxi nejvíce využívaná je strategie intuitivní, ve které jsou využívány znalosti a zkušenosti konstruktéra nebo řešitelského týmu. Dále může být použita strategie instruktivní, ve které se konstrukční problém řeší podle různých směrnic či norem (např. VDI 2221). A jako poslední možnou strategií je strategie využívající teorií podložené postupy na bázi „mapy“ poznatků.

2.1.1 Strategie pokus - omyl

Strategie řešení konstrukčního problému pokus - omyl je jedna z nejoblíbenějších strategií, která neklade žádné specifické znalostní nároky či procesní požadavky na konstruktéra. V průběhu této strategie se problémy neřeší pomocí instruktivních znalostí, ale konstruktér intuitivně, náhodně řeší problém s často nevelkou úspěšností a poměrně velkou časovou ztrátou, která je způsobená tím, že konstruktér opakuje daný postup hledání řešení, až nakonec dojde požadovaného výsledku.

2.1.2 Strategie intuitivní

Intuitivní strategie vychází oproti strategii pokus - omyl z již získaných a osvojených znalostí a zkušeností konstruktéra. Konstruktér jen díky svým znalostem zvládá řešení rutinních konstrukčních problémů ze svého oboru. Strategie je vhodná zejména pro osoby s dlouholetými pracovními zkušenostmi, které mohou dále soustavně rozvíjet a zejména využívat v průběhu řešení problému. Intuice se v tomto případě dělí na dva druhy [63]:

- **podmíněná intuice** - konstruktér řeší daný problém sám bez cizí pomoci jen s využitím vlastních zkušeností,
- **provokativní intuice** - konstruktér dostává nápady „zvenčí“ – využívají se např. podpůrné metody, jako je Brainstorming, Brainwriting, Myšlenkové mapy, …

2.1.3 Strategie instruktivní

Při využití instruktivní strategie pro řešení problému se vychází ze zobecněných instrukcí a znalostí ve formě směrnic, firemních předpisů nebo doporučení apod., které udávají systematický popis řešení problému. Většinou je řešení problému rozděleno na definované etapy a k nim jsou přiřazeny doporučené úkony a postupy. Takovýchto směrnic a předpisů lze najít celou řadu, např. nejznámější je VDI 2221. Každá větší firma má stanoveny vlastní směrnice a předpisy, které jsou využívány v průběhu konstrukčního procesu. Všechny spolupracující firmy pak musí tyto předpisy a doporučení dodržovat. Dále jsou popsány některé modely řešení konstrukčního procesu.

2.1.3.1 VDI 2221

Směrnice VDI „Metodika k vývoji a konstruování technických systémů a produktů“ popisuje postup v konstrukčním procesu sedmi pracovními kroky (Obr. 2). Během toho je kladen velký důraz na modularizaci konstrukčního procesu a jeho jednotlivých fází, která je u technických systémů typická. Směrnice není závazná a je možné ji měnit podle potřeby. Podle okolností řešeného konstrukčního problému mohou být provedeny odpovídající kroky z VDI 2221 a to někdy i vícekrát.

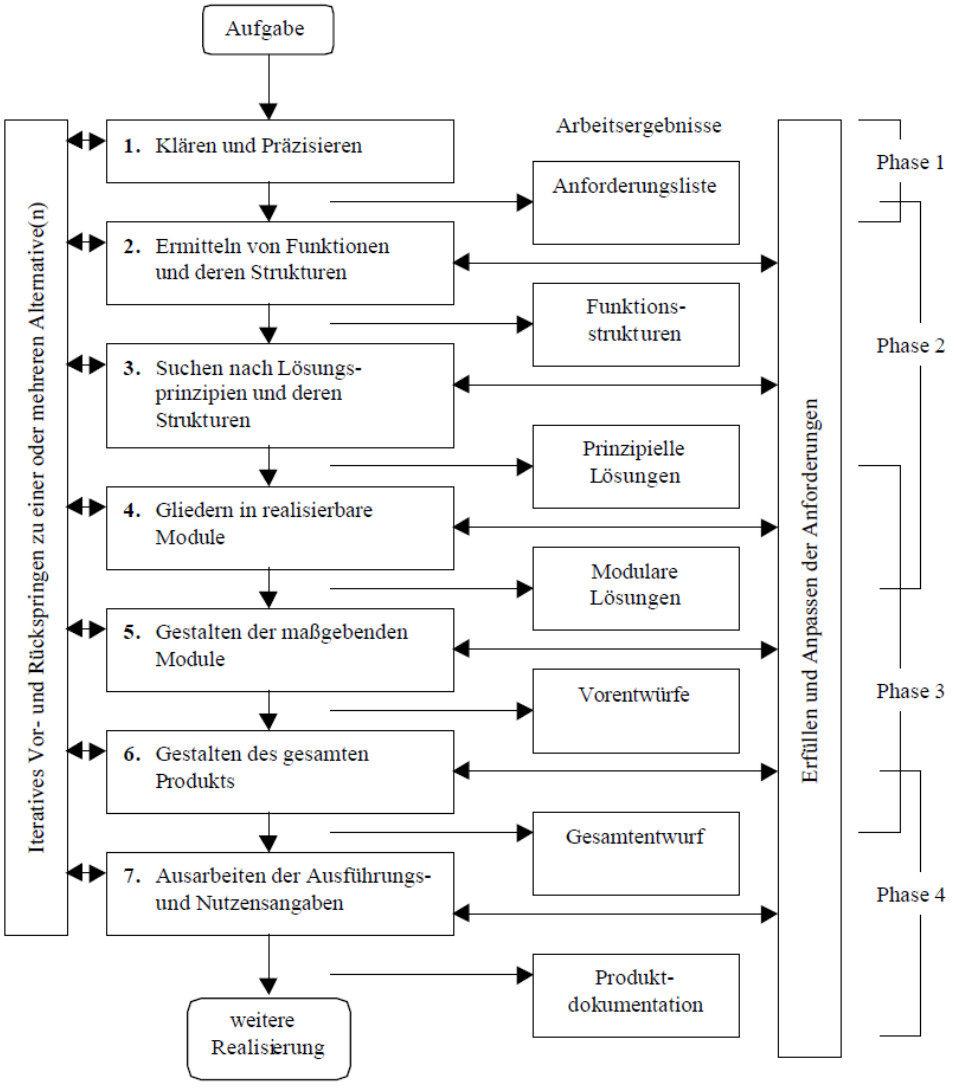
Popis jednotlivých kroků [48]:

1. **Analýza požadavků** – tento pracovní krok je nutný k vyjasnění a zpřesnění požadavků. V této fázi jsou shromažďovány všechny dostupné informace a zjišťují se informační nedostatky. Ověřují se a doplňují požadavky na produkt a současně se stanovují úkoly nutné k dosažení požadovaného výsledku. Toto všechno se musí detailně prozkoumat a strukturovat.
2. **Návrh funkcí a struktur** – zde jsou zobrazeny pomocí funkčních schémat základní dílčí, případně hlavní funkce produktu. Jejich členění a kombinace tvoří základní strukturu hledání řešení pro celkový finální produkt.
3. **Principy a struktura** – hledají se řešení pro všechny dílčí a hlavní funkce. Také je v tomto kroku nutné nalézt základní fyzikální, chemické a jiné efekty, které by měly vliv na produkt. Tyto efekty musí být stanoveny pomocí vnitřních struktur. Dílčí funkce a jejich funkční principy se pak musí přiřadit k odpovídajícím nositelům funkcí.
4. **Modularizace** – v tomto pracovním kroku jsou principiální řešení rozčleněna do realizovatelných modulů, než proběhne jejich další realizace.
5. **Konkretizace modulů** – v tomto kroku probíhá důležitá konkretizace, případně realizace modelů, které jsou stanoveny v předem určeném měřítku k výslednému

produktu. Jako účelné se jeví dovést konkretizační stupeň geometrických, materiálních a technických požadavků jen tak daleko, že bude možné rozpoznat a vybrat jednu konečnou podobu. V tomto dílčím kroku se stanovuje hrubá podoba a tvar produktu.

6. **Výběr modulu** – zde jsou doplněny jednotlivé, dříve navržené moduly/varianty pomocí dalšího rozpracování. Již se nepracuje s jednotlivými funkčními prvky, ale pracuje se s moduly jako se sestavou, se snahou dosáhnout optimálního a nerušeného spojení jednotlivých částí. V tomto kroku je již stanovena konečná podoba a tvar produktu.

7. **Vypracování** – tento krok slouží ke konečnému dokončení výsledného produktu s popsáním všech jeho funkcí, vlastností a navržených materiálů. Tento krok překrývá do jisté míry kroky předchozí, protože zde dochází k jisté rekapitulaci a ujasnění dříve dosažených výsledků.



Obr. 2 - Konstrukční proces dle [48] (v originální podobě)

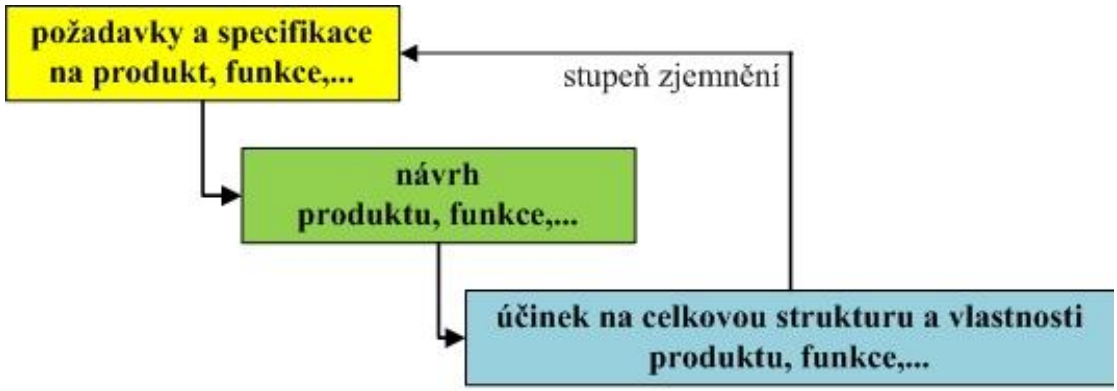
Pro všechny uvedené pracovní kroky je společné to, že je při nich vždy navrženo více variant řešení, které musí být pomocí modelů, případně prototypů vyzkoušeny a nakonec ohodnoceny. Takovýto výběr, optimalizace a rozhodnutí musí probíhat v každém pracovním kroku, přestože to není v obecném modelu řešení konstrukčního problému popsané. Musí se zdůraznit, že těchto sedm kroků řešení může být v případě potřeby dále rozčleněno či seskupeno a upraveno do požadované podoby.

2.1.3.2 Fázové koncepty

Fázové koncepty je možné nalézt jak v Projektovém managementu, tak v literatuře zabývající se problematikou řešení konstrukčních procesů. Konstrukční proces dle [31] probíhá ve více krocích, v nichž se externí požadavky promítají do vlastností produktu a v nichž se současně vždy stanovuje stále více detailů (funkce, materiál, funkční principy apod.). Každé úrovni konkretizace produktu odpovídá jeden krok v konstrukčním procesu.

2.1.3.3 Postupné zjemňování

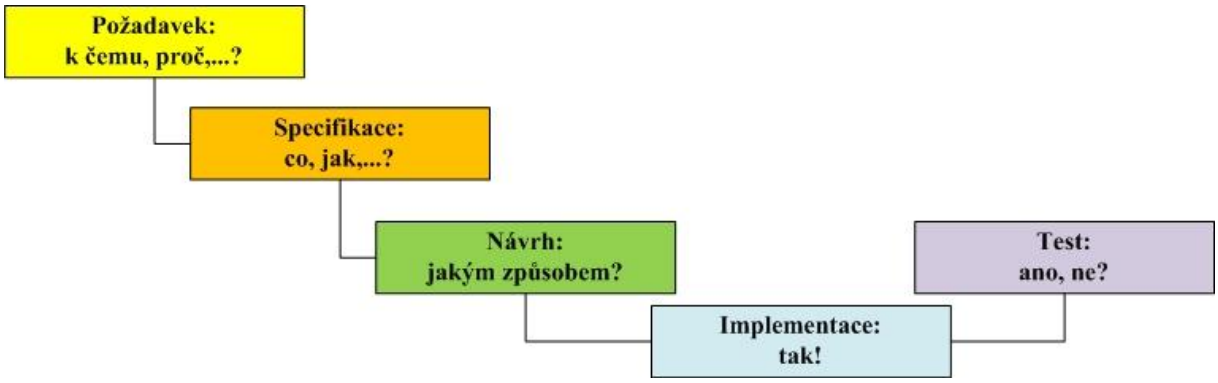
V tomto procesu postupného zjemňování jsou dle [31] nejdřív hrubě stanoveny hlavní aspekty produktu. Stanovení hlavních aspektů slouží poté jako základ pro další zjemňování a jako vzor pro detailní specifikaci a návrh produktu. V jednotlivých krocích mohou být prováděny různé etapy vývoje produktu a to buď paralelně, nebo navzájem se překrývající.



Obr. 3 - Model postupného zjemňování, překlad z [19]

2.1.3.4 Pět fází

Pět fází je dle [31] zcela obecný model konstrukčního procesu, který je možné nalézt v odlišných modifikacích a použitích. Existují různé fázové modely s rozdílným počtem fází nebo s různým označením (např. V-model pro mechatronické systémy využívaný hojně v automobilovém průmyslu).



Obr. 4 - Model pěti fází, překlad z [31]

2.1.4 Strategie teorií podložená

Jedná se využívání systematických myšlenkových pochodů, vycházejících ze současného stavu poznání jevů, procesů a z logiky zákonitostí vývoje řešeného problému. Tato strategie nabízí „mapu“ poznatků z teorie a praxe, která sice neřeší daný konstrukční problém, ale dává systematický přehled o procesech, objektech a vazbách, které daný konstrukční problém ovlivňují.

Právě tato teorií podložená konstrukční strategie vycházející ze znalostí Engineering Design Science (EDS) na bázi Teorie technických systémů (TTS) tvoří základ této práce, kde je využito teoretické znalostní TTS pro umístění a integraci metod predikování vlastností v procesu konstruování.

2.1.4.1 Teoretické a metodické aspekty konstruování

Snahy o teoretickou a metodickou podporu tvůrčích konstrukčních činností (abstrahujeme-li od asistující znalostní podpory poskytované matematikou, fyzikou, mechanikou, naukou o materiálu, strojírenskou technologií apod.) se vzhledem k principiální obtížnosti znalostní podpory kreativních aktivit datují ve světě teprve od čtyřicátých, u nás až od šedesátých let minulého století. Za tuto relativně krátkou dobu prožila tato oblast dynamický, doposud jen zčásti zpracovaný historický vývoj [8] a rozvinula se v samostatnou konstrukční vědu – Design Science [36], v následujících letech přesněji Engineering Design Science (EDS) [22] a [21]. Současnou úroveň poznání v této oblasti nejvíce ovlivnili a v řadě případů stále aktivně ovlivňují kromě již citovaných autorů ze Švýcarska (ETH Zürich) a Kanady (RMC Kingston) [36] zejména autoři z Německa (TU Darmstadt, Berlin, Braunschweig, München) [53], [52], [59], [24], [23], Nizozemí (Uni. Delft) [58], Dánska (DTH Lyngby) [7],[6],[5], Velké Británie (Uni. Lancaster, M. Keynes) [12], [26], USA (MIT Massachutes) [66], [62] a Japonska (Univ. Tokyo, nyní Univ. Delft) [65]. Práce těchto i řady dalších autorů se promítly i do řady standardů, z nichž nejznámější jsou německé VDI Richtlinien (obecné metodiky k vývoji a konstruování VDI 2221 (1993), aspekty ergonomie VDI 2242 (1986),

hospodárného konstruování VDI 2235 (1987) a konstruování mechatronických produktů VDI 2206 (2004)) a britské BS 7000 (2008).

Výzkum v oblasti EDS je od počátku devadesátých let min. století orientován při plné otevřenosti k poznatkům ze všech dostupných odborných pramenů především na pojetí reprezentované výzkumem soustředěným okolo uvedené autorské dvojice Prof. Hubka a Prof. Eder [22] a nebo [20], [21]. Jejich světově originální přístup k poznatkům EDS je specifický tím, že je důsledně budován na integrujících teoretických základech na principu „objekt" – „teorie" – „metoda". Tím je jimi budovaný systém poznatků plně otevřený i pro poznatky z dalších uvedených i neuvedených tradičních výrazně metodicky orientovaných „škol", jejichž celosvětově uznávaným představitelem je [53], [52] i pro poznatky z kvalitativně odlišné axiomatické školy, jejímž představitelem je [62]. Neméně významné je i to, že tento koncept umožňuje [33] při řešení výzkumných problémů i konstrukčních projektů též nezbytné využití metodicko-empirických, intuitivních i nezbytných „pokus-omyl" přístupů podle konkrétní situace, což tradiční metodicko-empirické přístupy prakticky vylučují, neboť jsou převážně provázány pouze vypracovanými pravidly bez komplexního teoretického základu. Axiomatický přístup má sice naopak důsledně teoretický základ, avšak konstruovaný objekt je v něm chápán tak abstraktně, že je podle všeobecně rozšířeného názoru prozatím tato teorie pro konstruování technických produktů samostatně neaplikovatelná.

V oblasti obecné teorie vlastností technických produktů/systémů (TS) byly formulovány solidní teoretické základy v [34] a v související oblasti zaměřené na docílení jednotlivých (tříd) vlastností „Design for X" (DfX) vybrané metodické poznatky v [53], [52] a teoretický koncept v [5], [4].

Tradiční konstrukční metody jsou více či méně uvedeny a popsány ve všech uvedených i v mnoha dalších metodicky zaměřených pracích, zejména však v [53], [52] a [58]. Společným rysem je jejich tradiční metodicko-empirické pojetí bez integrující teoretické základny, kterou je možné jejich efektivnost a provázanost zásadním způsobem zvýšit [33]. Z dalších metod pro efektivní vyhledávání a následující využití existujících řešení se jeví jako perspektivní metody na principu Case base reasoning [15], [32].

V posledním desetiletí je EDS prohlubována zejména ve speciálních oblastech např. [10],[38], v oblastech interdisciplinárních např. [29], [37] a v oblasti zaměřené na komplexní servis produktů [3]. Kromě toho se výrazně projevuje i nový trend zaměřený na faktor člověka v konstrukčním procesu diskutovaný v části zaměřené na kognitivní, estetické a ergonomické aspekty konstruování [33].

Dalším novým trendem v oblasti konstrukčních procesů je zaměření konstruování na ekologické aspekty konstruování, v literatuře označované jako Design for Environment (DfE) [1] nebo také jako EcoDedisgn [2]. Zde je kladen velký důraz na konstruování s ohledem k životnímu prostředí a to např. používáním materiálů s co nejméně energeticky náročnou výrobou apod.

Současnou úroveň poznání a výzkumné činnosti v oblasti EDS ve světě i u nás lze souhrnně charakterizovat tak, že stále přetrvává důraz na metodicko-empirické přístupy ke konstruování (65 % ve světě, 80 % v ČR) příp. na podporu vlastní konstrukční kreativity (15 % ve světě, 20 % v ČR). Jen malá část prací je zaměřena na zobecněný objekt konstruování – technický produkt/systém (5 % ve světě, 0 % v ČR) a na komplexní systémové pojetí teorie a metodiky konstruování (15 % ve světě, 0 % v ČR, pokud nejsou započteny práce publikované na ZČU v Plzni). Uvedené podíly jsou dle [33] kvalifikovaným odhadem na základě analýzy zaměření cca pětiset reprezentativních knižních publikací z oboru EDS vydaných od r. 1940 (u nás od r. 1960).

V oblasti EDS je doposud značně neuspokojivá situace i v oblasti terminologické. Je to kromě relativně krátké doby existence tohoto, stále ještě rozvíjejícího se vědního oboru způsobeno zejména značným ovlivňováním terminologie silně diverzifikovanou praxí i paralelní existencí několika významných „světových škol“ teorie konstruování. Z minulosti je k dispozici pouze [35] a [39] Ani tyto dva, ani další pokusy o řešení tohoto problému však nebyly doposud obecně akceptovány. Pojetí prezentované v [33] vychází z [35] a sleduje kompatibilitu používaných i nových pojmů s dalšími předními světovými „konstrukčními školami“, v posledním období včetně respektování [13].

2.1.5 Hodnocení a závěry

Proces konstruování je řadu let podrobován intenzivnímu výzkumu z mnoha směrů a přesto autoři např. [63],[1],[52] a jiní z uvedených autorů opomíjejí nebo nezdůrazňují faktor řízení konstrukčního procesu jako klíčový faktor tržní konkurenceschopnosti navrhovaného produktu, jak je prokázáno v [23]. Možné náznaky snahy o řízení konstrukčního procesu lze nalézt v [41], kde se autoři snaží prokázat vhodnost metod z managementu kvality pro kontrolu konstrukčního procesu jako celku. Někteří autoři využívají elementárních prvků (metod Projektového managementu) ve fázích konstrukčního procesu [1] nebo [36] jako jeho nedílné součásti. V průběhu provádění rešeršní práce (také v [68]) nebylo nalezeno takového literárního zdroje, který by otevřeně uváděl využívání Projektového managementu při řízení procesu na úrovni jeho jednotlivých dílčích kroků/operací. Vhodný příklad pro ukázání přínosů v případě nasazení Projektového managementu lze nalézt v [9]. Jedná se sice o přínos v rámci řešení stavebního projektu, ale přesto je zde dobře vidět, jak může být projektové řízení a přístupy přínosné.

Další práce se bude zabývat integrací metod predikování vlastností produktu do jednotlivých dílčích činností/operací konstrukčního procesu definovaných dle Teorie technických systémů v [36], [20] a [33]. Metody pro predikování vlastností budou na jedné straně vycházet z poznatků Projektového managementu a na druhé straně z analytických (statistických) metod (více v dalších částech práce).

Metody pro predikování vlastností z Projektového managementu budou vhodně integrovány do dílčích činností/operací konstrukčního procesu a zároveň budou i obohaceny o poznatky Teorie technických systémů.

Cílem integrování metod predikcí vlastností bude nejen proces konstruování řídit, ale také v kontextu k tématu práce včasně a vhodně predikovat budoucí vlastnosti a chování konstruovaného produktu s možností jejich včasného ovlivnění.

2.2 Engineering Design Science na bázi Teorie technických systémů

Základní poznatky Engineering Design Science [36] a [20] a Teorie technických systémů (TTS) [34] stručně shrnuté v této kapitole slouží jako teoretický a metodický základ předložené práce.

Obsahem Engineering Design Science (EDS) včetně její části Teorie technických systémů (TTS) jsou systematicky uspořádané poznatky (tzv. mapa) z teorie i praxe pro výzkum, výuku a technickou praxi. EDS neřeší daný problém, ale dává systematický přehled o objektech, procesech a vazbách, které proces konstruování ovlivňují a na které je nutné brát zřetel. Účelem EDS je identifikace (rozpoznání a popis), zobecnění, ověření, systematické zpracování a vysvětlení poznatků pro racionální navrhování technických produktů chápaných jako technické systémy (TS) [33].

EDS umožňuje:

- systematicky uspořádat poznatky o konstrukčním procesu,
- poznat racionální vazby a vztahy mezi objekty, procesy a jejich vzájemné ovlivnění při konstrukčním procesu,
- analyzovat a připravit se i na mimořádné situace/rizika.

Význam Engineering Design Science

Zvýšení produktivity konstruování a kvality navrhovaných technických produktů zvýšením úrovně znalostní podpory konstrukčního procesu [33]:

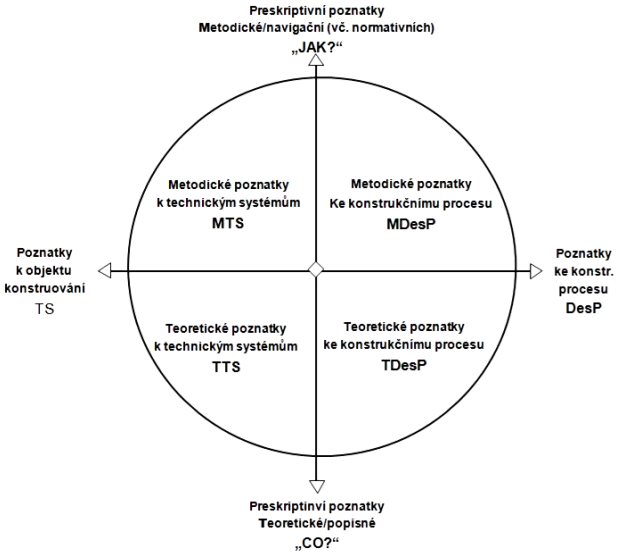
- vyšší kvalita a uspořádanost poznatků,
- vše, co je společné pro navrhování všech technických produktů lze efektivněji společně vysvětlovat a dále rozvíjet,
- jednodušší konkretizace obecných poznatků pro využití v libovolném výrobkovém oboru pro libovolnou úroveň komplexnosti výrobku,

- vyšší úroveň přenositelnosti poznatků (transfer know-how) mezi jednotlivými výrobkovými obory, úrovněmi komplexnosti i částmi výrobků,
- vyšší podpora flexibility konstruktérů z hlediska výrobkových oborů, výrobků v oboru i jejich částí,
- vyšší využitelnost poznatků z jiných vědních oborů,
- vysoká systematičnost, přesto vysoká podpora kreativity, flexibility a kompatibility s tradičními postupy konstruování,
- přirozený postupný vznik znalostní báze zaznamenaných „tacit knowledge“ (osobních znalostí) konstruktérů v terminologicky jednotné a shodně strukturované dokumentaci k vyřešeným konstrukčním projektům.

Základní struktura uspořádání poznatků

- “mapa” poznatků EDS je členěna do čtyř oblastí (kvadrantů) (Obr. 5):

- **Teoretické poznatky k technickým systémům** - Theory of Technical Systems – TTS
- **Metodické poznatky k technickým systémů** - Methodical Knowledge related to Technical Systems– MTS
- **Teoretické poznatky ke konstrukčnímu procesu** - Theory of Engineering Design Process – TKP
- **Metodické poznatky ke konstrukčnímu procesu** - Methodical Knowledge related to Engineering Design Processes – MPKP



Obr. 5 - Základní struktura poznatků EDS o a pro konstruování [33]

Tato disertační práce je změřena na využití dvou oblastí z této struktury (Obr. 5). První oblastí je TTS (Theory of Technical Systems), která poskytuje potřebné teoretické poznatky o technických produktech chápaných jako technické systémy, o jejich vlastnostech, třídění

těchto vlastností a o strukturách. Druhá oblast je oblast MPKP (Methodical Knowledge related to Engineering Design Science), která obsahuje metodiku, avšak teorií podloženou, pro navrhování technických produktů s využitím poznatků z teorie technických systémů (TTS).

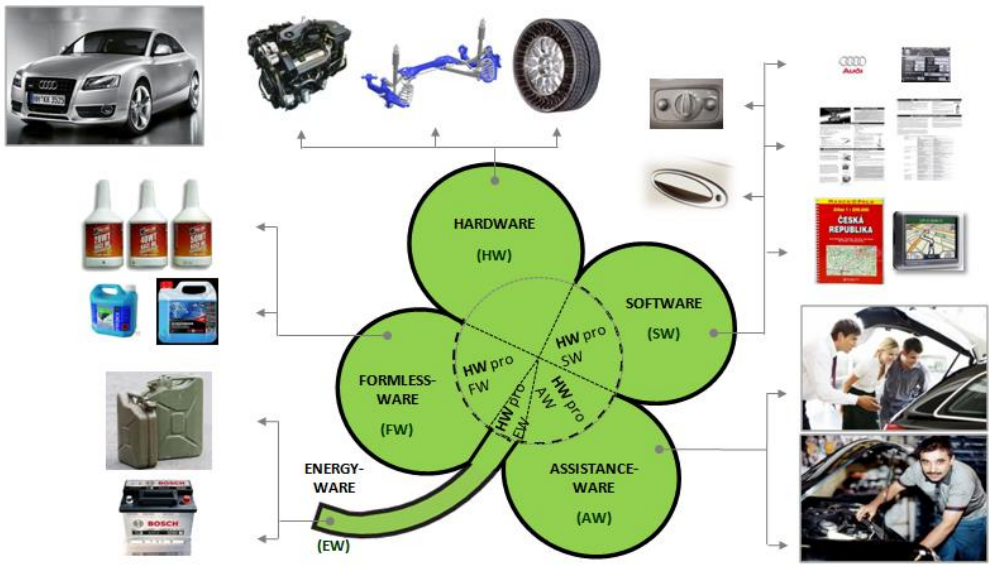
Cílem EDS jako znalostního základu této práce je využití znalostí sloužících k podpoře konstrukčního procesu pro hledání indikátorů vlastností (smluvně a/nebo normativně definujících jednotlivé vlastnosti) a jejich kvalitnější predikci již v prvotních fázích vývoje produktu.

2.2.1 Technický produkt a technický systém v TTS

Pro další práci bude uvažováno o produktu (technickém) jako o technickém systému dle definice vycházející z Teorie technických systémů. Technický produkt je produkt s dominantním inženýrským obsahem [20]. Produkt je definován jako výsledek procesu [13].

Technický produkt může existovat ve formě čtyř základních generických složek a dvou složek doplňkových:

- **hardware** - obecná hmotná (tvarová) složka,
- **formlessware** - beztvará složka,
- **energyware** - energetická složka,
- **software** - informační složka,
- **assistanceware** - servisní/procesní složka,
- **livingware** - živé bytosti (např. při chovu zvířat).

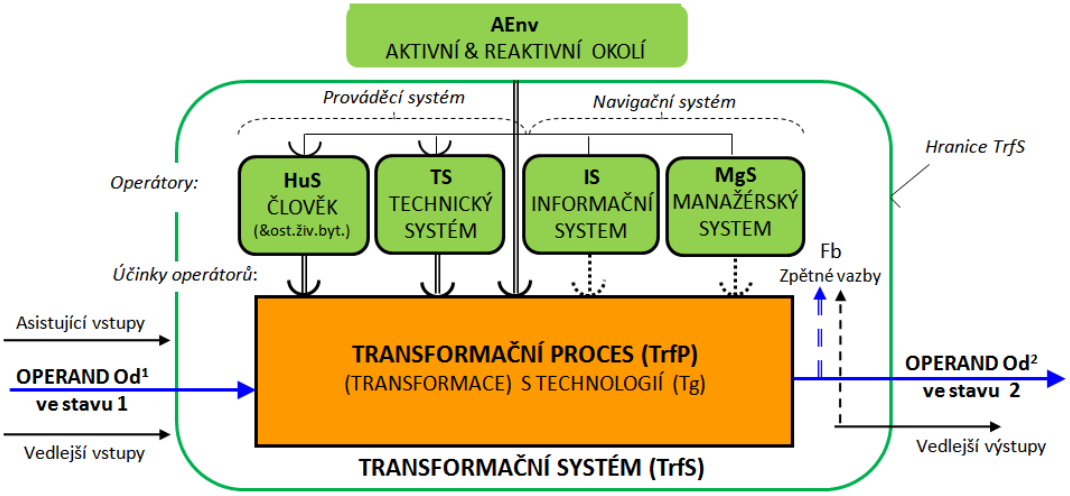


Obr. 6 - Generické složky technického produktu v komplexním pojetí EDS [33]

Technický produkt je chápán jako technický systém (TS) a to ve všech jeho vývojových fázích, nehmotných i hmotných formách vyskytujících se v etapách jeho životního cyklu, který obsahuje všechny výše uvedené generické složky technického produktu v komplexním pojetí EDS [33].

2.2.2 Transformační systém a Transformační proces

Základním teoretickým poznatkem vycházejícím z TTS [21], [34] je Obecný model transformačního systému (TrfS) s transformačním procesem (TrfP) (Obr. 7) znázorňující systém prvků podílejících se na jakékoli přeměně. Model vycházející z TTS znázorňuje přeměnu transformovaného operandu z dostupného vstupního stavu na požadovaný stav výstupní. Této transformace je dosahováno působením přímých a zprostředkovaných účinků pěti operátorů: člověk (Hu), technické prostředky (TS), aktivní a reaktivní okolí (AEnv), (odborný) informační systém (IS) a manažerský systém (MgS) na přeměňovaný operand.



Obr. 7 - Obecný model transformačního systému (TrfS) s transformačním procesem (TrfP) [33]

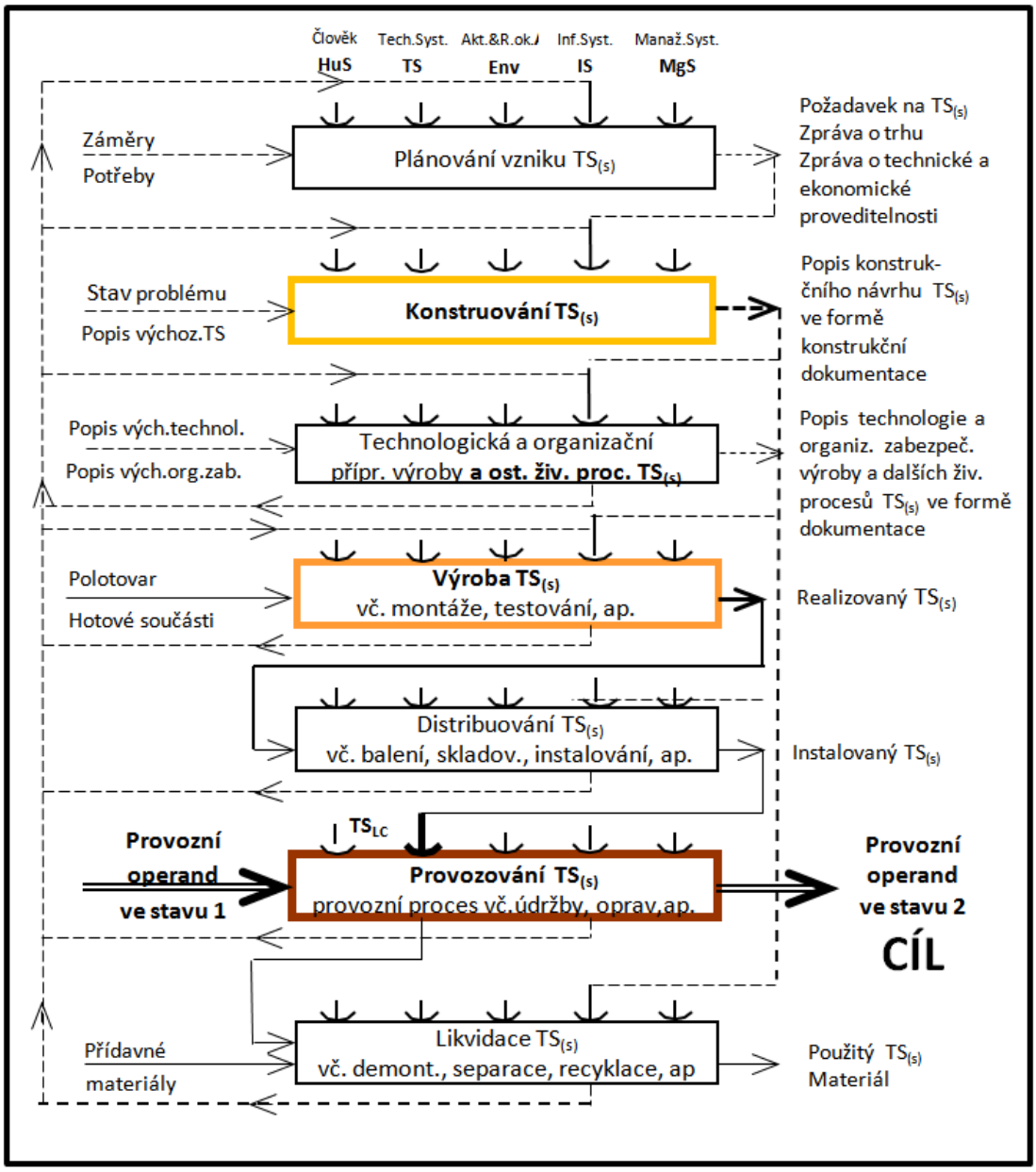
Operátory, jež působí na proces této transformace lze konkretizovat takto:

- **HuS** - člověk a ostatní živé bytosti podílející se nebo zasahující do procesu,
- **TS** - technické prostředky zasahující do procesu, zahrnuje jak výpočetní techniku, tak potřebný software apod.,
- **AEnv** - aktivní&reaktivní okolí - konkurence, dodavatelé, prostředí, zákony, předpisy atd., které přímo nebo nepřímo ovlivňují proces nebo naopak jsou jím ovlivňovány,
- **IS** - odborný informační systém - metody, metodiky, směrnice a přístupy pro racionalizaci činností, zkušeností jak zaměstnanců, tak firmy,

- **MgS** - manažerský informační systém - řídící orgán firmy, hierarchická struktura vedení, všechna psaná i nepsaná pravidla řízení apod.

2.2.3 Model životního cyklu produktu jako série transformačních systémů

Životní cyklus (LC) technického produktu chápaného jako technický systém (TS) lze rozdělit a definovat podle různých hledisek [79] Pro potřeby EDS/TTS a konstruování se jako optimální jeví členění podle transformačních procesů (TrfP) v klíčových etapách LC TS. Jednotlivým TrfP odpovídající transformační systémy (TrfS) potom umožňují např. jednoduše zahrnout do specifikace požadavků na TS, do hodnocení TS apod. řadu důležitých hledisek (např. požadavky jednotlivých TrfS na vlastnosti TS). Ve všech etapách LC je přitom nutné dodržovat a zohledňovat základní „průřezové“ požadavky vztahující se k jednotlivým operátorům, které dále již nejsou pro zjednodušení u jednotlivých etap opakovaně zmiňovány, jako je např. bezpečnost, hygieničnost, ergonomičnost více v [75], ekologičnost, ekonomičnost, soulad s předpisy a zákony, patenty, licencemi aj. Přitom lze zahrnout i rozdílnou předpokládanou kvalitu jednotlivých operátorů (zejména člověka a technických prostředků) v jednotlivých etapách LC (např. odlišnosti ve výrobní, provozní etapě apod.) [21]. Pro neopomenutí všech uvedených hledisek je vhodné navrhovat produkt s pomocí systematické Specifikace požadavků na vlastnosti TS, viz např. [33].



Obr. 8 - Životní cyklus TS - jako série TrfP v životních etapách [33]

Technický produkt/systém, jehož životní cyklus je na Obr. 8 znázorněn, je zde kvůli odlišení od ostatních technických systémů v jednotlivých TrfS označen indexem $_{(S)}$. Technický systém $TS_{(S)}$ má v počátečních etapách formu informací (čárkované toky), počínaje výrobou se přemění do formy hmotné/materiální (plné toky). Technický systém $TS_{(S)}$ má převážně funkci operandu, v provozní/pracovní etapě se však stává operátorem (s výjimkou údržby a oprav, kdy se stává operandem, což není pro zjednodušení znázorněno, ale což je v obecné formě pro údržbu všech operátorů uvedeno v [33].

2.2.4 Vlastnosti technických produktů

Jednu z nejdůležitějších částí Teorie technických systémů dle [34] tvoří Teorie vlastností. Vlastnost technického systému (TS) v pojetí EDS je dle [34] každý „znak, charakteristika,

atribut apod.“ TS jako např. výkon, tvar, velikost, stabilita, životnost, barva, vyrobitelnost, dopravitelnost, vhodnost pro skladování apod., který TS z nějakého hlediska charakterizuje. Každý TS je dle [33] nositelem množiny objektivních (tj. „vrozených“/„inherentních“) vlastností, které jako celek umožňují posoudit „totální kvalitu“ TS.

Každou vlastnost TS lze popsat a dále měřit, porovnávat a hodnotit pomocí smluvní nebo normativní množiny jejích „indikátorů vlastností“ (TS) [33]. Velikost každého „indikátoru vlastností” lze dále [33] specifikovat (měřit, porovnávat a hodnotit) pomocí jedné (přímé) nebo více (nepřímých), (smluvních nebo normativních) souřadnicových „rozměrů“ (v nejširším slova smyslu, tj. měřitelných numericky i nenumericky), tj. pomocí velikosti odpovídajících „proměnných” měřených pomocí smluvních nebo normativních stupnic, příp. řad.

Stupnice a řady pro vyjádření velikosti „rozměrů”/„proměnných” charakteristik vlastností TS mohou být tříděny např. podle [33] takto:

Kvantitativní:

- **poměrné** (číselné) - např. pro délku, hmotnost, tvrdost, absolutní teplotu,
- **intervalové** (číselné) - např. pro relativní teplotu, relativní čas.

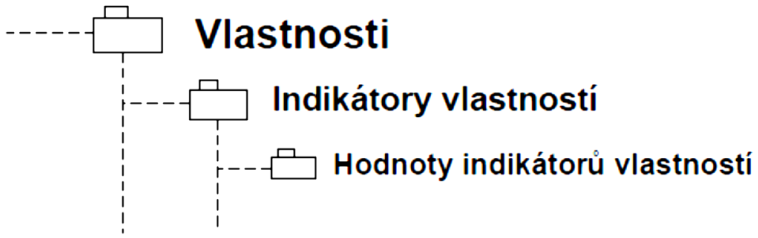
Kvalitativní pořadové:

- **číselné** - např. Mohova stupnice pro tvrdost minerálů,
- **textové** - např. „horký“, „teplý“ pro teplotu, stupnice ECTS pro klasifikaci znalostí.

Kvalitativní jmenovité:

- **číselné** - např. čísla sportovců, čísla součástí na výkresu sestavení,
- **textové** - např. „kladivo“, „kleště“, „šroubovák“ pro ruční nářadí.

Stav každé vlastnosti TS může být jak definován, tak i měřen, hodnocen atd. prostřednictvím stavu indikátorů této vlastnosti, tj. prostřednictvím jejich hodnot (Obr. 9).



Obr. 9 - Vlastnost TS, indikátory vlastností TS, hodnota indikátoru vlastností TS [33]

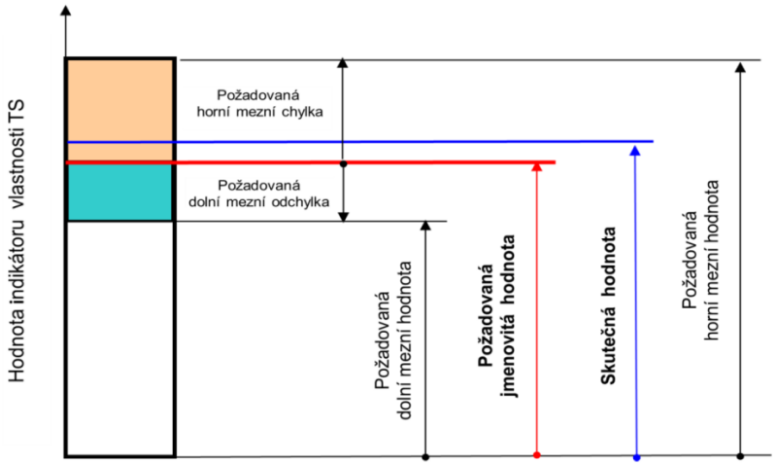
Hodnota indikátoru vlastností TS se dle [33] zjišťuje/měří (přímo nebo pomocí jiných vlastností/indikátorů vlastností TS) porovnáním s odpovídajícím měřítkem/stupnicí. Pro tutéž vlastnost může být i více měřítek/stupnic. Měřítka/stupnice pro hodnoty některých typů

indikátorů jsou stanovena závaznými standardy (např. indikátory pro rozměry, hmotnost, drsnost povrchu), příp. standardními druhy (např. pro tvar, barvu). Pokud závazná měřítka/stupnice neexistují, případně jsou subjektivní (např. pro „náročnost na dopravu“) nebo se časem mění (např. pro estetičnost), je nutné je vždy co nejobjektivněji stanovit (alespoň jejich mezní hodnoty).

Pro docílení, identifikaci, hodnocení, zlepšování apod. požadované budoucí reálné hodnoty indikátoru vlastnosti TS je nutné dle [33] v průběhu konstrukčního procesu uvažovat určité (předpokládané/předepsané) jmenovité, dolní a horní mezní „konstrukční“ hodnoty faktorů TrfS/TrfP životního cyklu TS včetně příslušných zatížení.

S pomocí jednoduchých i počítačově podporovaných myšlenkových/expertních hodnocení, počítačových a/nebo experimentálních dostupných metod AfX (Analýzy z hlediska vlastnosti X) pak mohou být zjištěny či predikovány odpovídající jmenovité, dolní a horní mezní „konstrukční“ hodnoty pro jednotlivé indikátory vlastností TS pro navrhovanou stavební strukturu (viz Obr. 10).

Budoucí hodnotu indikátoru vlastnosti TS lze označovat jako „skutečnou“ (Obr. 10).



Obr. 10 - Relace významných hodnot indikátorů vlastností TS [33]

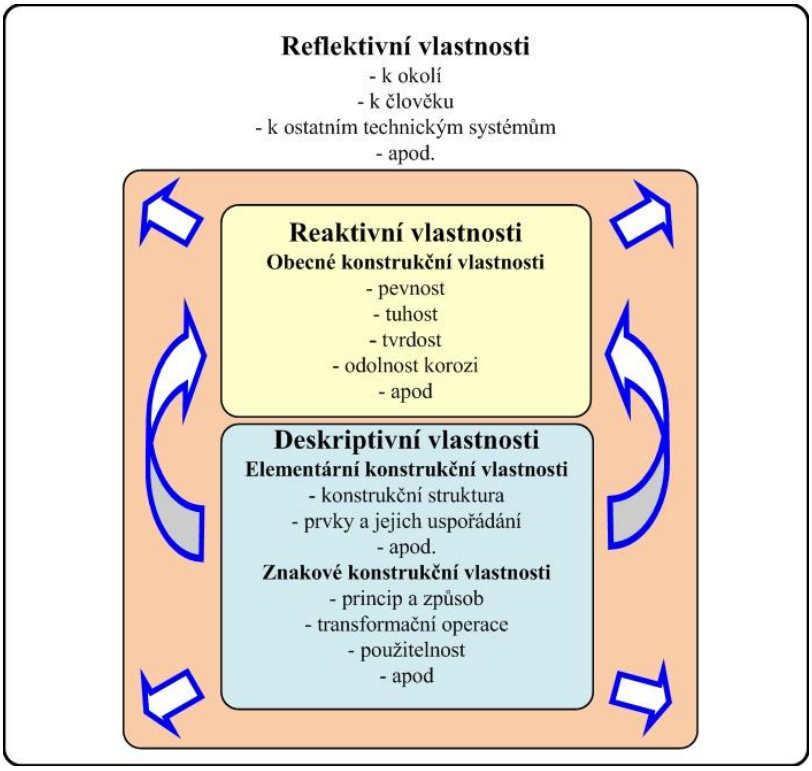
2.2.4.1 Taxonomie vlastností TS

V konstrukčním procesu musejí být zohledňovány požadavky na vlastnosti TS z hlediska celého jeho životního cyklu. Na každý technický produktu jako TS jsou však kladené rozdílné požadavky, neboť právě vyplnění rozličných požadavků je motorem pro další vývoj technických produktů.

Proto, aby některé důležité vlastnosti nebyly opomenuty, je možné využít tzv. taxonomie (třídění) vlastností do skupin, kategorií, tříd apod. V této práci je uvažováno třídění vlastností dle [33], protože bylo prokázáno, že díky tomu, že vychází z Teorie technických systémů, je komplexní a systematicky definované.

Základ taxonomie (Obr. 11) vlastností tvoří tři kvalitativně odlišné domény neboli oblasti vlastností:

- **deskriptivní vlastnosti** - vlastnosti popisné a charakterizující produkt. Mezi tyto vlastnosti patří např. tvary, rozměry, použité materiály, způsoby výroby, tolerance, pracovní znaky apod.
- **reaktivní vlastnosti** - vyjadřují reakce, tj. odezvy, chování TS na působící zatížení libovolného druhu. Příkladem reaktivních vlastností jsou např. pevnost, tuhost, korozivzdornost apod.
- **reflektivní vlastnosti** - vlastnosti popisující reflexe produktu k jeho okolí na základě deskriptivních a reaktivních vlastností. Příkladem těchto vlastností jsou bezpečnost, vyrobitelnost, uspokojivý vzhled a další.



Obr. 11 - Domény vlastností a jejich vzájemný vztah, upraveno dle [33]

Domény vlastností se dále člení dle [33] na třídy vlastností TS, příp. podtřídy, přičemž počet těchto tříd je konečný. Třídy vlastností jsou shodné pro všechny obory, třídy, typy, druhy TS aj. – nejsou tedy oborově ani jinak specifické.

Tyto třídy vlastností (i příslušné vlastnosti) existují objektivně nezávisle na vědomí a snažení člověka.

Obr. 12 - Hierarchická struktura taxonomie vlastností technického produktu dle [33]

2.2.5 Význam vlastností TS pro konstruování TS

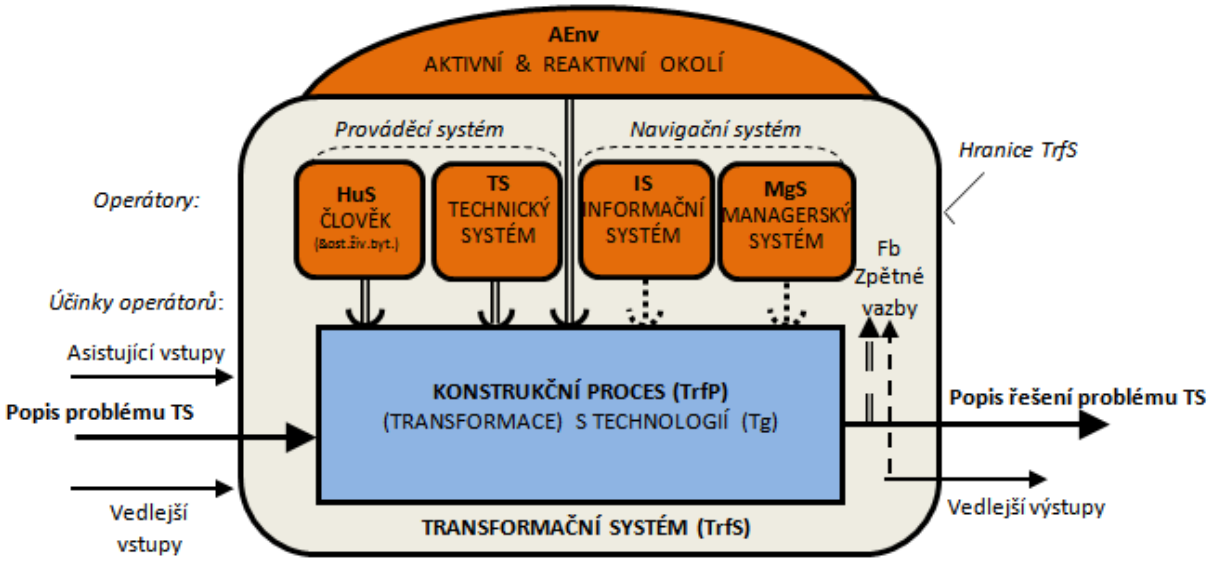
Cílem konstruování TS je dle [33] stanovení takových elementárních konstrukčních vlastností TS, které zajistí jeho požadované reflektivní a příp. i reaktivní vlastnosti (elementární konstrukční vlastnosti jsou přitom závislé na zvolených, příp. zadaných znakových konstrukčních vlastnostech/charakteristikách). Protože za konečné stanovení/specifikace znakových konstrukčních vlastností/charakteristik TS a elementárních konstrukčních vlastností TS (i když byly některé z nich zadány, musí být zahrnuty do finálního konstrukčního popisu TS) zodpovídá „konstruktér“, vyplývá z toho, že: „Konstruktér (lépe konstrukční proces TS) ovlivňuje všechny (tj. deskriptivní, reaktivní i reflektivní) vlastnosti navrhovaného TS již od koncepční fáze.“ [33]

2.2.6 Konstrukční proces

V současnosti používané přístupy ve většině případů řeší konstrukční problém striktně procedurálně, neboť ve své podstatě řeší daný problém bez zohlednění okolních vlivů. Výjimku tvoří přístupy řešení konstrukčních problémů dle poznatků Engineering Design Science. Tento přístup k řešení konstrukčních problémů nebo lépe řečeno konstrukční strategie zohledňuje vliv operátorů a faktorů působících a ovlivňujících z vnějšku konstrukční proces, neboť na konstrukční proces nahlíží jako na transformační proces (viz Obr. 7).

Vycházíme-li z poznatků EDS na bázi TTS, je konstrukční proces druhou etapou životního cyklu produktu a je možné ho zobrazit ve formě transformačního procesu (viz Obr. 13). Významný vliv na proces konstruování má pět operátorů: člověk (Hu), technický systém/prostředky (TS), aktivní a reaktivní okolí (AEnv), (odborný) informační systému (IS) a managerský systém (MgS). Tím, že jsou zohledňovány operátory působící na konstrukční proces, dochází k podchycení eventuálních rizikových vlivů již v etapě konstruování, což má pozitivní vliv na konečné vlastnosti výsledného produktu např. v [70] nebo [71]. Pozitivní vliv na konečné vlastnosti produktů i správně zvolené přístupy této konstrukční strategie byly

mnohokrát ověřeny v rámci konstrukčních projektů v průběhu výuky předmětu ZKM na Katedře konstruování strojů, na které se autor této práce také aktivně podílel, nebo v rámci řešení vědeckovýzkumných úkolů ve Výzkumném centru tvářecích technologií (VCTT) FORTECH [72].



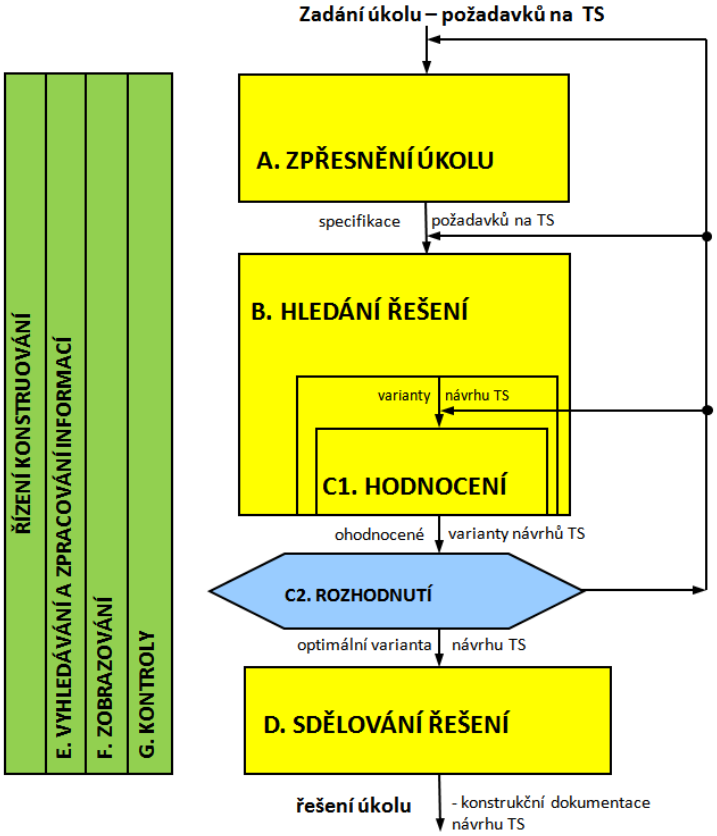
Obr. 13 - Model konstrukčního procesu jako transformační systém dle EDS

2.2.6.1 Teoreticky podložený konstrukční proces

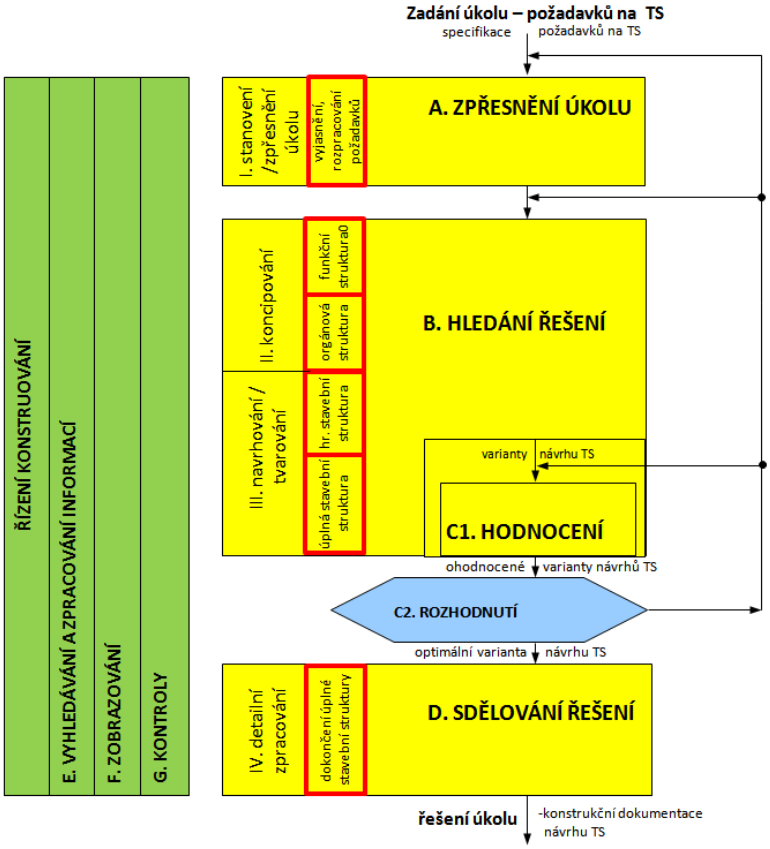
Teoreticky podložený Obecný model postupu konstruování (OMPK) musí splňovat několik podmínek [33]:

- všechny fáze a operace jsou racionální (i když mohou být vyřešeny na základě instrukcí, intuitivně, příp. i náhodně),
- kterýkoli navrhovaný technický produkt (objekt řešení/transformace) lze abstrahovat až na úroveň jediného společného/zobecněného představitele - TS, aniž by tím byl jeho postup konstruování ovlivněn. Z poznatků o TS konstrukčním procesu vyplývá, že lze uvedené podmínky považovat za splněné.

Vyjdeme-li z nejjednoduššího instruktivního Obecného modelu postupu řešení problému (Obr. 14) a ten dále rozšíříme o teoretické základy vycházející z EDS na bázi TTS, je možné získat základní strukturu teoreticky podloženého Obecného modelu postupu konstruování (OMPK) se sérií dílčích etap (Obr. 15).

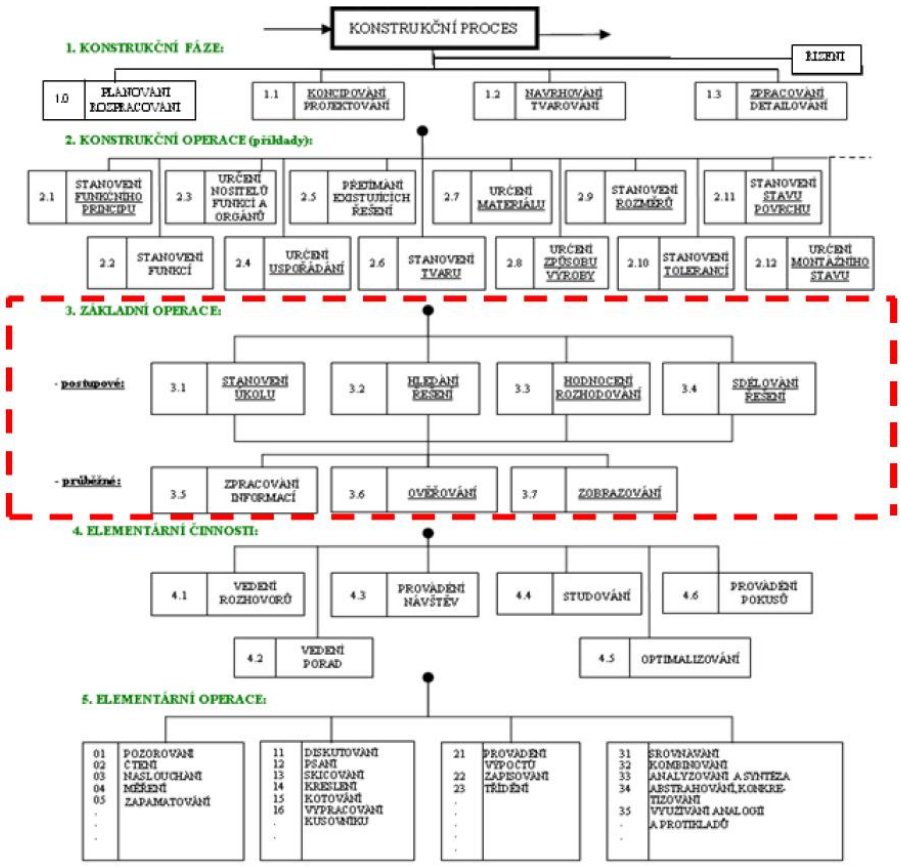


Obr. 14 - Obecný model postupu řešení problému



Obr. 15 - Základní struktura teoreticky podloženého OMPK [20]

Konstrukční proces je možné dále dle [33] rozčlenit na hlavní činnosti/operace, které jsou prováděné postupně, a na činnosti asistující, které jsou prováděné průběžně, přičemž členění konstrukčního procesu (Obr. 16) lze zobrazit ve formě hierarchické struktury činností, která rozdělí činnosti („operace“) konstrukčního procesu (KP) do pěti hierarchických úrovní. Struktura má „fraktálový“ charakter, tzn., že každá z nižších úrovní může být obsažena v kterékoli operaci vyšší úrovně. Ke každé z uvedených operací náleží teoretické i metodické poznatky. Pokud jsou metodické poznatky (tj. metody, principy a údaje) formalizovatelné, příp. i algoritmizovatelné, lze příslušné operace racionalizovat tradičními prostředky (např. tabulkami, formuláři) nebo i počítačovými prostředky (Computer Aided Software) a ty pak modulárně skládat do vyšších hierarchických operací. Hierarchické členění operací tudíž umožňuje jejich relativně nezávislý racionální rozvoj i využití. Řada z nich zejména na nižších obecných úrovních se takto rozvíjí, osvojuje a uplatňuje i mimo oblast konstruování.



Obr. 16 - Členění KP na hierarchické, opakující se činnosti/operace dle [33]

2.2.7 Konstrukční situace

Každý konstrukční úkol je řešen za určité konkrétní Konstrukční situace, která ovlivňuje způsob konstruování a tím i produktivitu KP a konstrukční kvalitu a konkurenceschopnost navržených TS.

Jestliže vyjdeme z modelu konstrukčního systémů (KS) ve formě Transformačního systému, lze všechny základní ovlivňující faktory dle [33] přehledně uspořádat, analyzovat a při řešení konstrukčních úkolů respektovat, vhodně využít, příp. i v dostupných možnostech aktivně ovlivnit ve prospěch produktivity KP i konstrukční kvality a konkurenceschopnosti navržených TS.

Působící faktory konstrukční situace [33]:

1. **Aktivní a reaktivní okolí KS:**

- **Faktory globální** (světové/národní):
  - politika (ekonomická, sociální, …),
  - know-how (věda, znalosti, technologie, …),
  - trh:
    = zboží (konkurence, ceny, …),
    = pracovní síly (zaměstnanost, …),
    = subdodavatelů (materiály, polotovary, komponenty, …),
    = služeb (doprava, obchod, servis, …),
    = financí (dostupnost, podpory, …).
- **Faktory podnikové** (celkové/lokální):
  - výrobní program (sortiment, vazby, …),
  - strategie (dlouhodobý plán rozvoje, obchodu, …),
  - velikost podniku (malá, střední, velká, …),
  - typ výroby (kusová, dávková, sériová, hromadná, kontinuální, …),
  - potenciál podniku (lidský, výrobní, finanční, …).

2. **Konstrukční systém:**

- **Faktory konstrukčního potenciálu** (oborové i speciální):
  - konstruktéři (vzdělání, zkušenost, postoje, …),
  - pracovní prostředky (počítače, zařízení, pomůcky, …),
  - pracovní okolí/prostředí (tvůrčí klima, motivace, …),
  - odborné informace (dostupnost, druh, forma, kvalita, nosiče,…),
  - manažerský systém (hierarchický, maticový, projektový, …),
  - konstrukční proces (transparentnost, systémovost, flexibilita,…).

3. **Vstup a výstup KS/KP:**

- **Faktory zakázkové:**
  - produkt:
    = typ (unikátní, variantní, spotřební, …),
    = originalita (nový, rekonstruovaný, přizpůsobený, …),
    = komplexnost (komplexní strojní zařízení, stroj, mont. skupina,…),
    = náročnost (funkce, jejich parametry, …),
    = ostatní požadavky (bezpečnost, spolehlivost, …),
  - konstrukční etapa:
    = čas. náročnost (termíny, koordinace, …),
    = ostatní požadavky (dokumentace, schvalování, …),
  - výrobní etapa (požadované množství, časové a cenové limity, …),
  - zákazník (náročnost, kvalifikace, zkušenost, solventnost, …).

2.3 Projektový management a jeho základní principy

2.3.1 Přehled hlavních směrů Projektového managementu a jejich standardů

Projektový management je dle [28] disciplína zahrnující plánování, organizování a řízení, které směřuje k úspěšnému zvládnutí a dosažení plánovaných specifických cílů.

Projektový management (PM) je těžké rozdělit na přesně definované směry nebo „školy“, neboť téměř každý autor zabývající se touto problematikou si definuje pro své účely ten svůj směr, kterým se bude v dané problematice ubírat. Někdy se také hovoří o tzv. teorii projektového managementu, avšak ta jde jen složitě podchytit pro její přesnou definici. Lepší by bylo mluvit o jakémsi soupisu nejlepších zkušeností mnoha významných manažerů, kteří si vyzkoušeli projektový management v praxi a pak se rozhodli o nabyté zkušenosti podělit. Dalším důvodem, proč lze PM jen těžko definovat, je i to, že zahrnuje velký prostor. Tato problematika pokrývá množství různých proměnných, které se samy o sobě jen těžko měří a popisují, a navíc se jedná především o vzájemnou interakci lidí s lidmi, kde každého je nutné pozorovat jako samostatnou proměnnou.

Z toho důvodu ani teorie PM nemohou být přesného instruktivního charakteru, neboť vezme-li se v úvahu, že pomocí PM je možné řešit [16] problémy sociálních projektů, koncertních turné, ale také stavbu továrny, je nutné teoretické předpisy udělat dosti obecně.

I přes výše uvedené je možné nalézt několik větších směrů a také v nich získat odpovídající standardy, ale téměř vždy se, jak je uvedeno v [16], jedná o práci určité skupiny autorů, která

do práce vnáší nejen své myšlenky, ale také vlivy sociálního a kulturního prostředí. Proto je nutné tento směr PM vnímat ne jako předpis, ale spíše jako doporučení nejlepších ze zkušeností vyplívajících znalostí dané skupiny nebo autora, jak je již uvedeno výše. Dále je nutné dodat, že tak, jako je každý člověk jedinečný, tak i každý projekt je jedinečný, a to co fungovalo v jednom projektu, nemusí fungovat při druhém.

Na druhou stranu dle [16] všechny směry PM mají podobnou základní strukturu a používají stejné metody i pojmy.

Mezi hlavní světové směry/standardy PM lze zařadit PMI, IPMA, PRINCE 2 a ISO 10 0006, které se liší místem vzniku, smyslem vytvoření i způsobem zpracování. Stává se, že jsou směry PM zaměňovány s metodikami a nástroji tvorby softwaru (např. SSADM Struktural Systems Analysis and Design Method, RUP Rational Unified Process). Tyto metody a postupy je možné používat, ale jejich základ tvoří principy systémového a softwarového inženýrství. Samotný PM má mnohem větší rozsah působení a tyto metodiky využívá jen jako dílčí nástroje.

PMI - Project Management Institute

Tento institut vytváří a udržuje standard PMBoK - Project management Body of Knowledge. Jedná se dle [56] o profesní sdružení firem a individuálních projektových manažerů, které má přes 265.000 aktivních členů ve více než 170 zemích světa.

Tento směr PM vznikl v sedmdesátých letech na základě standardů US Army, které byly v oblasti projektů převzaty i do průmyslových standardů USA (ANSI).

Filosofie těchto projektů byla bez problémů aplikována do komerčních projektů, čímž byl položen základ směru PMBoK verze 1. Nyní je pracováno na verzi 6.

Základ PMBoK [56] tvoří 5 procesních skupin a 9 znalostních oblastí, které vytvářejí rámec 42 dílčích procesů užívaných k řízení projektů. Veškeré procesy a procesní kroky mají definované své vstupy a výstupy a nástroje transformace, tedy metody a techniky.

PRINCE 2

Jedná se o britský standard, který spravuje APM Group Ltd. Jedná se opět dle [51] o procesní pojetí, které vzniklo na základě zadání britského Ministerstva průmyslu a obchodu. Tento standard byl podporován a zároveň vyžadován britskou vládou, z toho důvodu došlo k jeho velkému rozšíření mezi firmy ucházející se o zakázky zadané britskou vládou a následně mezi jejich dodavatele.

ISO 10 006

Zde se nejedná o kompletní směr PM s možnou standardizací, jak tomu bylo u výše uvedených dvou standardů. Jedná se o takzvanou Směrnici jakosti v managementu projektu [14]. Tato směrnice obsahuje návod, jak by měl být popsán subsystém integrovaného manažerského systému na bázi platformy ISO 9000:2000 s tématikou řízení projektů.

Procesní pojetí a obsah je velmi podobný standardu PMBoK od PMI.

IPMA

Oproti předchozím se jedná o kompetenční pojetí PM. Celým názvem IPMA znamená Competence Baseline - ICB, která je spravovaná profesní organizací International Project Management Association. Není dle [16] zaměřen na přesnou podobu definovaných procesů a jejich aplikaci, ale na schopnost a dovednost projektových manažerů a jejich týmů.

Směr vznikal v šedesátých letech na základě norem několika evropských států. Nediktuje procesy, ale doporučuje určité kroky a vhodná opatření na konkrétní situaci. Je zde ponechán velký prostor pro kreativitu a tvořivost.

Základní filosofie a postupy jsou velmi podobné předchozím směrům. Problematika projektového řízení je v IPMA rozdělena do tří základních oblastí [11]:

- **technické kompetence** - metody, techniky, nástroje apod.,
- **behaviorální kompetence** - měkké kompetence (např. motivace skupiny podřízených),
- **kontextové kompetence** - integrační a systémové znalosti a dovednosti.

Dále jsou dle [11] tyto oblasti členěny na elementy kompetencí, které popisují určitá témata, doporučují procesní kroky a značí vazby mezi elementy.

2.3.2 Hodnocení a závěry

Projektový management a samotné projektové řízení, ačkoliv je možné nalézt jeho popis a snahu o jeho standardizaci, záleží a bude vždy záležet především na lidech, kteří ho provádějí a svým působením ovlivňují. Tato disertační práce si neklade za cíl definovat nový směr v pohledu na Projektový management nebo hodnotit stávající tendence, ale pro potřeby práce bylo nutné zmapovat danou problematiku.

Z provedené analýzy vyplývá, že přes rozdílné pohledy autorů a autorských týmů je možné na tuto oblast v každé práci nalézt podobné metody a přístupy.

V další práci jsou uvedeny vybrané vhodné metody z PM napříč směry PM a ty jsou pro potřeby práce dále rozebrány a aplikovány pro upotřebení v průběhu konstrukčního procesu.

2.3.3 Projektový management a konstrukční proces

Každý konstrukční proces je svým způsobem jedinečný, neboť se při něm řeší jedinečný problém, od kterého se vyžaduje taktéž jedinečné řešení. Stejně tak tomu je i u projektů, kdy každý projekt je taktéž jedinečný, ať již svým zadáním nebo dispozičními zdroji (finance, lidé apod.). Podíváme-li se na konstrukční proces jako na projekt, můžeme konstrukční proces stejně jako projekt organizovat i řídit [77]. Nasazení projektového managementu neznamená to, že budou okamžitě rozpoznány a eliminovány všechny chybné kroky a rozhodnutí v procesu, ani to, že dá okamžitou odpověď na to, jakou konstrukční variantu vybrat. Jeho funkce má být taková, že včas nabídne dostupné strategie a principy, se kterými bude možné rizikové situace předcházet, eliminovat vliv nežádoucích efektů a při rozhodování využívat více informací. Management nenajde svoje místo v hektických okamžitých rozhodnutích, ale v situacích, které jsou plánované a logicky definovatelné a kterým předcházejí plánované kroky.

Tato oblast, která je doposud poměrně málo využívána v konstrukčním procesu, skrývá značný potenciál pro zvýšení tržní úspěšnosti konstruovaných technických systémů (TS) a zefektivnění jejich navrhování s ohledem k celému životnímu cyklu [74] nebo [76]. V Projektovém managementu je možné nalézt celou řadu metod, přístupů a doporučení, které jsou využitelné i v konstrukčním procesu. Některé z nich jsou představené v dalších odpovídajících částech této práce.

Řízení projektů

Každý projekt má za cíl dosáhnout požadovaného výsledku s minimem nákladů a s velkou pravděpodobností úspěchu.

Tento cíl může být dosažen jen tehdy, když:

- jsou zohledněny všechny ovlivňující operátory. Pakliže libovolný projekt pozorujeme jako transformační proces, působí na něj stejných pět operátorů jako na všechny kompletní fáze životního cyklu produktu (člověk, technický systém, aktivní a reaktivní okolí, manažerský systém a informační systém) - všechny tyto operátory musí být v optimálním souladu pro dosažení požadovaného výstupu/cíle projektu,
- všichni spolupracující zaměstnanci jsou schopni a motivování dosáhnout stejného cíle,
- je k dispozici dostatečné množství zdrojů (materiálových, lidských, finančních apod.),
- je projekt správně veden.

Řízení projektů znamená:

- jednorázové úkoly připravit, naplánovat, ohodnotit a organizovat,
- tyto úkoly (většinou v týmu) cílevědomě splnit,

- sledovat naplnění úkolů a zajistit dosažení cílů,
- úspěšně uzavřít projekt a ukončit ho v souladu s na něj kladenými požadavky a cíli.

Projekt

Projektem se myslí [64] dočasné úsilí k vytvoření jedinečného, komplexního produktu nebo služby.

Projekt je plán, záměr nebo úmysl, který je v zásadě rozpoznatelný pomocí jednorázových definovaných podmínek:

- cíl - požadavek na produkt nebo službu,
- omezení - časové, lidské, materiální,
- omezení vůči ostatním projektům a úkolům,
- cesta k dosažení cíle,
- stupeň inovace - výsledku nebo způsobu dosažení výsledku,
- komplexita - výsledku nebo způsobu dosažení výsledku,
- nejistota - dle stupně inovace.

Úrovně projektu

Každý projekt má jasné cíle a úkoly, které je potřeba dosáhnout. Tyto úkoly se mohou definovat na různých úrovních [31]:

- **Cíl** - popisuje verifikovatelnou formu výsledku - Co musí být dosaženo?
- **Vize** - popisuje řešený problém nebo prováděný úkol - Co má být provedeno?
- **Úkol** - konkrétní činnosti - Co se musí udělat?
- **Omezení úkolu** - dává rozhraní a omezení konkrétního úkolu - Co patří k úkolu a co ne?
- **Předání výsledku/řešení** - výsledkem je produkt nebo služba - Co má být předáno?

Management

Management je úkolem manažerů, kteří řídí naplnění pro projekt důležitých předpokladů. Tyto předpoklady nejsou striktně dané, ale musí být vypracované. Skupiny předpokladů pro zdárné vedení projektu jsou dle [31]:

- přesná definice, koncepce a vymezení projektu,
- plánování a požadavky na zdroje,

- plánovaní, kvalifikace a motivace zaměstnanců,
- plánování, organizování a kontrola projektu.

3 Analýza možností predikování vlastností TS

Všechny vlastnosti TS spolu dle [33] vzájemně (obecně) souvisejí. Pro konstruování je nezbytné znát, příp. mít k dispozici kvantitativní nebo alespoň pseudokvantitativní vzájemné závislosti (hodnot charakteristik) jednotlivých reflektivních, reaktivních a deskriptivních vlastností TS (velmi známé jsou např. poznatky z nauky o pevnosti, pružnosti apod.). Obsah, forma a dostupnost těchto poznatků rozhodují jak o kvalitě budoucího TS, tak o efektivnosti a účinnosti konstrukčního procesu. Nejsou a ani to nemohou vždy být jen výpočtové vztahy v matematické formě (potřebujeme např. i poznatky o vyrobitelnosti, ergonomii apod.).

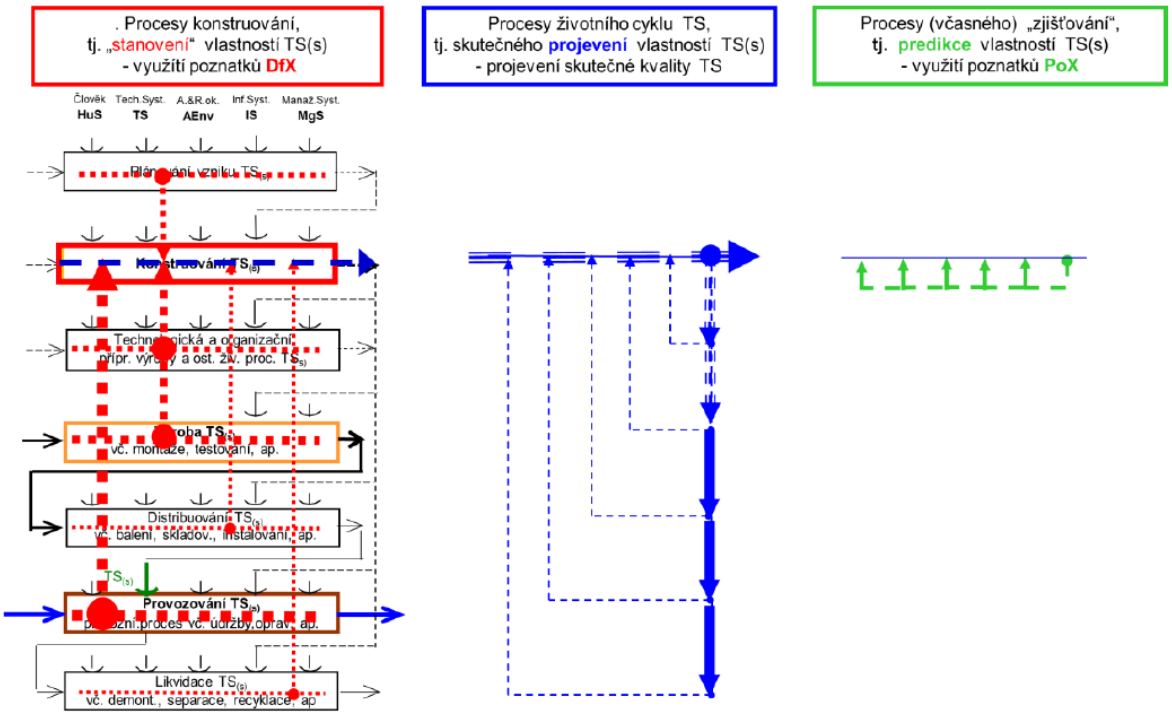
Účelem je predikce/zjištění jednotlivých vlastností navržené stavební struktury TS dříve, než se ve skutečnosti (v životním cyklu TS) projeví (např. pevnost, vyrobitelnost, dopravitelnost apod.).

Na chování TS lze pohlížet také jako na (reaktivní) vlastnost TS, avšak musí být navíc specifikováno uvažované (okamžité, krátkodobé nebo dlouhodobé) zatížení (v obecném smyslu) v daném aktivním a reaktivním okolí a čase. Velikost zatížení lze specifikovat analogicky jako vlastnosti TS, tj. pomocí (smluvních nebo normativních) hodnot (konstantních nebo proměnlivých) zatěžovacích charakteristik. Chování TS bude proto nadále v souladu s [33] označováno pod pojem vlastnosti TS, pokud nebude třeba zdůraznit nějakou zvláštnost vyplývající z jeho „dynamického“ charakteru.

Na obrázku (Obr. 17) je znázorněné stanovení, projevení a predikce vlastností TS ve vztahu ke konstrukčnímu procesu. Je zde dále vidět rozdíl mezi konstruováním z hlediska vlastností (DfX) a predikcí vlastností (PoX).

PoX (Prediction of X) - vyjadřuje, jak je na dané konstrukci (stavební struktuře) TS závislá únosnost, spolehlivost, vhodnost pro vyrobení, pevnost, tuhost, korozivzdornost, …

DfX (Design for X) - vyjadřuje, jak optimálně volit konstrukci (stavební strukturu) TS pro požadovanou únosnost, spolehlivost, vhodnost pro vyrobení, pevnost, tuhost, korozivzdornost, … a jak závisejí tyto a další jednotlivé reflektivní, reaktivní a deskriptivní vlastnosti TS navzájem.



Obr. 17 - Vztah mezi stanovením, projevením a predikcemi (hodnot indikátorů) vlastností TS v jeho životním cyklu dle [33]

3.1.1 Využití teorie vlastností TS pro poznatky o predikování vlastností

Všechny reaktivní a reflektivní vlastnosti TS závisejí na jediné třídě vlastností, která patří spolu se znakovými vlastnostmi TS do domény deskriptivních vlastností:

Elementární konstrukční vlastnosti:

- **Pro stavební strukturu TS:**
  - prvky stavební struktury,
  - jejich uspořádání.
- **Pro prvky stavební struktury TS:**
  - tvary,
  - rozměry,
  - materiály,
  - způsoby výroby,
  - stavy povrchů,
  - odchylky od jmenovitých hodnot.

Proto, aby se vlastnosti mohly predikovat, je napřed nutné si je rozčlenit do tříd, podtříd atd. a ty pak ohodnotit podle indikátorů vlastností. Díky predikování lze získávat určité predikované indikátory vlastností a díky nim může být zpětně usuzováno na budoucí chování TS.

3.1.2 Taxonomie poznatků o predikování vlastností

Poznatky PoX jsou podle všech dostupných pramenů doposud nesystematicky soustřeďovány pouze podle vědních, společenských, inženýrských, výrobních a řady dalších druhů oborů, do kterých příslušná skupina vlastností X náleží (je jejich předmětem).

Vzhledem k podstatě poznatků PoX je zřejmé, že optimální základnou pro jejich systematické (a navíc i shodné) třídění pro potřeby EDS a konstruování vůbec je taxonomie vlastností TS.

3.1.3 Poznatky PoX pro konstruování

Jedná se o poznatky (metody, pravidla, údaje) pro predikci, tj. včasné zjištění/identifikaci hodnot/charakteristik dané vlastnosti X z elementárních konstrukčních vlastností dané (navrhované, příp. i existující) stavební struktury TS (obecně: stavební struktury uvažované třídy TS na libovolné hierarchické úrovni abstraktnosti, případně komplexnosti).

Chování (odezva) TS jako vlastnost TS může být zjištěna ještě před samotnou realizací TS vhodnou metodou predikce.

Predikování vlastností může probíhat [33]:

- **zkušeností** - odhadování budoucího chování na základě dříve nabytých znalostí a zkušeností,
- **analyticky** - výpočty reakcí a chování TS na základě přímých fyzikálních metod, výpočty na modelech TS s použitím poznatků a metod „Prediction of X" (PoX) pro predikce vlastností/chování TS (bez použití i s použitím počítačové podpory), výpočty na základě fyzikální analogie, Case Based Reasoning, pomocí matematických modelů apod.,
- **experimentem** - měření a testování na virtuálních či na fyzických modelech TS, případně vzorcích částí TS, nebo na reálném prototypovém, případně na finálním TS, diagnostiky na existujícím TS a sběru informací od zákazníků TS.

Snahou je (co nejvčasnější) porovnání získaných výstupu z predikování s požadovaným chováním TS (požadovanou odezvou), hodnocení a rozhodnutí o dalším postupu. Protože predikování pomocí zkušeností lze jen těžko popisovat a dále více rozebírat, bude se práce zaměřovat na metody predikcí spadající do skupin analytických a experimentálních.

3.1.4 Analytické predikování vlastností TS

Vedle běžně v konstrukční praxi používaných analytických výpočtů, jako jsou pevnostní výpočty apod., existuje celá řada metod, které se používají pro predikování např. v oblasti řízení projektů a stanovování jejich nákladů [17] nebo [18]. Z uvedené analýzy konstrukčního procesu je zřejmé, že touto problematikou se ve vztahu ke konstrukčnímu procesu nikdo nezabývá, ačkoliv stejně jako řízení i predikování vlastností TS pomocí metod PM nabízí další možnosti rozvoje pro konstrukční proces.

3.1.4.1 Časové řady

Časová řada je náhodná veličina, která dle [61] se mění v závislosti na čase. Jedná se o posloupnost věcně a prostorově srovnatelných pozorování (dat), která jsou jednoznačně uspořádána z hlediska času ve směru minulost - přítomnost.

Analýzou a případně i prognózou časových řad se rozumí [55] soubor metod, které slouží k popisu těchto dynamických systémů a případně k předvídání jejich budoucího chování. S chronologicky uspořádanými daty se běžně setkáváme v nejrůznějších oblastech života. Příkladem mohou být kursy cizích měn, nezaměstnanost, meteorologické ukazatelé apod.

Jednorozměrný model časové řady $y_t = f(t, \varepsilon_t)$ je považován za základní, kde y_t je hodnota modelovaného ukazatele v čase t, t je časová proměnná, $t = 1,2 \ldots n$ a ε_t je hodnota náhodné složky (poruchy) v čase t.

Klasický (formální) model, kde jde pouze o popis forem pohybu a nikoliv o poznání věcných příčin dynamiky časové řady, vychází z dekompozice řady na dle [55] čtyři formy (složky) časového pohybu:

- trendovou T_t
- sezónní S_t
- cyklickou C_t
- náhodnou ε_t,

přičemž vlastní tvar rozkladu může být dvojího typu:

- **aditivní**

$$y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon_t = Y_t + \varepsilon_t \tag{3-1}$$

kde Y_t je teoretická (modelová, systematická, deterministická) složka $T_t + S_t + C_t$,

- **multiplikativní**

$$y_t = T_t \times S_t \times C_t \times \varepsilon_t T_t = a_0 + a_1 t \tag{3-2}$$

kdy lze tento tvar logaritmickou transformací převést snadno na tvar aditivní. Souběžná existence všech forem $T_t, S_t, C_t, \varepsilon_t$ není nutná a je podmíněna věcným charakterem zkoumaného ukazatele.

Trend

Trend vyjadřuje dle [55] hlavní tendenci dlouhodobého vývoje hodnot ukazatele v čase. Může být jak rostoucí, tak klesající, nebo se může jednat o časovou řadu bez trendu.

Sezónní složka

Jedná se o dle [55] pravidelně se opakující odchylku od trendové složky, přičemž perioda je kratší než jeden rok. Vzniká jako důsledek změn ročních období, pracovního cyklu, dovolených, svátků atd.

Cyklická složka

Cyklická složka vyjadřuje dle [55] kolísání okolo trendu díky dlouhodobému cyklickému vývoji s délkou vlny delší než jeden rok. Jedná se o cykly demografické, inovační, plánovací, poruchu dynamické rovnováhy ekonomiky atd.

Náhodná složka

Náhodná složka dle [55] zbude po vyloučení trendu, sezónní a cyklické složky. Jejím zdrojem jsou drobné a v jednotlivostech nepostižitelné příčiny. Její chování lze popsat pravděpodobnostně. Přitom tyto náhodné odchylky jsou navzájem nezávislé.

Popis trendové složky

Trendovou složku je dle [55] možné popsat trendovými funkcemi. Nejužívanější metodou odhadu parametrů trendových funkcí je metoda nejmenších čtverců, kterou lze využít, pokud je trendová funkce lineární v parametrech (lineární regresní model).

Lineární trend

Nejčastěji se používá, lze jej využít vždy, chceme – li dle [55] alespoň orientačně určit základní směr vývoje časové řady a rovněž může sloužit v omezeném časovém intervalu jako vhodná aproximace jiných trendových funkcí.

Má tvar

$$T_t = a_0 + a_1 t \tag{3-3}$$

kde a_0, a_1 jsou neznámé parametry a t = 1,2, ... n je časová proměnná. K odhadu a_0, a_1 se využije metoda nejmenších čtverců. Postup je stejný jako u přímkové regrese.

$$Q = \sum_{t=1}^{n} (y_t - \hat{T}_t)^2 = \sum (y_t - \hat{a}_0 - \hat{a}_1 t)^2 \ldots \min \tag{3-4}$$

Odtud se získají normální rovnice

$$\sum y_t = n a_0 + a_1 \sum t \tag{3-5}$$

$$\sum t y_t = a_0 \sum t + a_1 \sum t^2 \tag{3-6}$$

a jejich řešením vznikne

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{t} \tag{3-7}$$

$$a_1 = \frac{\sum t y_t - \bar{t} \sum y_t}{\sum t^2 - n t^{-2}}, \sum \ldots = \sum_{t=1}^{n} \ldots \tag{3-8}$$

3.1.4.2 Fuzzy množiny

Základní myšlenka fuzzy množin je jednoduchá. Pokud nejsme schopni stanovit přesné hranice třídy vymezené vágním pojmem, nahradíme toto rozhodnutí mírou vybíranou z nějaké škály. Každý prvek bude mít přiřazenou míru, která vyjadřuje jeho místo a roli v této třídě. Bude-li škála uspořádaná, pak menší míra bude vyjadřovat, že daný prvek leží někde na okraji třídy. Tuto míru nazýváme stupněm příslušnosti daného prvku k dané třídě. Třída, v níž každý prvek je charakterizován stupněm příslušnosti k této třídě, se nazývá fuzzy množina. Lze také říci, že stupeň příslušnosti vyjadřuje stupeň přesvědčení, že daný prvek patří do dané fuzzy množiny.

Uplatnění fuzzy modelování je dle [45] účelné ve všech případech, kdy se řeší problém spojený s neurčitostí, s nepřesností, případně je problém silně ovlivněn subjektivním přístupem řešitele. Musíme tedy pracovat s neurčitými daty, používání přesných popisů by nás vedlo k idealizování skutečností reálného světa a tedy k odklonu od reality. Fuzzy teorie se snaží pokrýt realitu v její nepřesnosti a neurčitosti.

Fuzzy modelování slouží pro popis jevů, které lze jen obtížně popisovat klasicky (příliš složité či neurčité problémy buď exaktní řešení přímo vylučují, nebo je činí nepoužitelnými).

Základním předpokladem je dle [50] převod verbálních prvků (vágních pojmů, např. vysoký člověk, nízká rychlost) do kvantifikované stupnice. Idea fuzzy množiny je velmi jednoduchá a přirozená. Nejsme-li schopni stanovit přesné hranice množiny (v klasickém slova smyslu) určené vágním pojmem, nahradíme rozhodnutí o náležení nebo nenáležení konkrétního prvku do dané množiny určitou mírou vybranou z předem definovaného intervalu.

V klasické teorii množin prvek do množiny buď patří (úplné členství v množině), nebo nepatří (žádné členství v množině). Fuzzy množina je dle [43] tedy množina, která kromě úplného nebo žádného členství umožňuje i částečné členství. To znamená, že prvek patří do množiny s jistou mírou příslušnosti – stupněm příslušnosti. Funkce, která každému prvku universa přiřadí stupeň příslušnosti, se nazývá funkce příslušnosti. Vzhledem ke klasické teorii množin nabývá stupeň příslušnosti hodnot z intervalu <0; 1>.

Fuzzy množinou dle [45] budeme rozumět uspořádanou dvojici $\tilde{A} = (U, \mu_A)$,

kde U je universum (základní množina),

μ_A je tzv. funkce příslušnosti, definována na U.

$\mu_A: U \rightarrow [0,1]$. Hodnotu $\mu_A(x)$ nazveme stupeň příslušnosti prvku x k fuzzy množině $\tilde{A}$.

1. Je-li stupeň příslušnosti $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$, můžeme s jistotou říci, že prvek x do fuzzy množiny $\tilde{A}$ patří, nebo že prvek x úplně vystihuje pojem, který fuzzy množina reprezentuje. Naopak, je-li $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$, pak prvek x do fuzzy množiny $\tilde{A}$ nepatří. Je-li $0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$, pak x patří do fuzzy množiny $\tilde{A}$ částečně, tj. více nebo méně vystihuje fuzzy množinu $\tilde{A}$.

2. Je-li univerzum diskrétní množina prvků, např. $U = \{a, b, c, d\}$, lze fuzzy množinu $\tilde{A}$ zapisovat takto:

$$\tilde{A} = \left\{\frac{a}{0,2}; \frac{b}{0,3}; \frac{c}{0,9}; \frac{d}{0,1}\right\} \tag{3-9}$$

   kde čísla v jmenovateli představují stupeň příslušnosti $\mu_{\tilde{A}}$ prvků v čitateli k fuzzy množině $\tilde{A}$.

3. Vyjádření fuzzy množiny $\tilde{A}$ pomocí stupňů příslušnosti lze v diskrétním případě univerza U zjednodušit tak, že vynecháme příslušné prvky a budeme psát fuzzy množinu $\tilde{A}$ jako řádkový vektor se složkami rovnými stupňům příslušnosti jednotlivých prvků. S takto vyjádřenou fuzzy množinou můžeme pracovat jako s běžným vektorem jen s tím rozdílem, že budeme používat speciální operace.

Mezi možné aplikační oblasti fuzzy množin lze zařadit:

- Specifikování požadavků zákazníka na daný produkt.
- Slovní popis/definování již specifikovaných požadavků.
- Výrobní plánování s fuzzy parametry.
- Rozhodnutí o budoucí činnosti - např. stavební firma, která má vybrat stavby, které chce v příštím období začít stavět. tj. má se stanovit, kterých konkurzních řízení se daná firma zúčastní. Cílem firmy je stavět pouze takové stavby, které přinesou „velký zisk“, nebudou „příliš drahé“, jedná se o „velmi důležitý projekt“. S podobnými kritérii se v praxi setkáváme často. Nejsou to kritéria jediná, protože rozhodovací situace je v praxi mnohem složitější.
- Rozhodnutí o nákupu strojů a zařízení - mnohé firmy využívají při výkonných procesech různé stroje a zařízení. Tyto však nemají neomezenou životnost, ale postupně se opotřebovávají. Je proto nutné posuzovat, zda je daný stroj ještě „dostatečně v pořádku“, nebo „už nevyhovuje“ a je jej tedy třeba opravit, kdy je „ještě opravitelný“ a kdy naopak již ne, a pak je třeba zajistit stroje a zařízení nové. Při výběrů nových strojů a zařízení je třeba posoudit, nakolik tento nový stroj vyhovuje potřebám dané firmy. Na trhu vždy existuje několik strojů, ze kterých je třeba na základě celé řady kritérií vybrat. Tato kritéria však bývají často slovně formulovaná – „ne příliš drahé“, je s „malou“ hlučností, jen s „nízkými“ vibracemi, ne „příliš náročné“ na obsluhu atd.
- Konkurzní řízení - účelem konkurzního řízení nemusí být pouze výběr nejvhodnějšího pracovníka pro výkon dané činnosti (např. ředitel), ale také výběr firmy, která bude najata na výkon určité činnosti, či výběr nejlepšího projektu. Ve všech případech se posuzuje, nakolik účastník konkurzu vyhovuje stanoveným kritériím.
- Hodnocení kvality - firma, jejímž výkonným procesem je udělovat atesty, posuzuje, jak daný výrobek vyhovuje stanoveným kritériím. V závislosti na posuzovaném objektu pracuje s pojmy jako „dostatečně odolné“, „málo pevné“, „vysoce otěruvzdorné“, „životu nebezpečné“ apod. Nejen uvedené firmy se zabývají kvalitou výrobků. I ve výrobním podniku může existovat třídička výrobků – zmetky mají být vyřazeny. Je proto třeba posoudit, zda je daný výrobek „ještě dobrý“ nebo „už zmetek“.
- Databázové systémy – uvažují se například policie, výzvědné služby či detektivní kanceláře. Ty ve své práci často pracují se svědky vyšetřovaných případů a jejich popisy osob. Svědkové často k popisu používají vágní pojmy jako „vysoký“, „malý“, „hubený“, „světlovlasý“,… Málokdo udá výšku přesně v cm, další pojmy se takto exaktně ani vyjádřit nedají.

- Síťové plánování projektů - do této skupiny lze zařadit úlohy síťové analýzy, ve kterých se pracuje s fuzzy dobami trvání činností, fuzzy velikostí zdrojů, fuzzy relacemi návazností činností, fuzzy cenami, fuzzy termíny aj.
- Personální stav - každá firma se zabývá otázkou stanovení optimálního počtu zaměstnanců v optimální skladbě, tj. zabývá se problémy typu: Je tento počet „ještě dostatečný“? Není už tento stav „nadbytečný“? Jsou odborné znalosti pracovníků „vyhovující“? Při hledání odpovědí na tyto a celou řadu dalších otázek se neuvažuje pouze „normální“ stav firmy, ale také nemoci, dovolené,…
- Školení pracovníků - všichni pracovníci jsou jenom lidé, zapomínají již naučené, novému se musí učit. Musí se proto posuzovat, kdy a jaká školení pro dané pracovníky organizovat v návaznosti na stavu jejich znalostí. V této oblasti se pracuje převážně s „vágními“ charakteristikami pracovníků.

3.1.4.3 Korelační a regresní analýza

Korelace ve své podstatě znamená a vyjadřuje vzájemný vztah mezi dvěma procesy nebo veličinami. Pokud se jedna z nich mění, mění se i druhá a naopak. Pokud se mezi dvěma procesy ukáže korelace, je pravděpodobné, že na sobě závisejí, nelze z toho však ještě usoudit, že by se podmiňovaly, že by jeden z nich byl příčinou a druhý následkem. To samotná korelace nedovoluje rozhodnout. K tomu nelze použít pouze matematický aparát, ale musí se tato závislost (stejně tak jako určení nezávislé a závislé veličiny) logicky zdůvodnit. Základní využití korelační závislosti pro strojírenství bylo představeno např. v [67].

Pod pojmem regresní analýza se rozumí statistické metody, které slouží k odhadování hodnoty tzv. závislé veličiny (někdy též tzv. vysvětlované proměnné) na základě znalosti veličiny nezávislé (resp. vysvětlující proměnné). Zjednodušeně řečeno korelace slouží k analyzování těsnosti (síly) dvou náhodných veličin (ale ne k předpovědi), zatímco regrese hledá způsob této závislosti a umožňuje předpovědi.

Korelační závislost vyjadřuje dle [40] vztah mezi dvěma veličinami, který je kladný, pokud platí $y = kx$, nebo záporný ($y = -kx$). Hodnota korelačního koeficientu (r_{xy}) se pohybuje v rozmezí [-1, +1]. Hodnota $r_{xy} = -1$ značí zcela nepřímou závislost, tedy čím více se zvětší hodnoty první veličiny, tím více se zmenší hodnoty ve druhé skupině veličin. Hodnota korelačního koeficientu $r_{xy} = +1$ značí zcela přímou závislost. Pokud je korelační koeficient $r_{xy} = 0$, pak mezi veličinami není žádná statisticky zjistitelná lineární závislost (hodnoty jsou nezávislé, nekorelované). Výpočet korelační závislosti:

$$r_{xy} = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \times \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \quad (3\text{-}10)$$

nebo po zjednodušení

$$r_{xy} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i \times y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \times \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sqrt{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2} \times \sqrt{n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2}} \qquad (3\text{-}11)$$

Ze známého korelačního koeficientu (r_{xy}) je možné určit koeficient determinace (R), jehož hodnota se pohybuje v rozmezí [-1, +1]. Jedná se o doplňkový údaj ke korelačnímu koeficientu. Koeficient determinace (R) vynásoben 100 udává v procentech tu část rozptylu závislé proměnné *y*, která je podmíněna změnami hodnot nezávislé proměnné *x*. (3-10).

Výpočet koeficientu determinace:

$$R = {r_{xy}}^2 \qquad (3\text{-}12)$$

3.1.4.4 Markovovy řetezce

Andrej Andrejevič Markov byl ruský matematik. Zabýval se posloupností náhodných proměnných, kdy budoucí proměnná závisí pouze na aktuální proměnné a nikoliv na proměnných předchozích. Tato práce se stala základem teorie stochastických (náhodných) procesů. Jeho objevy byly později nazvány Markovovými řetězci.

Markovovy řetězce, jak je uvedeno v [44], patří mezi stochastické procesy, které mají diskrétní časovou množinu *T* a stavový prostor *R*. Výskyt stavu v následné budoucnosti dané podmíněnou pravděpodobností závisí jen na stavu, ve kterém se tento stochastický proces nachází v současnosti. Podmíněná pravděpodobnost P(A/B) udává pravděpodobnost výskytu jevu A za předpokladu, že nastal jev B. Pokud se v předchozích okamžicích vyskytly jiné stavy, pravděpodobnost výskytu stavu *s(n)=j* můžeme zapsat jako podmíněnou pravděpodobnost.

$$P(s(n)=j|s(n\text{-}1)=i,\ s(n\text{-}2)=k,\ ...,\ s(0)=m) \qquad (3\text{-}13)$$

Okamžik (*n*-1) vyjadřuje současnost,

okamžiky (*n*-2),…, 1 představují minulost,

okamžik 0 je okamžikem startu pro stochastický proces a patří také do minulosti,

okamžik *n* vyjadřuje budoucnost.

Markovovův řetězec označuje stochastický proces, který má Markovovu vlastnost. Ta říká, že v každém stavu procesu je pravděpodobnost navštívení dalších stavů nezávislá na dříve navštívených stavech. Chování v Markovových řetězcích je tedy „bezpaměťové“: V každém konkrétním stavu je možno zapomenout historii.

Popis Markovova řetězce

1. vektorem absolutních pravděpodobností p(n)

p(n) = [$p_1(n)$, $p_2(n)$, ..., $p_N(n)$] pro n = 0,1,2,.., kde $p_j(n)$, j = 1, ..., N značí nepodmíněné pravděpodobnosti, proces je v okamžiku n ve stavu j.

2. maticí pravděpodobností přechodu P(n)

P(n) = [$p_{ij}(n)$] = P($s(n)=j$ |$s(n-1)=i$), kde i = 1, .., N a j = 1, 2, .. N a $p_{ij}(n)$ je podmíněná pravděpodobnost přechodu systému ze stavu i do stavu j.

Rozhodovací procesy na Markovových řetězcích

Proces probíhající v systému je dle [44] vyjádřen jako diskrétní náhodná posloupnost s podmíněnými pravděpodobnostmi přechodu, které splňují Markovovu vlastnost. Je možné určit, v jakém stavu se proces v daném časovém okamžiku (kroku) nachází. Pro rozhodování např. v ekonomickém kontextu zavedeme ocenění stavů či přechodů, a pak hledáme kombinace možných průchodů systému jednotlivými stavy.

S přechodem systému ze stavu s_i do stavu s_j je spojen výnos r_{ij} (zisk, ztráta apod.). Výnosy pro všechny dvojice stavů ($s_i=i$, $s_j=j$), kde i,j = 1,..,N tvoří matici hodnocení přechodů:

$$M = \left(\frac{r_{11}, r_{22}, \dots\ r_{1N}}{r_{N1}, r_{N2}, \dots\ r_{NN}}\right) \tag{3-14}$$

Dále je nutné označit střední hodnotu celkového výnosu procesu po n krocích podmíněnou počátečním stavem s_i jako $\mathbf{v_i(n)}$. Platí pro ni rekurentní vztah:

$$v(n) = q + Pv(n-1) \tag{3-15}$$

neboli

$$v_i(n) = \sum_{j=1}^{N} p_{ij}(r_{ij} + v_j(n-1)) = q_i + \sum_{j=1}^{N} p_{ij} v_j(n-1)$$
$$q_i = \sum_{j=1}^{N} p_{ij} r_{ij} \tag{3-16}$$

4 Cíle disertační práce, pracovní hypotézy a použité vědecké metody zkoumání

4.1 Cíle

Cílem teoretické části práce je začlenění přístupů a poznatků pro predikování vlastností technických systémů jak z oblasti Projektového managementu, tak z oblasti analytických metod do konstrukčního procesu. Nových přístupů bude možno využít nejen pro složité, komplexní a multioborové konstrukční problémy, ale také pro analýzu stávajícího stavu konstrukčních řešení.

Tento cíl je možné rozdělit na následující dílčí cíle:

1. Rešerše současného stavu poznání v oblasti konstrukčních procesů.
2. Analýza metod predikování vlastností technických produktů.
3. Rešerše Projektového managementu a analytických metod a výběr vhodných metod pro integraci do konstrukčního procesu.
4. Integrace poznatků PM a analytických metod do konstrukčního procesu.
5. Validace dosažených výsledků při řešení reálných výzkumně vývojových úkolů.
6. Hodnocení získaných poznatků a doporučení pro další výzkum.

4.2 Hypotézy

V souvislosti s hlavním cílem i cíli dílčími se objevilo několik otázek, na které bude tato předložená práce hledat odpověď.

1. Lze nalézt přínosy TTS pro metody Projektového managementu?
2. Lze nalézt analytické metody predikování vlastností technických systémů, které budou snadno proveditelné v konstrukční procesu?
3. Do jakých fází konstrukčního procesu je možné integrovat jak poznatky a metody z Projektového managementu, tak současně i analytické metody?
4. Jak podpořit v konstrukčním procesu zohlednění externích faktorů?

4.3 Použité vědecké metody

Při řešení disertační práce byly využity vědecké metody, bez kterých si nelze představit vznik nových poznatků nejen v teoretické, ale i praktické oblasti. Jednotlivé použité vědecké metody práce představují způsob dosažení cílů. Jedná se o způsob, sekvenci činností, postupy, jakými lze aplikovat základní principy. V průběhu zpracování této práce byly použity metody jak empirické, tak i metody logické a dále bylo využito systémového přístupu a tvůrčích metod.

4.3.1 Empirické metody

Tato skupina metod je založena na pozorování a zkoumání jevů přímo v praxi. Může se jednat o různé testy nebo jen o pozorování provozního chování technických produktů nebo také o rozhovory.

V rámci řešení této práce byly využity níže uvedené empirické metody:

- pozorování,
- rozhovory - jak s odborníky z praxe, tak z akademického prostředí,
- analýza dostupné literatury - rešeršní práce s dostupnou zahraniční i domácí literaturou.

4.3.2 Logické metody

Do této skupiny patří metody, které využívají principů logiky a rozhodování.

V rámci řešení této práce byly využity níže uvedené logické metody:

- analýza - faktické či myšlenkové rozdělení konstrukčního procesu jako celku na jeho dílčí části,
- syntéza - spojování analytickým způsobem získaných poznatků, opětovné spojování dílčích částí do celků,
- abstrakce - návrh integrace poznatků nejprve na nejobecnější úrovni,
- konkretizace - následné konkretizování zobecněných poznatků a jejich specifikace,
- analogie - přenos závěrů o platnosti systematického přístupu jak k projektům dle chápání Projektového managementu, tak ke konstrukčnímu procesu.

4.3.3 Systémový přístup

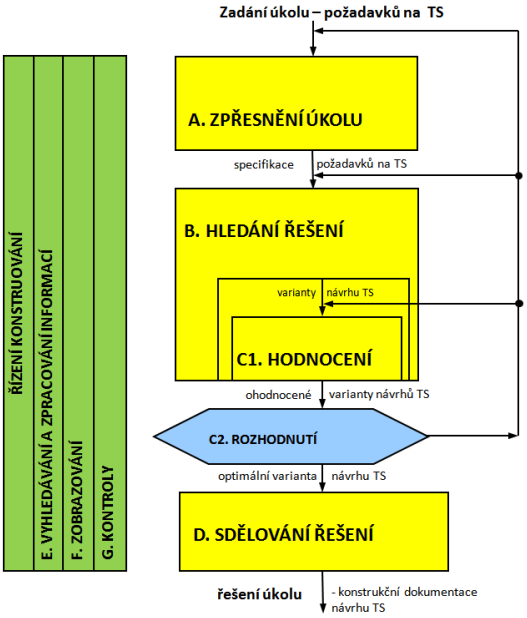
Na předmět zájmu (v tomto případě na konstrukční proces) bylo nahlíženo jako na systém a byly zvažovány jeho vnitřní i vnější vazby na celý životní cyklus produktu.

4.3.4 Tvůrčí metody

Cílem tvůrčích metod bylo vytvořit nové postupy, poznatky i přístupy ke zkoumané problematice disertační práce a současně tyto vhodně graficky zachytit pro jejich pozdější snazší interpretaci.

5 Predikování vlastností TS v konstrukčním procesu

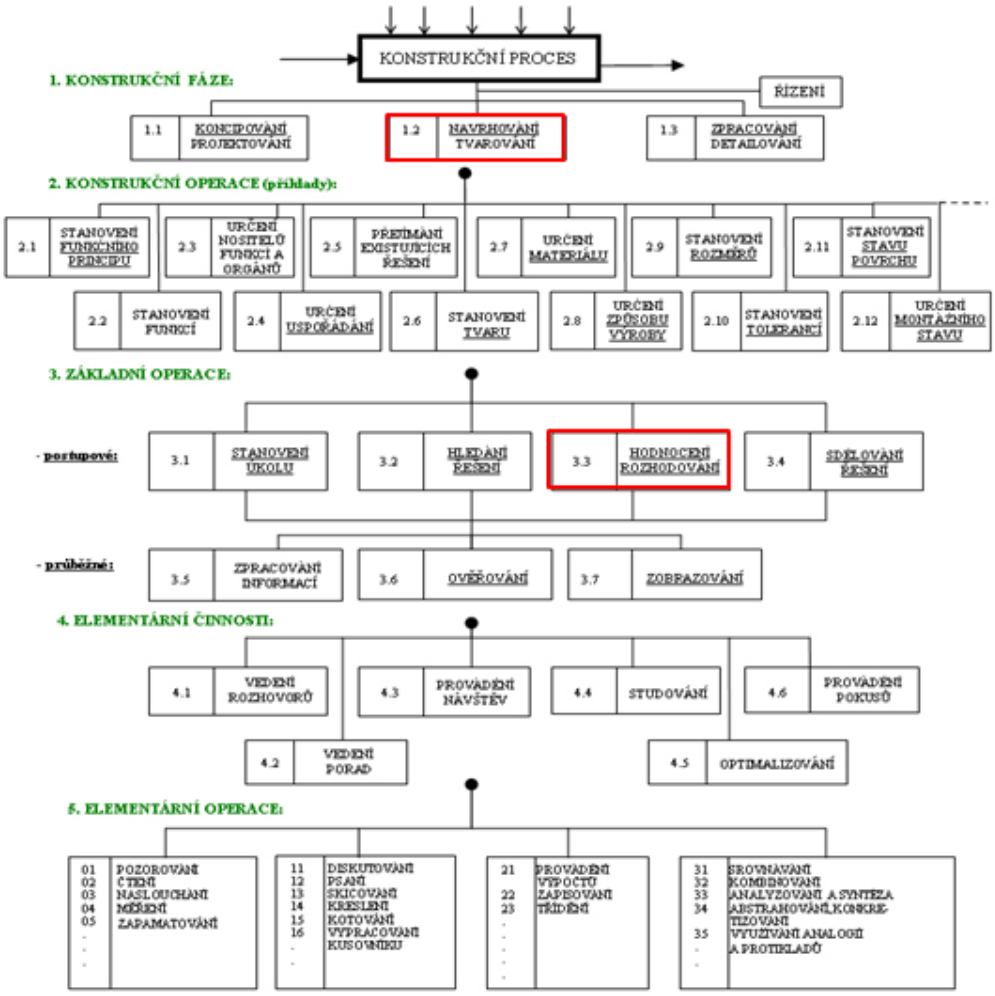
Původně bylo uvažováno integrovat metody predikcí do úrovní postupných operací dle OMPK (viz Obr. 18), tedy zaměřit se vždy jen na celou operaci např. zpřesnění úkolu, hledání řešení a hodnocení, rozhodování a sdělování řešení.



Obr. 18 - Obecný model postupu řešení problému

Toto se však v průběhu další práce ukázalo jako zcela nevhodné, neboť by došlo k opomíjení jednotlivých dílčích činností/operací, které jsou fraktálově strukturované k OMPK. Z toho důvodu bylo rozhodnuto najít vhodné metody predikování vlastností, které by bylo možné integrovat do dílčích činností/operací (viz Obr. 19). Struktura tohoto členění je výhodná v tom, že udává jednotlivé činnosti/operace KP ve fraktálové struktuře a přitom každá jednotlivá činnost/operace může být sama o sobě řešena za pomoci modelu OMPK. To znamená, že každá činnost/operace může být znázorněna s vnitřní strukturou v podobě OMPK.

Výzkumem bylo zjištěno, že nejvhodnější je integrovat metody predikcí vlastností TS do 1. konstrukční fáze a to zejména do činnosti/operace 1.2 navrhování/tvarování (viz Obr. 19). Predikované vlastnosti v této činnosti/operaci se pak projeví ve 3. základní operaci v bloku činností/operací 3.3 hodnocení/rozhodování, neboť právě zde je nutné provádět hodnocení TS na základě jeho predikovaných indikátorů vlastností s následným rozhodnutím, zda jsou či nejsou vlastnosti/chování TS odpovídající požadavkům. Blok činností/operací 1.1 koncipování/projektování nebude pro predikování vlastností dále zohledňován, neboť jeho výzkumu jsou věnovány jiné disertační práce vznikající na katedře konstruování strojů, kde je kladen důraz zejména na kvalitní a úplnou specifikaci požadavků na konstruovaný TS.



Obr. 19 - Členění KP na hierarchické činnosti/operace s vyznačenými činnostmi/operacemi

Snahou integrace metod predikcí do výše uvedených činností/operací je najít takové metody, které pomohou včasnému predikování vlastností/indikátorů na úrovni dílčích činností/operací (Obr. 19). Tyto metody musí být nejen snadno integrovatelné a proveditelné v konstrukčním procesu, ale zároveň musí být i snadno uživatelsky ovladatelné, aby byly dostupné pro co nejširší skupinu uživatelů (konstruktérů).

Jak bylo uvedeno výše, integrace metod se zejména zaměří na dvě dílčí činnosti/operace z KP. Pro jejich lepší pochopení jsou zde podrobněji popsány.

Navrhování/tvarování

Týká se navrhování prostředků a způsobů, které docilují požadovaný stav operandu pomocí svých účinků a případně odstraňují známé nedostatky. V této činnosti/operaci dochází k návrhu elementárních vlastností TS tak, aby byly optimálně splněny požadavky na celkové vlastnosti TS. Je doporučeno navrhnout více než jedno možné řešení, které by splňovalo zadané primární požadavky i požadavky obecně předpokládané. Návrh více variant umožňuje

zapojení větší kreativity do konstrukčního procesu, neboť některé varianty mohou být založeny na zcela jiných funkčních principech, které by při návrhu jen jedné varianty zůstaly zcela opomenuty. Další výhoda je v tom, že varianty, které v rámci jednoho projektu nenajdou uplatnění, mohou být vhodné pro jiný projekt a jejich nalezení a popis je již k dispozici.

Doporučuje se dodržovat obecné metodické principy [33]:

- **princip systematičnosti** - dodržování systematických postupů,
- **princip orientace** - pečlivě sledovat stav techniky v souvisejících oblastech,
- **princip využívání hotových řešení** - přejímat v rozumné míře osvědčená řešení,
- **princip přesného stanovení úkolu** - pro každý dílčí problém formulovat samostatný dílčí krok stanovení úkolu,
- **princip abstrakce** - abstrahovat od konkrétních podmínek pro nalezení nového způsobu řešení (příliš včasná konkretizace zužuje oblast řešení),
- **princip členění** - rozložit každý komplexní problém do účelných dílčích problémů,
- **princip variačně-kombinační** - kombinovat vhodné prvky do celku,
- **princip inkubační** - připustit podvědomou práci, střídat produktivní fáze s klidnými,
- **princip variant** - vždy hledat více řešení a vybírat (jinak nelze optimalizovat),
- **princip týmové práce** - spolupráce s dalšími odborníky je přínosná,
- **princip dokumentace** - ke všem řešením si dělat poznámky a komentáře (nejen pro nespolehlivost paměti, ale zejména pro zastupitelnost).

Hodnocení/rozhodování

Jedná se o klíčovou operaci hledání řešení produktu. Cílem je ohodnotit alternativy/varianty řešení a pro dané podmínky vybrat optimální řešení. V tomto kroku se hodnotí kvalita alternativ/variant výstupů pomocí předem zvolených a požadovaných kritérií. Za optimální řešení je pak považováno to, které má nejlepší hodnocení. V této fázi se nevyhodnocuje jen výstup dat, ale může se hodnotit dosavadní část procesu jako celek. To znamená, že se hodnotí např. užitná hodnota, splnění dílčích cílů atd. Nesmí se zapomínat ani na věcnou kritiku procesu.

Obecné kroky hodnocení a rozhodování [33]:

- výběr/stanovení kritérií pro hodnocení,
- stanovení měřítek pro hodnocení podle jednotlivých kritérií,

- hodnocení alternativ/variant výstupů podle jednotlivých kritérií,
- zpracování jednotlivých hodnocení do dílčích a celkových hodnocení,
- rozhodnutí o nejlepší alternativě/variantě.

5.1 Predikování vlastností TS pomocí metod PM

5.1.1 Metody vycházející z Projektového managementu využitelné pro predikování vlastností TS v konstrukčním procesu

Na základě analýzy, zkušeností a diskusí s odborníky jak z oblasti konstrukčních procesů, tak z oblasti Projektového managementu byly vybrané metody, které mají potenciál pro predikování vlastností TS a jejich integraci do konstrukčního procesu.

5.1.1.1 FMEA

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) slouží pro analýzu možného výskytu a vlivu vad a je vhodné ji např. provádět pro hodnocení navržených variant produktu s cílem eliminovat možná rizika a nedostatky. Metoda se využívá v rámci řízení rizik, kvality či bezpečnosti. Cílem metody je dle [31] určit místa možného vzniku vad nebo nedostatků a jejich příčinu. Nejčastěji se používá ve výrobě, ale její nasazení v konstrukčním procesu je vhodné zejména z důvodu možné úspory času zamezením potenciálních rizik. Výstupy z této analýzy mohou sloužit dále v testování prototypů i ve výrobě jako znalostní základna produktů pro jejich další analýzu.

Správné využití FMEA pozitivně ovlivňuje různé oblasti konstrukčního procesu. Vedle odhalení potenciálních chyb a nedostatků sleduje FMEA i další úkoly:

- identifikace kritických komponent a potenciálních slabých míst,
- včasné rozpoznání a lokalizace možných chyb,
- ohodnocení rizik,
- využití a předávání získaných znalostí,
- zkrácení vývojového času,
- snížení nákladů,
- zamezení zdvojování práce.

Pro správné využití FMEA je nutné, aby tato analýza byla prováděna interdisciplinárním týmem. Jen tím je zajištěna její objektivita a užitná hodnota.

5.1.1.2 Quality Function Deployment – QFD

Metoda QFD neboli Dům kvality je metoda, která využívá požadavky zákazníků a trhu tak, že je zohledňuje ve specifikacích produktů a činností podniku. Tato metoda sloužící jako vývojový nástroj je nasazována v průběhu celého procesu vzniku produktu. Především při plánování nového produktu je kvalita určující faktor pro úspěch produktu na trhu. Je to cesta, která zajišťuje, že produktové znaky určené v konstrukci a ve výrobě pomocí zvolených a nasazených metod odpovídá požadavkům budoucího zákazníka. Pro každý požadavek na nový produkt jsou v prvním kroku stanoveny určité priority, které jsou potom ohodnoceny a zváženy pomocí QFD postupů a stanovených kritérií.

Nasazení QFD postupů sleduje stanovený sled kroků [30]:

- přímé zaznamenání požadavků zákazníka,
- definice konkurenčních výhod pomocí pro zákazníka překvapivých řešení,
- porozumění rozdílným požadavkům zákazníka, konstruktéra, výrobce a prodejce,
- vytvoření hodnotícího profilu, vzájemných vztahů,
- stanovení pro kvalitu produktu důležitých produktových vlastností a to z pohledu zákazníka.

5.1.1.3 Ishikawa diagram

Ishikawa diagram je diagram příčin a následků, jehož cílem je nalezení nejpravděpodobnější příčiny problému. Diagram definoval a zavedl Kaoru Ishikawa. Někdy je nazýván jako diagram rybí kostry z důvodu jeho vzhledu.

Východiskem pro provádění této metody je základní princip, že každý následek neboli problém má svou příčinu nebo kombinaci příčin. Tento diagram slouží k přehlednému grafickému zobrazení vlivů na cílové kritérium (chybu, nedostatek nebo také vlastnost).

5.1.1.4 Analýza stromu chyb

Analýza stromu chyb (ASCH) je dle [47] grafické zobrazení logických souvislostí mezi chybami v pozorovaném procesu, které vedou k nežádoucímu stavu.

S pomocí Analýzy stromu chyb se může jak kvalitativně, tak kvantitativně ohodnotit pozorovaný systém. V rámci analýzy jsou chyby a rušivé faktory procesu konstruování zobrazeny a spojeny pomocí normovaných symbolů [47]. Ve výsledném grafickém zobrazení analýzy nejsou zobrazeny jen chybné faktory, ale také jejich účinky a vazby na okolí.

Při ASCH se vychází od jedné možné chyby, která vede k nechtěnému stavu. Následně jsou zprostředkovány všechny možné příčiny této chyby, které mají vliv na nechtěný stav.

Cíl ASCH je systematické identifikování možných chyb a zprostředkování jejich příčin. Na základě této analýzy je možné vzájemně porovnat a ohodnotit různé systémové koncepty. Protože se opět jedná o preventivní metodu, je jejím úkolem včasné objevení a podchycení chyb v konstrukčním procesu.

Průběh ASCH se člení do šesti kroků [47]:

1. **systémová analýza** - detailní analýza celého systému,
2. **stanovení nežádoucího stavu** - definice sledovaného problému,
3. **proměnné** - stanovení sledovaných proměnných, jejich jednotek a časových závislostí,
4. **druhy nedostatků** - stanovení následných nedostatků na jednotlivých komponentech pozorovaného systému,
5. **zobrazení stromu chyb** - vytvoření grafické podoby stromu chyb,
6. **ohodnocení** - ohodnocení vstupů stromu chyb s druhy nedostatků jednotlivých komponent,
7. **zhodnocení** - závěrečné zhodnocení analýzy.

5.1.1.5 Target Costing

Metoda Target Costing neboli metoda cílových nákladů se orientuje zejména na řízení výrobkových nákladů v předvýrobních etapách a snaží se o dosažení co nejnižších vývojových a výrobních nákladů na výrobek [42], tj. na technický produkt. Cílovou kalkulaci nákladů lze charakterizovat také jako činnost, jejíž cílem je prověřit všechny reálné způsoby snížení nákladů ve fázi konstrukce. Vlivem této aktivity by měl být [19] návrh technického produktu, který optimálně splňuje požadavky a očekávání zákazníků a jehož vývojové a výrobní náklady a cena přitom zajistí organizaci požadovaný zisk. Hlavní rozdíl mezi touto a klasickou metodou kalkulace je především ve shromažďování informací o cenových možnostech pro uvažovaný technický produkt na trhu a přiřazení těchto informací jako cenových limitů pro navrhovaný technický produkt.

U tradiční kalkulace jsou v první fázi specifikovány požadované vlastnosti technického produktu a zjištěny ceny od subdodavatelů. Na základě těchto informací jsou stanoveny předpokládané vývojové a výrobní náklady na technický produkt a vedení společnosti stanoví požadovaný zisk.

Technický produkt je poté vyvinut, vyroben a uveden na trh za ceny, které jsou stanoveny jako:

Vývojové a výrobní náklady + Požadovaný zisk = Prodejní cena

U metody Target costing je postup opačný [19]. Průzkumem trhu je zjištěno, za jaké ceny je možné s technickým produktem na trhu uspět. Poté jsou vedením firmy vytyčeny cíle, kterých je třeba dosáhnout, a to především požadovaný zisk. Z těchto hodnot jsou následně vypočítány cílové náklady (Target cost) jako:

Prodejní cena - Požadovaný zisk = Target cost (cílové náklady)

Cílové náklady jsou tudíž definovány jako maximální přípustné náklady, které je nutné dodržet, aby výrobce splnil požadavky zákazníků a zároveň dodržel stanovené cíle organizace [23].

5.1.1.6 Design Review

Pod tímto pojmem se rozumí formální, dokumentované, systematické a kritické hodnocení konstrukčních výsledků ke stanovení problémových oblastí a nedostatků, které mají vliv na finální vlastnosti produktu. Kromě toho je připraveno měřítko pro pozdější porovnání požadovaných a skutečných vlastností produktu.

Při Design Review (DR) jsou získané výsledky z dílčích úkonů KP porovnány s požadavky zákazníka. Tím mohou být včasně odhaleny případné odchylky v procesu. Dalším výstupem z DR je dle [54] úplná a rozsáhlá dokumentace požadavků spolu se stupněm jejich plnění v jednotlivých etapách konstrukčního procesu. Rozdíl této metody oproti ostatním spočívá v tom, že jsou zde pozorovány jen zkoumané objekty a náklady nebo termíny zde nejsou sledovány. Z toho plyne, že tato metoda zcela zanedbává ekonomická kritéria. Vedle uvedených zlepšuje DR komunikaci mezi odděleními, neboť v této metodě pracuje tým napříč odděleními. Primárním cílem DR je však naplnění požadovaných zákaznických vlastností, zajištění funkcí produktu a zvyšování jeho kvality.

Proces DR dle [54]:

1. **Fáze přípravy**

- jmenování zodpovědné osoby,
- sestavení prováděcího týmu,
- stanovení plánu - plán obsahuje jmenovitě zodpovědné osoby, jakož i danou zkoumanou oblast či problematiku.

2. **Fáze provádění**

- shromáždění všech potřebných informací,
- rozdělení informací členům týmu,
- rozdělení úkolů,
- zpracování informací,

- formulace problému,
- řešení problému,
- hodnocení,
- návrh opatření.

3. Fáze dokončování

- kontrola,
- dokumentace.

5.1.1.7 SWOT analýza

Tato metoda pomáhá identifikovat/rozpoznat potenciální silné (angl. Strengths) a slabé (angl. Weaknesses) stránky, příležitosti (angl. Opportunities) a hrozby (angl. Threats) spojené s určitým projektem, typem podnikání, podnikatelským záměrem, produktem apod. Cílem těchto analýz je získat přehled možností snížení pravděpodobností hrozeb a zvýšení pravděpodobností příležitostí [28]. Jedná se o metodu užívanou zejména v marketingu. S její pomocí je tedy možné komplexně vyhodnotit chod organizace, nalézt problémy a zároveň nové možnosti růstu. Je součástí strategického (dlouhodobého) plánování společnosti.

Pro provedení SWOT analýzy jsou zapotřebí dostatečné vstupní informace. Jejich zdrojem mohou být především vlastní zaměstnanci organizace na všech hierarchických úrovních. Je tedy možné získat individuální náměty od jednotlivých pracovníků např. dotazníkovou akcí. Poté se provede hodnocení významnosti jednotlivých návrhů např. při kolektivní diskusi a jednotlivé návrhy se seřadí dle významnosti, s jakou mohou mít vliv na produkt či na jinou dotčenou oblast. Zodpovědná příprava pak přináší konkurenční výhodu v podobě předcházení rizik, využití potenciálů, odstranění nedostatků a včasného podchycení chyb. Silné a slabé stránky se určují zejména pro organizace a firmu, zatímco příležitosti a hrozby přicházejí nejčastěji z okolí podniku, ale nic nebrání tomu SWOT analýzu aplikovat i při vývoji produktu.

5.1.1.8 Hodnotová analýza

Hodnotová analýza (HA) je definovaná dle [49] jako kreativní zápis, který popisuje funkčně a hospodářsky orientovaný tvůrčí proces. HA může být jak materiální, tak nemateriální. To znamená, že vedle produktů mohou být zkoumány i procesy. Mohou být zkoumány jak již existující produkty/procesy, tak teprve vznikající.

Cíl HA spočívá ve zvyšování hodnoty zkoumaného objektu. Hodnotou není myšlena jen cena, ale také např. spolehlivost, hmotnost, dostupnost použitých zdrojů atd.

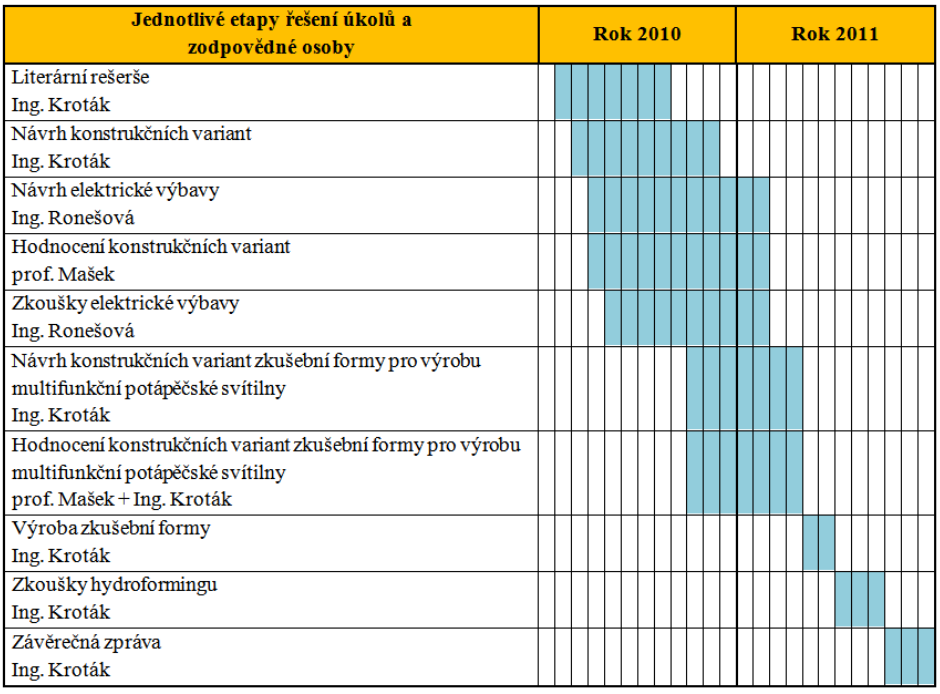
HA je založena na čtyřech složkách [49]

1. **Metodika** - vyznačuje se orientací na určitý cíl, prací interdisciplinárního týmu. Základní předpoklad HA je dodržení postupů pracovního plánu. Jednotlivé kroky HA musí být provedeny důkladně a až po zakončení jednoho kroku je možné přejít na další.
2. **Způsob chování** - jak každý člen týmu, tak vedení musí být nakloněno novinkám, každý musí být připraven přijmout kritiku a návrhy na zlepšení.
3. **Management** - pro úspěch HA je nutné, aby management znal předchozí dva kroky. Vedle znalostí metodiky je nutné umožnit a podporovat prováděné aktivity.
4. **Okolí** - vedle výše uvedených je nutné neopomenout různá omezení (časová, nákladová), předpisy a zákony.

Užitek HA spočívá jak ve snížení nákladů, tak i ve zvýšení hodnoty produktů. Docilovaný efekt je silně závislý na komplexnosti produktů a jejich plánované životnosti. U jednoduchých a dlouhodobých produktů je podstatně vyšší úspora než u krátkodobých a složitých produktů.

5.1.1.9 Ganttův diagram

Ganttův diagram zachycuje dle [46] posloupnost činností v čase a využívá se při řízení projektů nebo programů. Sloupce představují časové období, ve kterém dochází k plánování. Jsou rozděleny do stejně dlouhých časových jednotek (dny, týdny apod.). V řádcích jsou pak zobrazeny jednotlivé činnosti, které je nutné provést, aby byl projekt dokončen, a zároveň jsou zde určeny zodpovědné osoby (příklad na Obr. 20).



Obr. 20 - Ukázka využití Ganttova diagramu v rámci řešení projektu ve VCTT FORTECH

5.2 Hodnocení metod Projektového managementu z hledisek využití pro predikování vlastností technických produktů v konstrukčním procesu

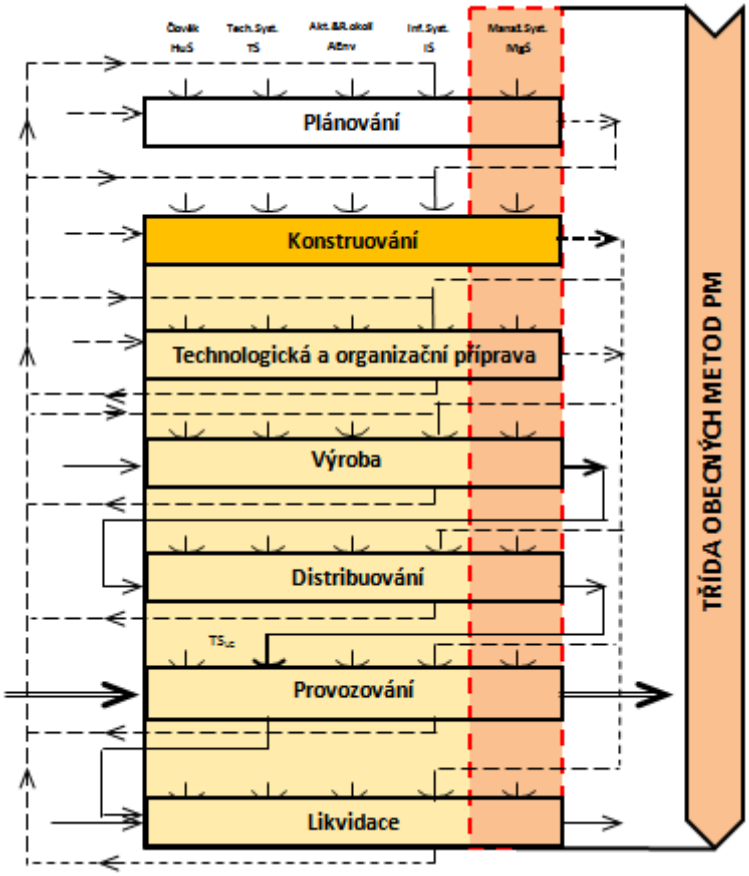
Po analýze možných do konstrukčního procesu integrovatelných metod byly jednotlivé metody dle logického úsudku rozčleněny do dvou tříd. První třídu tvoří metody, které je možné využívat na nejzákladnější úrovni konstrukčního procesu a to pro jeho činnosti/operace dle Obr. 21. Druhou třídu tvoří metody, které lze nazvat jako obecné a které by nalezly lepší a efektivnější uplatnění na vyšších úrovních konstrukčního procesu či až na jednotlivých fázích procesu dle Obr. 18. Toto členění bylo pro lepší znázornění provedeno v tabulkové podobě (Obr. 21).

Metoda	Popis metody	Příslušná skupina metod	Případně metodám odpovídající činnost/operace konstrukčního procesu
FMEA (Analýza možného výskytu a vlivu vad)	- včasné rozpoznání chyb a implementace protiopatření - systematické zlepšování produktové a procesní kvality	**třída metod technicky zaměřitelných**	metody lze využít v činnosti 1.2 Navrhování/Tvarování TS s možností predikce vlastností/indikátorů vlastností nutných v 3.3 Hodnocení/Rozhodování
Ishikawa diagram	- rozpoznání příčin problému - hledání příčiny problému v definovaných oblastech		
Design Review	- systematické hodnocení výsledků/výstupů - porovnání výstupů z procesu s požadavky zákazníka		
FTA (Analýza stromu chyb)	- identifikace příčin problému - vývoj a nasazení cílených protiopatření		
Target Costing (Metoda cílových nákladů)	- optimalizace požadavků zákazníka na dosažení cílených nákladů - stanovení prodejní ceny a dopočtení cílových nákladů	**třída metod obecných**	metody lze s modifikací použít na jednotlivé fáze KP
SWOT analýza	- identifikace silných, slabých stránek procesu, jakož i příležitostí a hrozeb		
QFD (Dům kvality)	- analýza požadavků zákazníka a převod těchto do fáze vývoje produktu či procesu		
Hodnotová analýza	- pomoc při hledání a navrhování možné inovace procesu/produktu - analýza zdrojů (materiálních, lidských apod.), jakož i okolních vlivů (operátorů TrfP)		

Obr. 21 - Členění metod PM do tříd a ohodnocení pro integraci do KP

Dle rozdělení metod PM do tříd na technicky zaměřené a obecné je možné konstatovat, že ne všechny vybrané metody jsou vhodné pro větší integraci do dílčích činností/operací konstrukčního procesu, ale přesto nejsou pro využití v konstrukčním procesu zcela nevhodné. Metody ze třídy obecných lze dobře využívat k řízení konstrukčního procesu jako celku s cílem zajistit jeho lepší průběh a zajištění požadované kvality výsledného produktu. Toto rozčlenění metod z PM je provedeno jen dle úsudku autora a není vyloučeno, že nebude nalezeno budoucí využití obecných metod i v dílčích činnostech/operacích KP.

V konstrukčním procesu jsou předávány produktu všechny doposud definované požadavky zákazníka. Zároveň leží na konstrukčním procesu zodpovědnost, neboť ovlivňuje budoucí technické i ekologické vlastnosti produktu. Současně musí být zohledňovány požadavky ostatních etap životního cyklu produktu např. v [78] nebo [75].



Obr. 22 - Životní cyklus produktu s integrací obecných metod PM

Protože v konstrukčním procesu [23] jsou stanovovány podstatné vlastnosti produktu, závisí úspěch produktu právě na této etapě. S dalšími etapami stoupají náklady na odstranění potenciálních chyb [27]. Zatímco je v konstrukci možné chybu odstranit např. pouhou změnou výkresu, tak v sériové výrobě je nutné změnit celý průběh výroby. K tomu je nutné zmínit stoupající konkurenční tlak a stoupající požadavky zákazníků. Toto klade požadavek vyvíjet hodnotné, cenově dostupné produkty ve stále kratším čase.

Kvalitu v konstrukčním procesu je možné dosahovat na jedné straně pomocí lepších podpůrných prostředků (více např. v [60] a [57] nebo v [69], které je možné rozdělit na:

- **počítačové podpůrné prostředky konstruování**
  - CAD systémy, Virtuální realita, Rapid Prototyping, …
- **nepočítačové podpůrné prostředky konstruování**
  - Skicy, Materiálové modely, komunikace, …

- **konstrukční strategie a přístupy**
  - VDI 2221, EDS na bázi TTS, …,

a na druhé straně preventivním nasazením metod řízení. Ani sebelepší podpůrné prostředky nezamezí vzniku chyb, proto je nutné konstruktéra, potažmo konstrukční proces pomocí těchto metod podporovat. Tyto metody pomohou odhalit možná slabá místa konstrukce a tím zamezit vzniku chyb.

Teoretická základna konstrukčního procesu vycházející z TTS je v současné době již tak dobře propracovaná, že nabízí silný nástroj (mapu) pro provádění jednotlivých dílčích činností KP. Vyjdeme-li z této teoretické základny, je možné výše uvedené vybrané metody z PM pro predikování vlastností TS rozšířit a dále obohatit o některé podstatné prvky, které opět napomohou zlepšení KP.

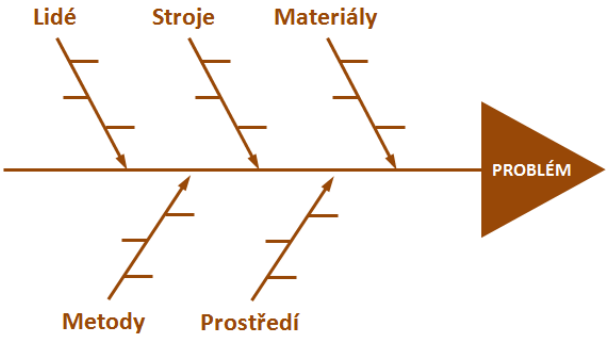
5.3 Vybrané metody Projektového managementu podpořené znalostmi na základě Teorie technických systémů

5.3.1 Metoda Ishikawa s podporou TTS pro predikování vlastností TS

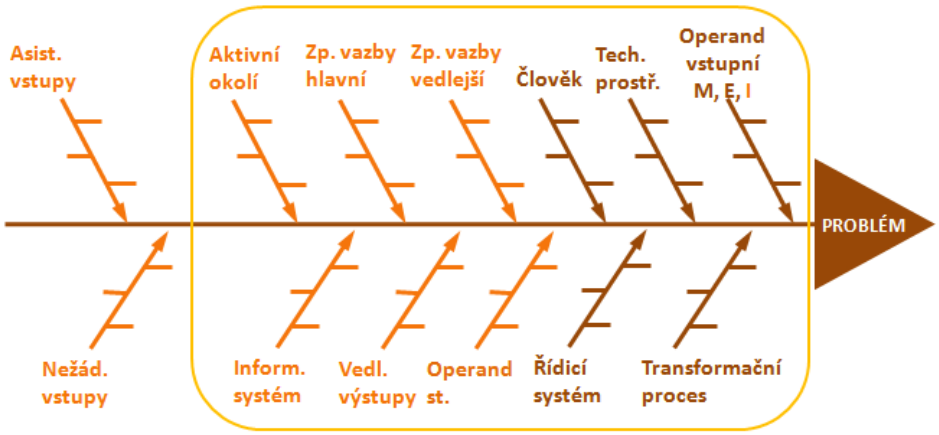
Zde je využito teoretické základny vycházející z EDS na bázi TTS pro rozšíření běžně dostupného modelu hledání problému, který vychází z metody Ishikawa. Zde bude tento model postupně ve 4 krocích rozšířen a obohacen s cílem zahrnout do jeho metodického popisu co nejvíce faktorů, které mají vliv na konstrukční proces a které pomohou stanovování vlastností a jejich indikátorů v průběhu KP. Mimo jiné budou do KP zahrnuty i externí faktory, jako jsou vlivy trhu nebo prostředí apod.

1. **Výchozí stav**

Uvažujeme-li běžně dostupný model metody Ishikawa (Obr. 23) a přihlédneme-li ke znalostem vycházejícím z TTS a současně pozorujeme konstrukční proces jako transformační proces (Obr. 7), je možné běžný model metody Ishikawa (Obr. 23) doplnit o další oblasti potenciálních příčin problému (Obr. 24), které jsou za využití původního modelu částečně nebo zcela opomíjeny. To má za následek lepší podchycení potenciálních ovlivňujících faktorů pozorovaného problému či pozorovaného chování TS.



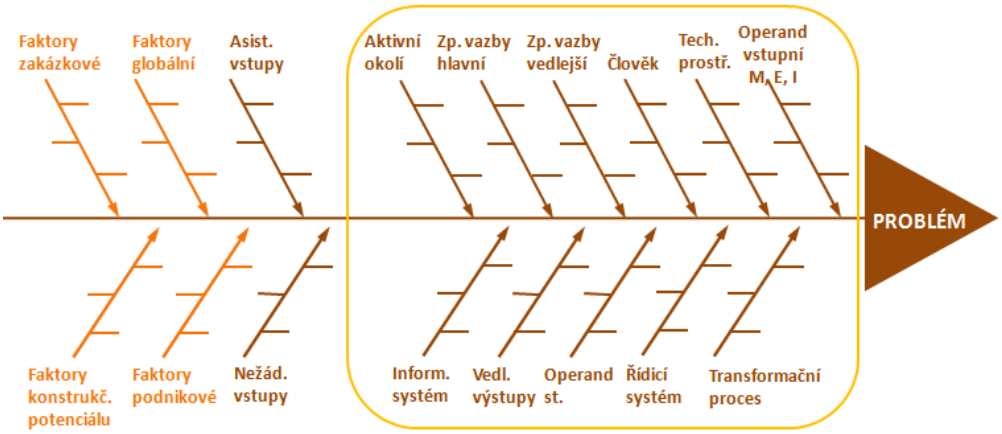
Obr. 23 - Model metody Ishikawa



Obr. 24 - Metoda Ishikawa s teoretickou podporou EDS/TTS upraveno [33]

2. Rozšíření o externí faktory z konstrukční situace

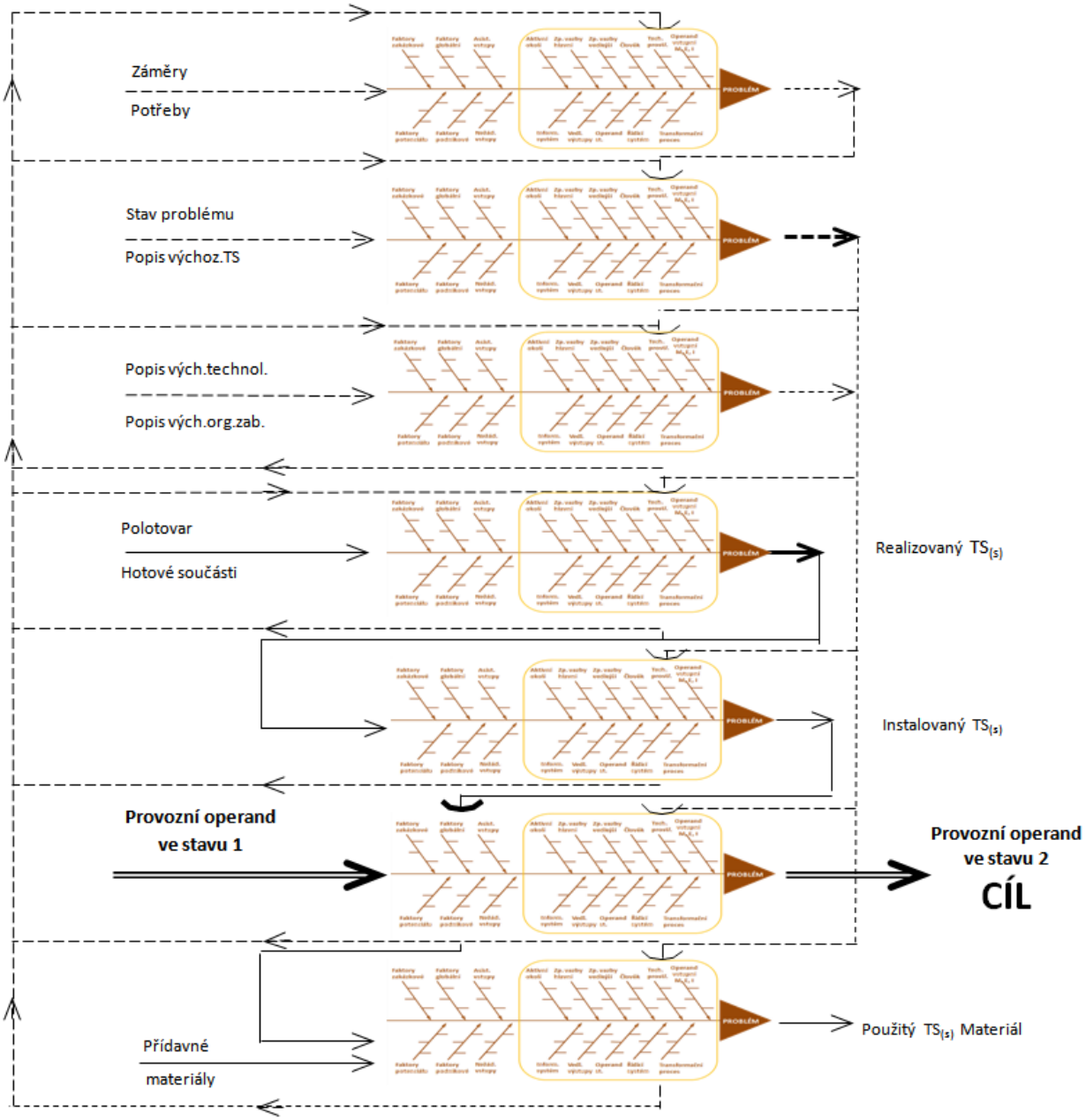
Vyjdeme-li z výše uvedeného modelu (Obr. 24) a tento obohatíme o faktory konstrukční situace (viz kapitola 2.2.7 Konstrukční situace), získáme další vývojový stupeň modelu Ishikawa, který nyní zohledňuje nejen interní výše uvedené faktory, ale současně i externí faktory, které mají taktéž vliv na pozorovaný KP. Faktory konstrukční situace se pro jednotlivé etapy LC mohou měnit a ne všechny popsané se zde budou vyskytovat, neboť každá etapa má své specifické podmínky, proto je v další práci budeme nazývat jako externí faktory procesu.



Obr. 25 - Model metody Ishikawa s teoretickou podporou EDS/TTS rozšířený o externí faktory

3. Multiplikace na životní cyklus TS

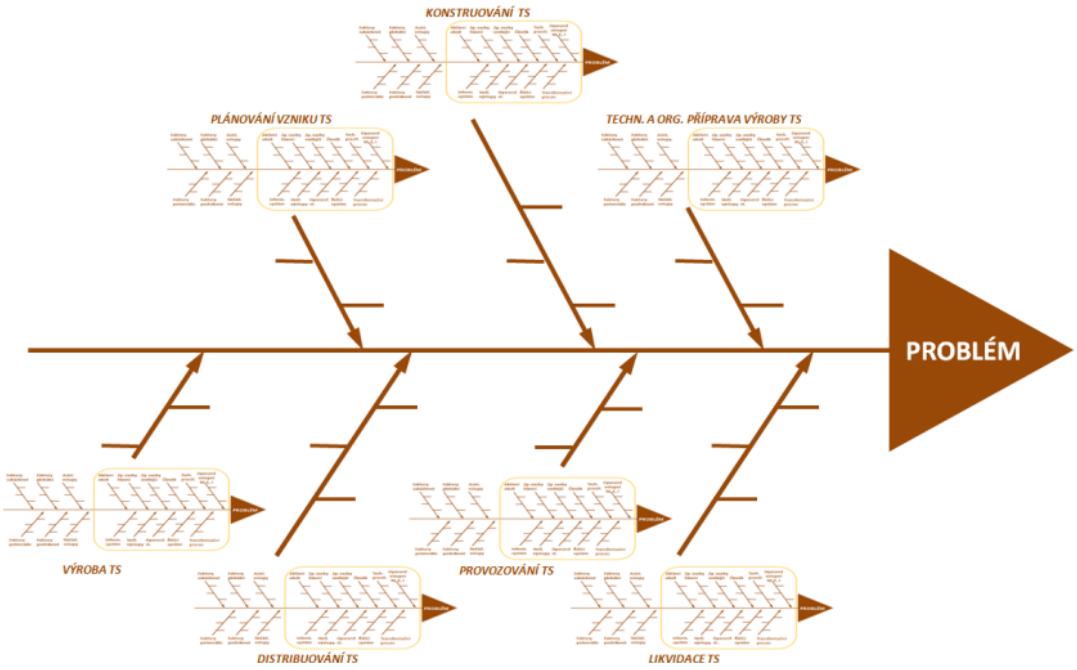
V dalším kroku je možné model zobrazený na Obr. 25 za dalšího využití teoretické základny TTS aplikovat na celý životní cyklus (LC) TS. Díváme-li se na jednotlivé etapy LC jako na transformační procesy s jejich interními zpětnovazebními souvislostmi, je možné teoreticky podložený model s externími faktory (Obr. 25) multiplikovat do všech sedmi etap LC (Obr. 26) a tím získat další zpřesnění pro následnou analýzu pro potřeby KP za využití této metody.



Obr. 26 - Životní cyklus TS jako série modelů metody Ishikawa

4. Etapy životního cyklu jako faktory analýzy

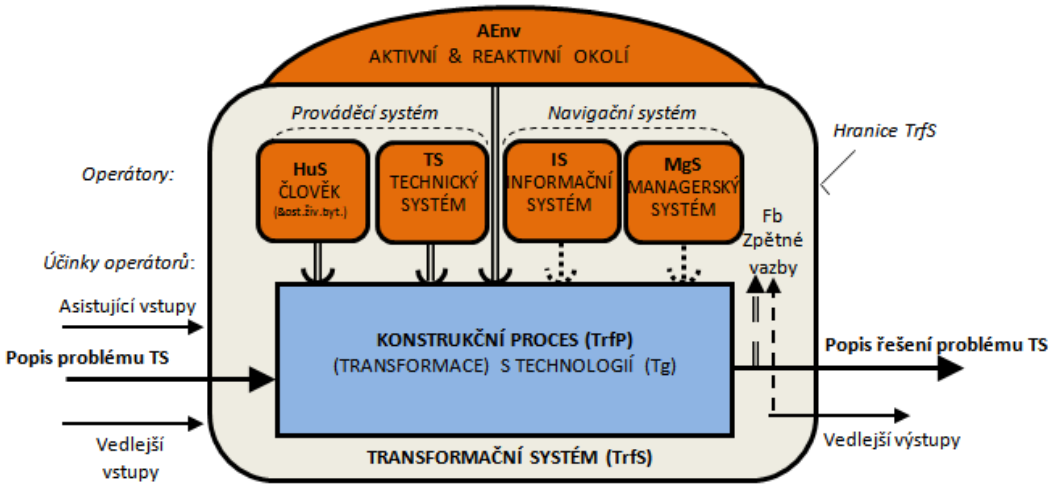
V posledním kroku je možné jednotlivé etapy LC TS pozorovat jako ovlivňující faktory KP a ty umístit na jednotlivá „ramena“ modelu. Uvažujeme-li současně jednotlivé etapy stále jako modely metody Ishikawa spolu s externími faktory, dostaneme komplexní model (Obr. 27), který umožňuje analýzu jak pro jednotlivé etapy LC, tak i pro vnější a vnitřní faktory KP.



Obr. 27 - Etapy životního cyklu TS jako faktory v metodě Ishikawa

5.3.2 Metoda FMEA s podporou TTS pro predikování vlastností TS

Stejně tak, jako je možné metodu Ishikawa rozšířit o poznatky TTS, je možné tyto teoretické základy aplikovat i na další metodu vycházející z PM, a to na analýzu možného výskytu a vlivu vad (FMEA) a získat tak lepší nástroj pro predikování vlastností/chování navrhovaného TS. Vyjdeme opět z modelu konstrukčního procesu ve formě transformačního procesu (Obr. 28).



Obr. 28 - Model konstrukčního procesu jako transformační systém dle EDS

Nyní je možné pro jednotlivé operátory provádět samostatnou analýzu pomocí metody FMEA (Obr. 29 až Obr. 33). Tímto způsobem se získají potenciální riziková místa vzniku vad nebo chyb a to ve vztahu k jednotlivým proces ovlivňujícím operátorům.

Prvek/ Funkce	Možná chyba	Možné důsledek	Možné příčiny/ mechanismy vady	Stávající způsob posuzování návrhu	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko	Doporučená opatření	Odpovědnost/ Termín realizace	Provedená opatření	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko
operátor člověk	nemoc														
	únava														
	zkušenosti														
	znalosti														
	...														

Obr. 29 - FMEA operátoru člověk HuS

Prvek/ Funkce	Možná chyba	Možné důsledek	Možné příčiny/ mechanismy vady	Stávající způsob posuzování návrhu	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko	Doporučená opatření	Odpovědnost/ Termín realizace	Provedená opatření	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko
operátor technický systém	porucha														
	nevhodnost														
	výkonnost														
	...														

Obr. 30 - FMEA operátoru technický systém TS

Prvek/ Funkce	Možná chyba	Možné důsledek	Možné příčiny/ mechanismy vady	Stávající způsob posuzování návrhu	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko	Doporučená opatření	Odpovědnost/ Termín realizace	Provedená opatření	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko
operátor aktivní a reaktivní okolí	zákony														
	patenty														
	konkurence														
	trh														
	vliv prostředí														
	...														

Obr. 31 - FMEA operátoru aktivní a reaktivní okolí AEnv

Prvek/ Funkce	Možná chyba	Možné důsledek	Možné příčiny/ mechanismy vady	Stávající způsob posuzování návrhu	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko	Doporučená opatření	Odpovědnost/ Termín realizace	Provedená opatření	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko
operátor manažerský systém	zkušenosti														
	řídící úroveň														
	školení zaměstnanců														
	...														

Obr. 32 - FMEA operátoru manažerský systém MgS

Prvek/ Funkce	Možná chyba	Možné důsledek	Možné příčiny/ mechanismy vady	Stávající způsob posuzování návrhu	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko	Doporučená opatření	Odpovědnost/ Termín realizace	Provedená opatření	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko
operátor informační systém	zkreslenost														
	nedostupnost														
	nevhodnost														
	...														

Obr. 33 - FMEA operátoru informační systém IS

Po tomto rozšíření o TTS dostáváme pět analýz pomocí FMEA, které jsou již cíleně zaměřené na definované působící oblasti. Pokud vezmeme všechny na konstrukční proces působící prvky dále rozšířené o poznatky a faktory konstrukční situace představené v předchozí kapitole a zobrazené v Obr. 25, můžeme stejným způsobem získat až 17 nezávislých analýz s jediným cílem, kterým je získání co nejlepšího popisu vlastností konstruovaného TS.

5.3.3 Hodnocení a závěr

Na těchto dvou příkladech je viditelný značný potenciál využívání teoretické základny EDS na bázi TTS pro aplikaci při předvídání/predikování budoucího chování (vlastností) TS.

Stejně tak by bylo možné využívat teoretickou základnu TTS při aplikaci na Ganntův harmonogram časových prací (Obr. 20), kdy by se jednotlivé dílčí plánované činnosti rozložily na úkony s přiřazeným odpovídajícím časem podle jednotlivých konstrukčních struktur TS (stavební struktura, orgánová struktura, funkční struktura, černá skříňka).

Validace metod PM obohacených o TTS byla provedena v další části práce (kapitola 6.1) a publikována v [80], ale již teď lze na základě prováděných výzkumů uvedených v [2] předpokládat pozitivní přínosy nejen pro celý konstrukční proces, ale i pro jednotlivé často se opakující dílčí činnosti. V další kapitole se práce zaměří zejména na predikování vlastností TS pomocí analytických metod s následným ověřováním na praktickém příkladě.

5.4 Predikování vlastností pomocí analytických metod

Z předchozí analýzy možných známých metod predikování vlastností je zřejmé, že nasazení těchto metod do konstrukčního procesu bude vyžadovat určité dílčí znalosti od zainteresovaných osob, kterými jsou v případě konstrukčních procesů zejména konstruktéři. Je to z toho důvodu, že bez odpovídajícího znalostního aparátu bude provádění těchto metod velice zdlouhavé a s nejistým výsledkem. Jako nejlépe využitelné v KP se nabízejí korelační a regresní analýzy, které nejsou tak náročné na provádění ani z hlediska časových, ani z hlediska znalostních nároků. Z toho důvodu bylo v další práci uvažováno jejich využití během KP.

5.4.1 Návrh metodické základny predikování vlastností pomocí korelační a regresní analýzy

Před započetím predikování vlastností TS pomocí vybrané korelační a regresní analýzy je nutné zvážit několik bodů, jejichž výstupy budou sloužit jako základ pro samotné provádění analýz.

1. Určit, jaké domény vlastností budou predikovány. Jak bylo uvedeno v kapitole popisující vlastnosti TS (2.2.4), v konstrukčním procesu je nutné predikovat vlastnosti patřící do domény deskriptivních vlastností, které dále usuzují na další dvě domény vlastností (reaktivní a reflektivní), neboť TS musí být v souladu se zákaznickými požadavky, které jsou právě posuzovány podle domény deskriptivních vlastností.
2. Jednotlivým vlastnostem přiřadit jejich indikátory. Těmi mohou být odpovídající jednotky veličin (rozměrové, hmotnostní, pevnostní apod.), které mohou být spolu dále kombinovatelné.
3. Pakliže není možné těmto vlastnostem přiřadit odpovídající číselnou hodnotu, je možné na základě znalostí fuzzy logiky verbálním pojmům přiřadit stupeň určitosti z předem určené stupnice (např. 1-10) a tím je dále definovat (např. velký=8, malý=3).

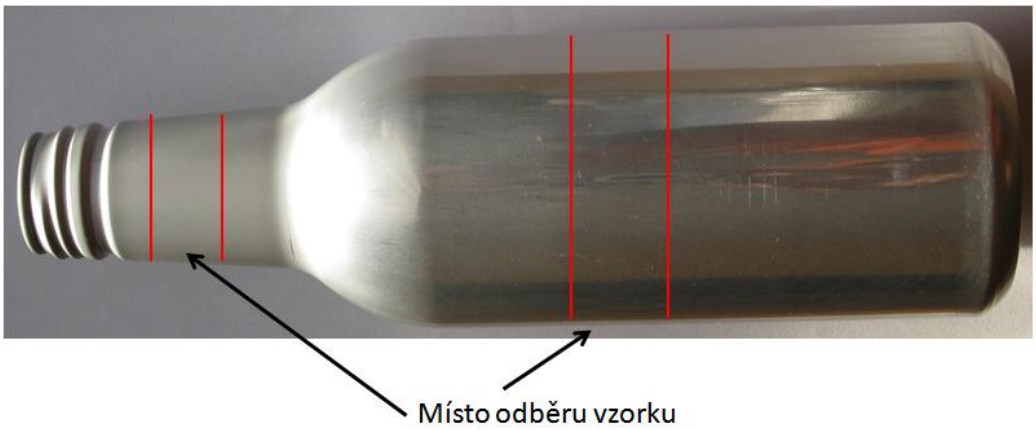
4. Může být uvažováno jak s vlastnostmi jednotlivých dílčích prvků stavební struktury, tak se stavební strukturou samotnou.
5. Stanovit, jaká závislost bude určována. To znamená, co bude bráno jako nezávislá proměnná (x) a co jako na ni závislá proměnná (y), lépe řečeno domnělá závislá proměnná, jelikož před začátkem analýzy není doposud znám jejich vzájemný stav, který se může potvrdit a nebo vyvrátit právě provedenou analýzou.
6. Určení vzájemných vztahových rovnic, což může být např. vyplývající rovnice průhybu z uvedené délky nosníku a jeho průřezových a materiálových charakteristik.
7. Provedení korelační a regresní analýzy:
    a. provedení korelační analýzy a stanovení korelačních koeficientů,
    b. určení velikosti koeficientu determinace a s jeho pomocí určení klíčových driverů (parametrů),
    c. regresní analýza vybraných driverů.
8. Zhodnocení analýzy a posouzení dalšího vývoje sledovaných proměnných.

6 Aplikace a ověření

6.1 Využití metod Projektového managementu zdokonalených TTS

6.1.1 Představení řešené problematiky

Metod PM obohacených o teoretickou základnu EDS na bázi TTS bylo využito pro řešení konstrukčního problému, jehož cílem bylo navrhnout testovací přípravek umožňující provádění zkoušky tahem pro vzorky materiálu odebrané z prototypového výrobku lahve vyrobeného ze slitiny hliníku (Obr. 34) a také z polotovaru pro výrobu této lahve (Obr. 35).



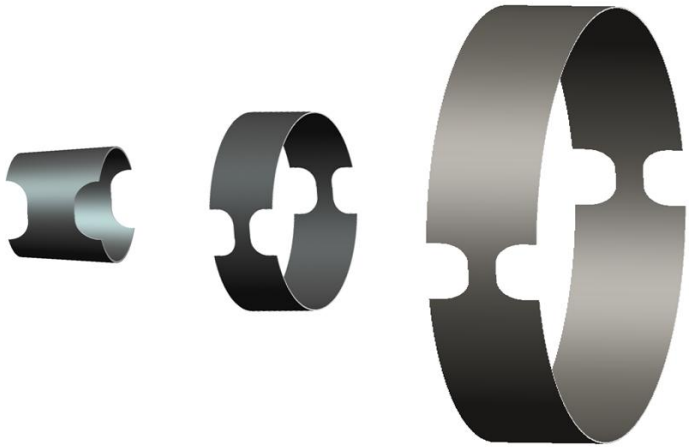
Obr. 34 - Prototypová láhev s vyznačenými místy odběru vzorků

Obr. 35 - Polotovar lahve s vyznačeným místem odběru vzorku

Testovací přípravek má umožňovat provedení zkoušky tahem, v jejíž průběhu mají být vzorky podrobeny tahové deformaci s cílem získat tahovou křivku materiálu a to jak pro stav materiálu vzorku v podobě polotovaru pro výrobu lahve, tak i pro stav materiálu z již hotové lahve. Z výsledků zkoušky má být usuzováno na mechanické vlastnosti použitého materiálu, jako jsou napětí (mez úměrnosti, mez elasticity apod.) a jim odpovídající deformace.

Současně s tím musí přípravek umožňovat vyrovnávat nesouososti mezi horní a dolní čelistí stroje.

Z prototypu lahve a polotovaru pro jeho výrobu bylo nutné vyrobit vzorky s vrubem (Obr. 36). Vrub zde byl zvolen k dosažení cílené koncentrace napětí a deformací v předem zvolené oblasti vzorku. Po poradách s odborníky ve Výzkumném centru tvářecích technologií (VCTT - FORTECH) při FST ZČU v Plzni, zejména pak s vedoucím výzkumného centra, byla stanovena tři místa odběru vzorků - dvě na prototypu lahve (Obr. 34) a jedno na polotovaru (Obr. 35).



Obr. 36 - Konečná podoba vzorků v podobě virtuálních modelů

6.1.2 Návrh konstrukce testovacího přípravku

Během konstrukčního procesu testovacího přípravku byly využité nové poznatky nabyté v průběhu psaní této práce.

SWOT analýza

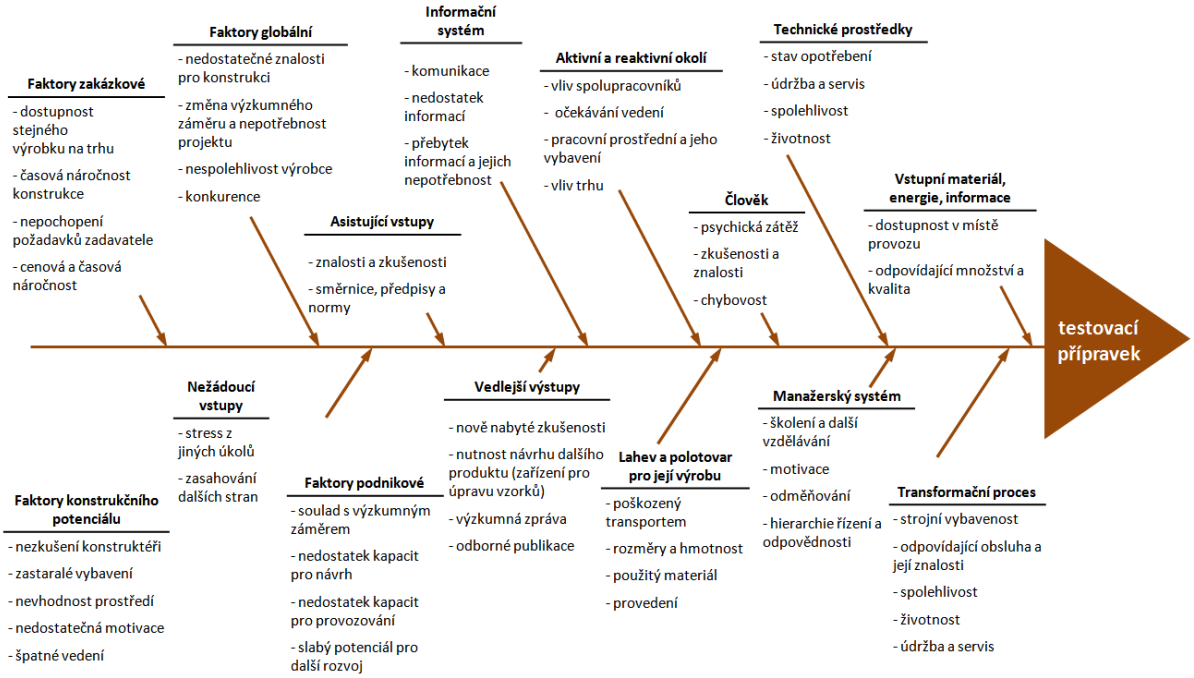
Na začátku celého projektu byla provedena SWOT analýza. Ta sloužila k odhalení potenciálních slabých a rizikových míst tak, aby mohlo dojít k jejich případné nápravě či minimalizaci.

Silné stránky	Slabé stránky
zkušení pracovníci v oblasti provádění tahových zkoušek dostupný strojní park dostatek finančních zdrojů	zkušenosti jen s typickým průběhem tahové zkoušky zastaralý strojní park (např. nepřesné vedení stroje apod.) nedostatek časových zdrojů
Příležitosti	**Hrozby**
získání nových externích partnerů vznik nových potřeb rozšíření know-how	nezájem o výsledky ztráta partnerů díky časovým prodlevám silná konkurence v oblasti testování

Obr. 37 - Využití SWOT analýzy v rámci řešení konstrukce testovacího přípravku

Ishikawa diagram

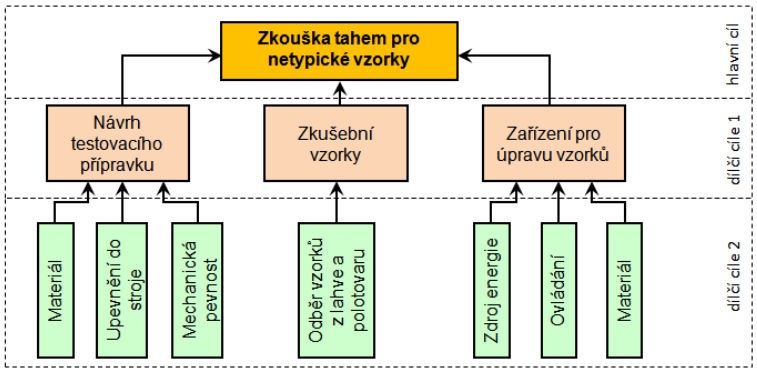
Pro ověření teoretického předpokladu, že lze metodu Ishikawa obohacenou o poznatky TTS úspěšně využívat v průběhu konstrukčního procesu, byla tato metoda aplikována jako druhý krok konstrukčního procesu v tomto příkladu. Zobrazení metody v grafické podobě je vidět na následujícím obrázku (Obr. 38). Zde jsou zahrnuty nejenom tradiční vlivy na konstrukční proces (člověk, stroj, požadavky zákazníka apod.), ale je zde uvažováno taktéž s vlivy globálními či zakázkovými.



Obr. 38 - Využití Ishikawa diagramu obohaceného o TTS

Stanovení dílčích cílů

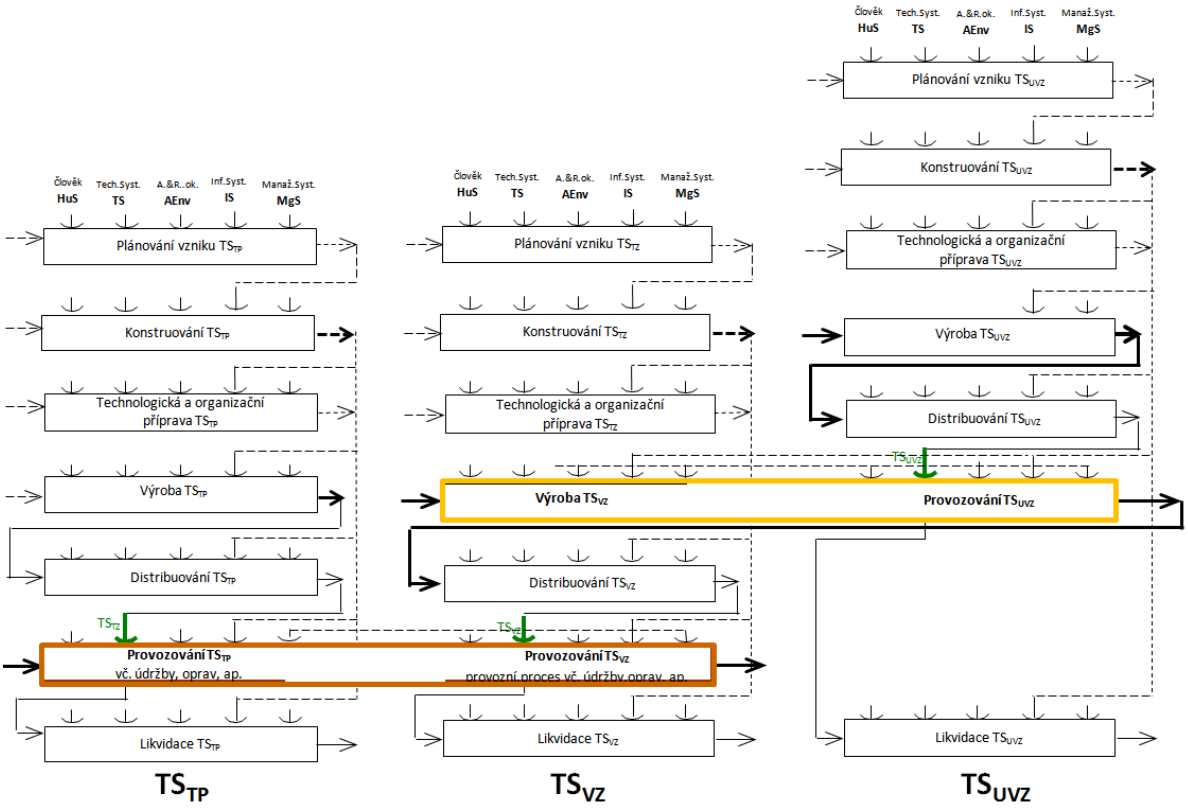
Dalším krokem v postupu řešení návrhu testovacího přípravku bylo stanovení dílčích cílů a zopakování cílů hlavních. Cíle byly uspořádány do grafické podoby tak, aby došlo k jejich zpřehlednění a mohlo docházet i k případnému rozšíření.



Obr. 39 - Strom cílů a dílčích cílů vedoucích k provedení tahové zkoušky

Po důkladném rozboru problematiky výše popsanými způsoby a metodami bylo zjištěno, že je nutné požadavky a tedy i cíle (dílčí cíle) rozšířit o návrh a konstrukci zařízení pro úpravu zkušebních vzorků. Je to z toho důvodu, že současné dostupné technické prostředky nebyly schopny zajistit jejich požadovanou podobu v odpovídající kvalitě. Zařízení pro úpravu vzorků musí umožnit vytvoření vrubů na vzorcích s opakovatelnou přesností a se stále stejnou polohou, aby nedocházelo k nežádoucímu negativnímu ovlivňování tahové zkoušky např. nestejnou velikostí vrubu a tím snížení efektivních průřezových rozměrů.

Vzájemné provázání životních cyklů



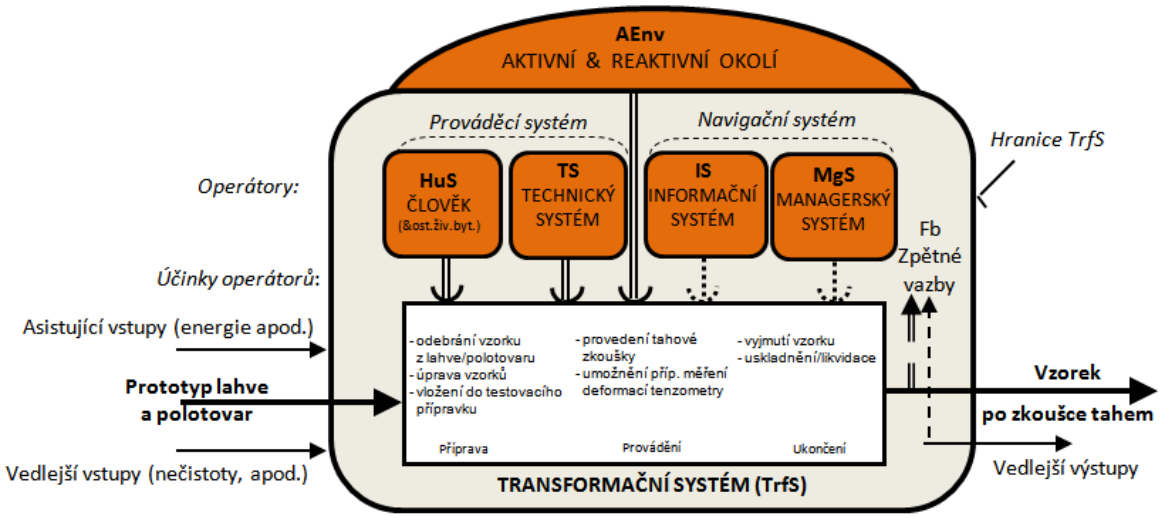
Obr. 40 - Integrace LC testovacího přípravku TS_{TP}, vzorku TS_{VZ} a zařízení pro úpravu vzorků TS_{UVZ}

Vzájemné provázání jednotlivých navrhovaných technických systémů v průběhu tahové zkoušky je možné znázornit pomocí jejich životních cyklů. Na obrázku (Obr. 40) je znázorněná integrace životního cyklu (LC) testovacího přípravku TS_{TP} a LC vzorku TS_{VZ} a současně integrace LC zařízení na úpravu vzorků TS_{UVZ}. Při návrhu jak testovacího přípravku, tak zařízení na úpravu vzorků bylo nutné mít toto na paměti a úpravou jednoho bylo nutné vždy odpovídajícím způsobem upravit i druhé. Jako příklad může být uvedeno, že pokud by bylo změněno místo odběru vzorku na hrdle lahve, změnil by se průměr vzorku a tím by bylo nutné upravit i zařízení na úpravu vzorku pro tento nový průměr.

6.1.3 Analýza provozní etapy vzorku

Pro podrobný rozbor úkonů spojených s prováděním tahové zkoušky z pohledu budoucího vzorku byl tento rozebrán pomocí poznatků EDS za využití TrfP (Obr. 41).

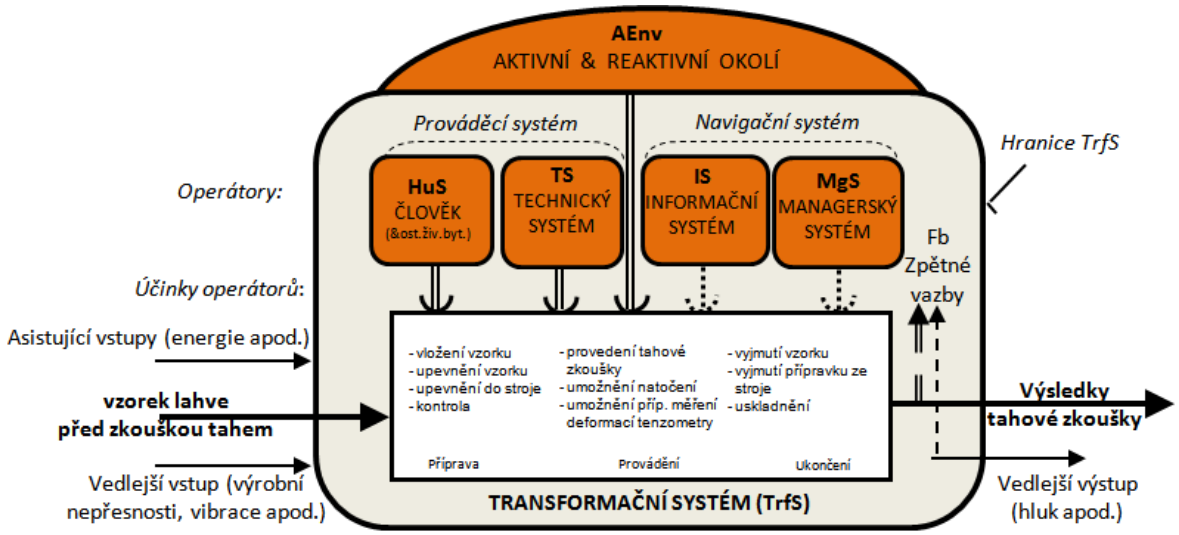
Po analýze provozu vzorku (Obr. 41) je vidět, jak se jednotlivé operace prolínají jak testovacím přípravkem, tak se zařízením pro úpravu vzorku. Vstupem do provozní etapy vzorku (vlevo) je prototyp lahve, resp. polotovaru pro výrobu lahve. Výstupem z této etapy (vpravo) je vzorek po provedené tahové zkoušce.



Obr. 41 - Provozní scénář hlavních fází a operací vzorku LC

6.1.4 Návrh funkční a orgánové struktury testovacího přípravku

Obrázek (Obr. 42) zobrazuje provozní scénář testovacího přípravku. Na vstupu do provozu (vlevo) je vzorek lahve připravený pro provedení tahové zkoušky. Na výstupu z provozu (vpravo) jsou již výsledky tahové zkoušky. Samotná etapa provozu je rozdělena do tří fází, které jsou charakterizovány v obrázku (Obr. 42).



Obr. 42 - Provozní scénář hlavních fází a operací testovacího přípravku v provozní etapě LC

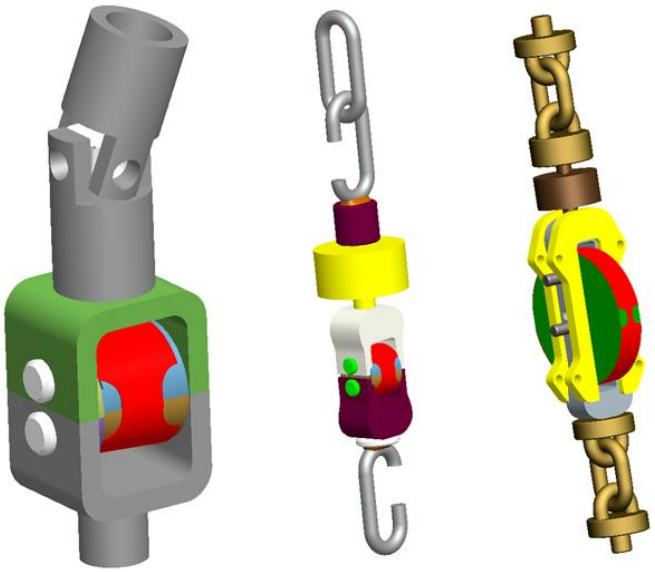
Dalším krokem návrhu testovacího přípravku bylo zpracování morfologické matice prvků (Obr. 43). V této matici jsou v levém sloupci zobrazeny hlavní funkce, které je nutné při konstrukci výrobku pro zajištění účinků pro stanovené operace/úkony v provozním procesu navrhovaného výrobku zajistit. Napravo od prvého sloupce jsou uvedeni takzvaní nositelé funkcí/orgány, kteří umožňují realizaci příslušných funkcí. Po spojení vybraných nositelů funkcí/orgánů (z každé řádky jeden) vznikly možné konstrukční varianty orgánových/koncepčních struktur přípravku (A, B a C), které však v dalším průběhu konstrukce mohou být odpovídajícím způsobem upraveny a dále vylepšeny.

Hlavní funkce	Nositelé funkcí			
vložení vzorku UMOŽNIT	ručně	strojně		
upevnění vzorku ZAJISTIT	tvarem	přídavným materiálem		
upevnění do stroje ZAJISTIT	kardanovým hřídelem	řetězem	spojkou s kulovou plochou	
kontrola UMOŽNIT	optická kontrola okem	optická kontrola senzorem	elektrickým kontaktem	
variabilita UMOŽNIT	výměnné nástavce pro vzorky			
nosná konstrukce ZAJISTIT	odlitek	svařenec	ohnutý plech	
umožnění natočení přípravku ve stroji UMOŽNIT	závitem	spojkou s kulovou plochou	řetězem	kardanovou hřídelí
měření deformací UMOŽNIT	zajištění prostoru pro tenzometry	siloměr		
vyjmutí vzorku UMOŽNIT	ručně	strojně		
vyjmutí přípravku ze stroje UMOŽNIT	ručně	strojně		
uskladnění UMOŽNIT	rozebíratelné	nerozebíratelné malé rozměry konstrukce		

C B A

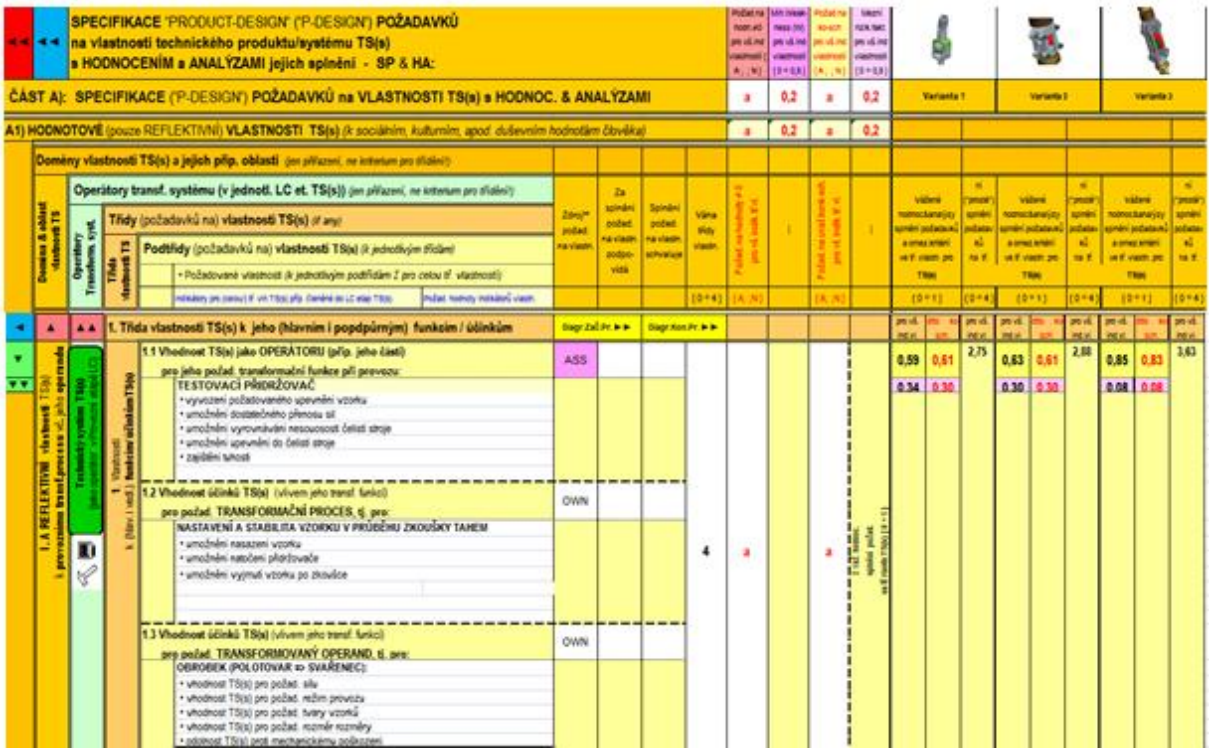
Obr. 43 - Morfologická matice s vybranými alternativami nositelů funkcí/orgánů navržených pro zajištění hlavních funkcí přípravku

Po vypracování morfologické matice již bylo možné přejít k hrubému konstrukčnímu návrhu 3D modelů testovacího přípravku (Obr. 44). Byla navržena řada variant, z nichž některé byly dále rozpracovány do několika podob.

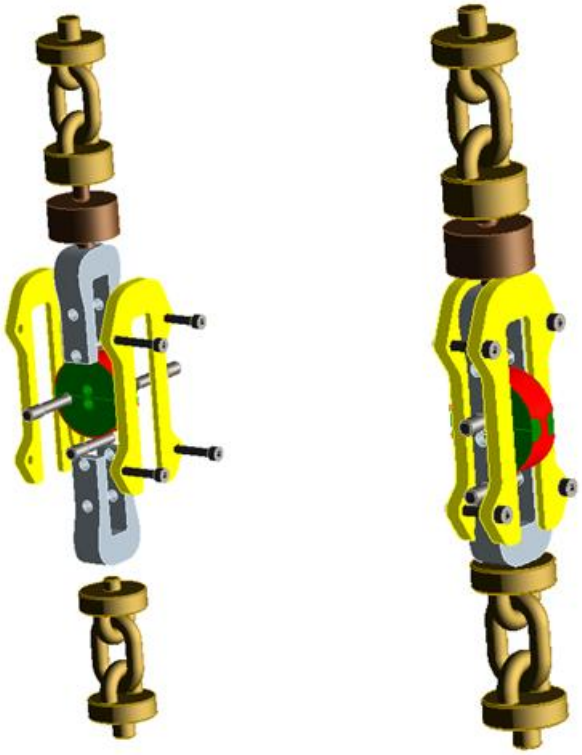


Obr. 44 - 3D návrhy testovacího přípravku (A, B, C)

Varianty byly následně vyhodnoceny pomocí Specifikace požadavků na vlastnosti TS dle [33] (Obr. 45) a byla vybrána ta varianta, která nejvíce splňovala dané požadavky (Obr. 46).



Obr. 45 - Specifikace požadavků testovacího přípravku



Obr. 46 - Navržená varianta testovacího přípravku se dvěma vzorky

6.1.5 Hodnocení navrženého řešení

Po navržení a vybrání vhodné varianty byla tato ještě navíc podrobena analýze pomocí metody FMEA (Obr. 47). Účelem FMEA bylo odhalení možných chyb v konstrukci a jejich případných následků s posouzením míry rizika. Po provedení analýzy může být soustředěna největší pozornost při samotném provádění tahové zkoušky na části s největší mírou rizika.

Prvek/ Funkce	Možná chyba	Možné důsledky	Možné příčiny/ mechanismy vady	Stávající způsob posuzování návrhu	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko	Doporučená opatření	Odpovědnost/ Termín realizace	Provedená opatření	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko
testovací přípravek	spojení se strojem	nesouosost	stáří stroje	vizuální	8	7	4	224	kontrola stroje	prováděcí pracovník	pravidelné konstroly stroje	7	5	2	70
		vůle v závitu	opotřebení čelistí stroje		3	6	2	36							
		pevnost			3	6	3	54							
		tuhost spojení			2	7	2	28							
	držení vzorku	pohyb vzorku	tah ve špatném směru	vizuální	2	10	1	20	kontrola přípravku	prováděcí pracovník	kontrola před zkouškou	8	5	1	40
		poškození vzorku o přípravek	špatně vložený vzorek		1	8	1	8							
		velikost vzorku	špatně vložené čepy		1	7	2	14							
	rozměr	montáž ke stroji	špatné měření	měřidlo	4	2	1	8							
		vložení vzorku	jiný stroj		1	2	1	2							
		vůle	nepřesná výroba		2	2	3	12							
	materiál	poškození v průběhu zkoušky	chyba prováděcího pracovníka	vizuální	6	8	4	192							
		opotřebení	konstruktér		2	8	5	80							
		nedostatečné pevnost	chyba prováděcího pracovníka		8	10	6	480							
		oxidace	dodavatel		5	9	8	360	nátěr	údržba	nátěr	8	4	1	32

Obr. 47 - FMEA testovacího přípravku

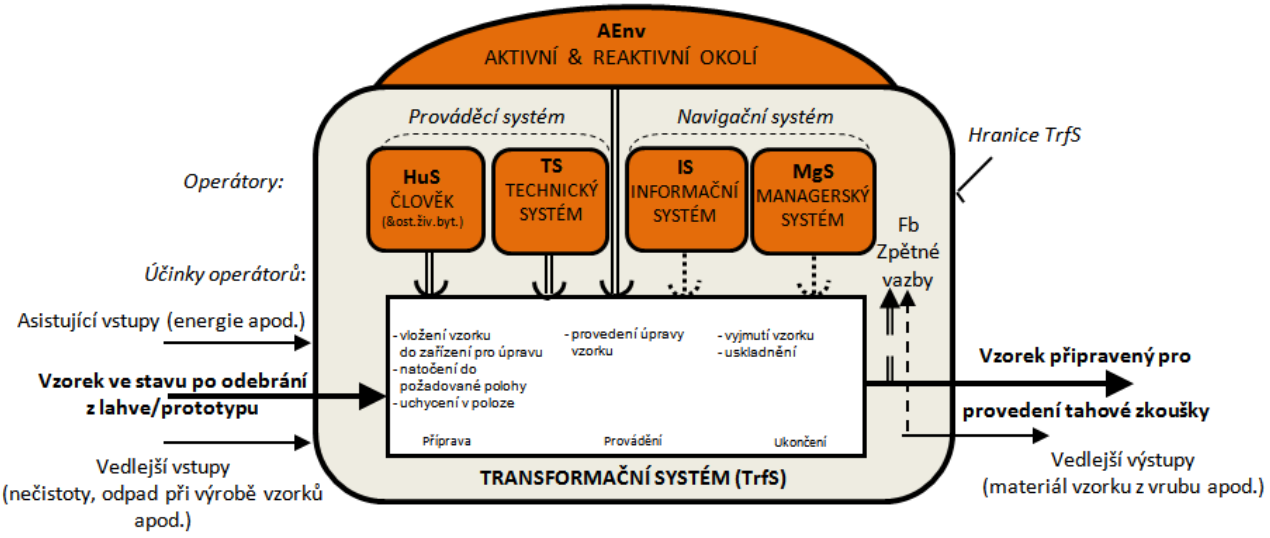
6.1.6 Návrh funkční a orgánové struktury zařízení pro úpravu vzorků

Při návrhu zařízení pro úpravu vzorků bylo postupováno stejným sledem operací jako při návrhu testovacího přípravku jen s tím rozdílem, že na začátku samotného návrhu byly podrobně sepsány požadavky na zařízení kladené. Toto zařízení nebylo totiž v zadání problému návrhu testovacího přípravku uvažováno a bylo řešeno až v jeho průběhu ovšem se zohledněním vlivů a vazeb jak na testovací přípravek, tak zejména na vzorek vyrobený z lahve a naopak.

Požadavky na zařízení pro úpravu vzorků

- vytvoření vrubu na vzorku
  - vzorky různých průměrů,
  - vzorky kuželové,
- vruby o stejné velikosti a ve stejné poloze na vzorku
  - opakovatelnost provedení,
- snadné ovládání
  - jednoduchá manipulace,
  - jednoduché ovládání,
- bezproblémové skladování,
- bezpečné.

Následující kroky postupu jsou již shodné s předchozím uvedeným postupem návrhu testovacího přípravku.



Obr. 48 - Provozní scénář hlavních fází a operací zařízení pro úpravu vzorků v provozní etapě LC

Na vstupu do provozu zařízení na úpravu vzorků (Obr. 48) je vzorek v hrubém stavu a na výstupu je již vzorek s vrubem připravený pro tahovou zkoušku. Etapa provozu je opět rozdělena do tří fází, které jsou charakterizovány v obrázku (Obr. 48).

Morfologická matice prvků

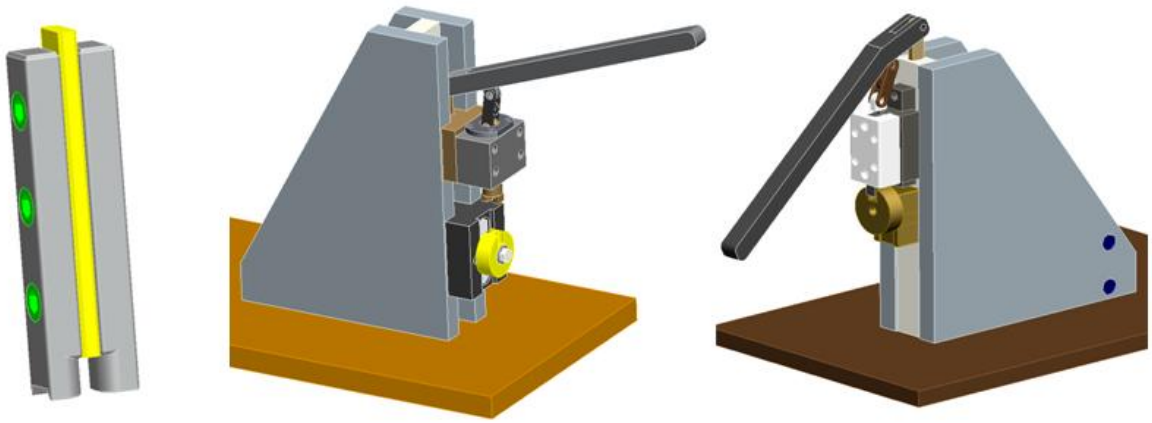
Opět bylo využito morfologické matice prvků k nalezení možné stavební struktury zařízení pro úpravu vzorků.

Díky pospojování nositelů funkcí v morfologické matici (Obr. 49) vznikly rozdílné konstrukční varianty řešení. Tyto byly dále rozpracovány do podoby 3D modelů (Obr. 50) a opět byla provedena i podrobná analýza pomocí Specifikace požadavků (Obr. 51).

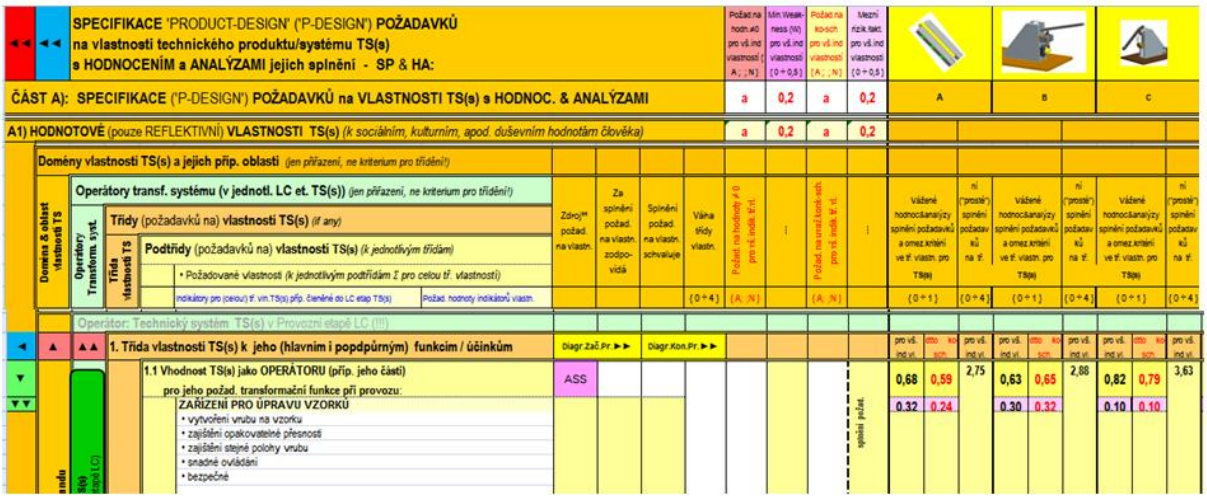
Hlavní funkce	Nositelé funkcí		
vložení vzorku UMOŽNIT	ručně	strojně	
natočení vzorku ZAJISTIT	ručně	samotným navrhovaným TS	strojně
uchycení UMOŽNIT	rukou	svěrným spojem	přídavným materiálem
kontrola UMOŽNIT	optická kontrola okem	optická kontrola senzorem	
vyjmutí vzorku UMOŽNIT	ruční	strojní	
pohon ZAJISTIT	ruční	elektrický	využití kinetické energie jiného TS
držení střižníku UMOŽNIT	rukou	vedením ve stroji	
vedení střižníku UMOŽNIT	kluzné	valivé	žádné
vyjmutí vzorku UMOŽNIT	ručně	strojně	
provedení střižnice ZAJISTIT	odpovídající velikosti vzorku	variabilně nastavitelná	
uskladnění UMOŽNIT	rozebíratelné	nerozebíratelné malé rozměry konstrukce	

C B A

Obr. 49 - Morfologická matice s vybranými alternativami nositelů funkcí/orgánů navržených pro zajištění stanovených hlavních funkcí zařízení



Obr. 50 - 3D návrhy zařízení pro úpravu vzorků (A, B, C)



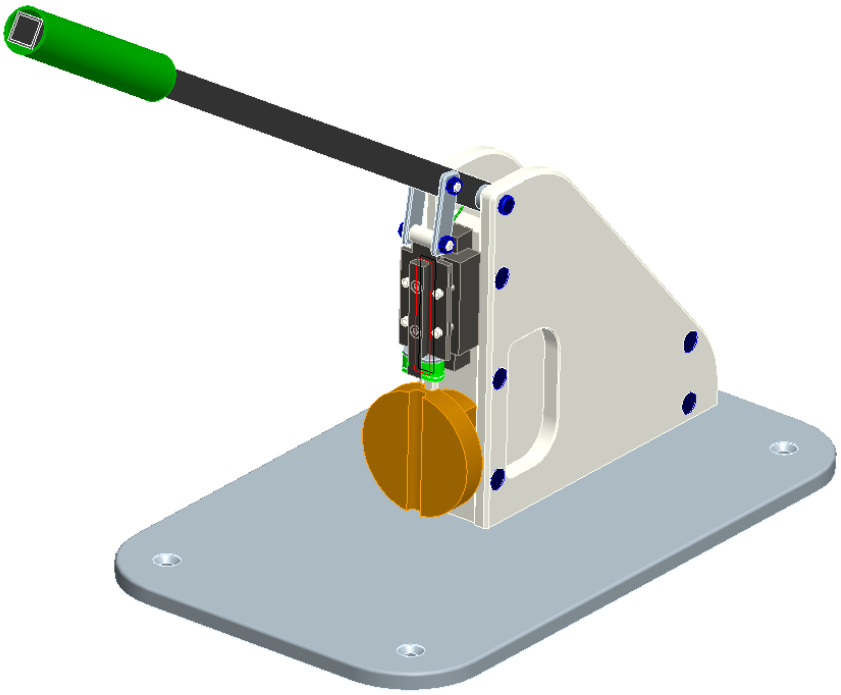
Obr. 51 - Specifikace požadavků zařízení pro úpravu vzorků

6.1.7 Zhodnocení navrženého řešení

Stejně tak jako u testovacího přípravku byla i v tomto případě navržená varianta podrobena FMEA analýze (Obr. 52). Po vyhodnocení výsledků byla navržená varianta ještě upravena (Obr. 53) s ohledem na vyšší bezpečnost a zejména provozuschopnost (např. zaoblené hrany, přidaná rukojeť, otvory v základové desce pro upevnění ke stolu apod.).

Prvek/ Funkce	Možná chyba	Možné důsledky	Možné příčiny/ mechanismy vady	Stávající způsob posuzování návrhu	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko	Doporučená opatření	Odpovědnost/ Termín realizace	Provedená opatření	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko
zařízení pro úpravu vzorků	upevnění ke stolu	zamezení pohybu	nedbalost obsluhy	vizuální	7	5	5	175	kontrola před provezem	provádějící pracovník	kontrola	7	5	2	70
		nepřesnost provozu			2	7	3	42							
		možnost překlopení			2	5	4	40							
		nebezbečí úrazu			3	8	3	72							
	držení vzorku	pohyb vzorku	nepřesný vrub	vizuální	3	9	2	54	kontrola zařízení	provádějící pracovník	provádějící pracovník	8	5	1	40
		znehodnocení vzorku	špatně vložený vzorek		2	9	1	18							
		velikost vrubu			1	6	2	12							
		poškození kruhovitosti vzorku			2	7	1	14							
	rozměr	nevhodný stůl	nepozornost	dokumentace	5	2	2	20	kontrola dokumentace	provádějící pracovník	provádějící pracovník	7	4	2	56
		hmotnost			1	3	1	3							
		povrch stolu			2	2	4	16							
	materiál	poškození v průběhu provozu	chyba provádějícího pracovníka	vizuální	7	9	4	252							
		opotřebení	konstruktér		3	8	5	120							
		nedostatečné pevnost	chyba provádějícího pracovníka		9	10	5	450							
		oxidace	dodavatel		6	7	8	336	nátěr	údržba	nátěr	8	4	1	32

Obr. 52 - FMEA zařízení pro úpravu vzorků



Obr. 53 - Navržená varianta zařízení pro úpravu vzorků

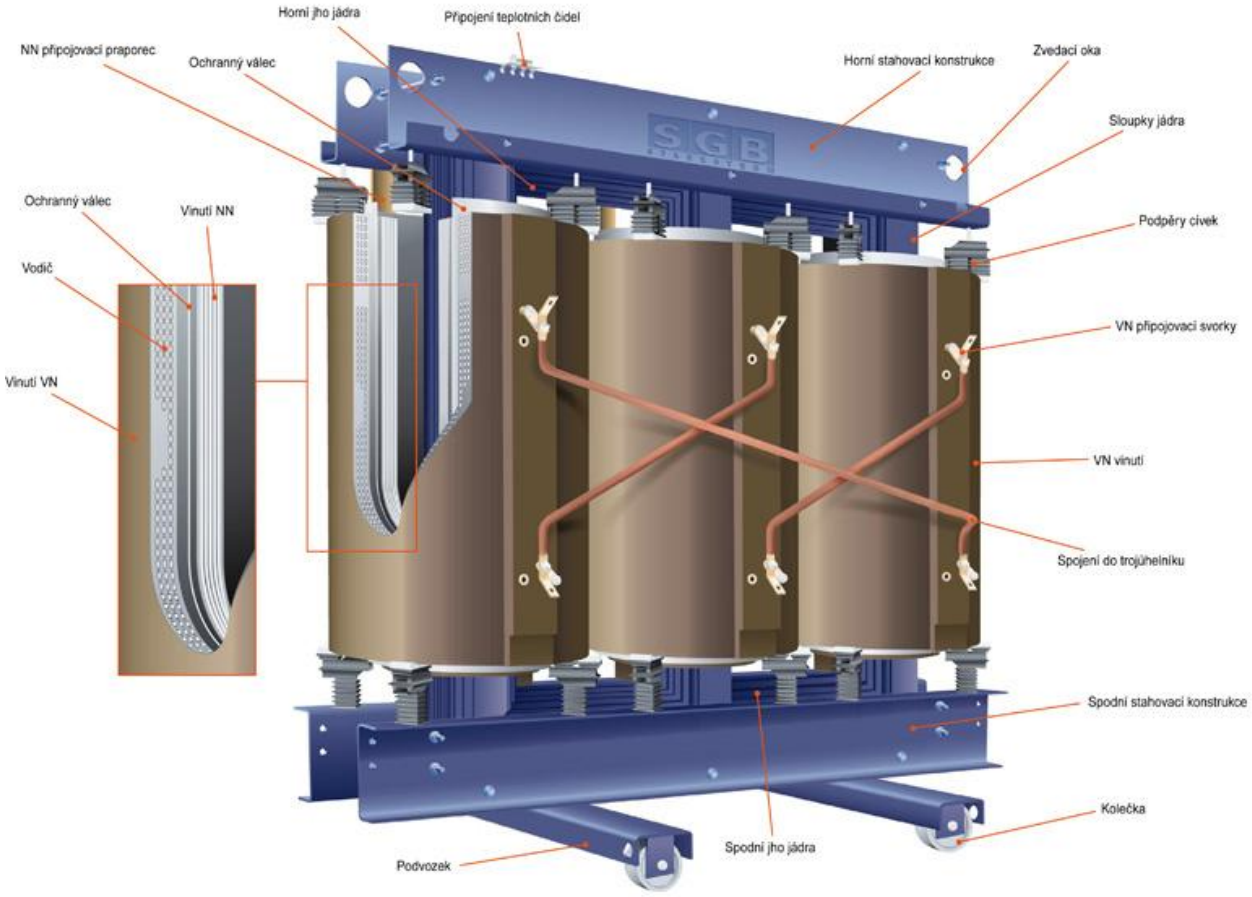
6.2 Hodnocení projektu

Projekt konstrukce testovacího přípravku a současně dodatečný projekt pro konstrukci zařízení na úpravu vzorků jsou rozpracovány do podoby výrobních výkresů všech komponent a odevzdány vedení VCTT - FORTECH. Z důvodu ukončení spolupráce není autorovi této práce znám současný stav, ve kterém se celý projekt nachází. Poslední informace hovořily o tom, že byl projekt z administrativních důvodů pozastaven na dobu neurčitou.

6.3 Využití korelační a regresní analýzy v konstrukčním procesu

6.3.1 Představení řešené problematiky

Korelační a regresní analýza byla využita v rámci konstrukčního problému, jehož cílem bylo analyzovat a navrhnout řešení horní stahovací konstrukce (svorníku) suchého transformátoru viz Obr. 54. Návrh konstrukce svorníku měl tu podmínku, že musí být zachováno rozebíratelné spojení mezi táhly a svorníkem. Požadavek na analýzu a návrh nového řešení svorníku vyšel z požadavku na snížení hmotnosti všech elektricky neaktivních částí transformátoru, neboť jejich cena se odvíjí od jejich hmotnosti a tedy při snížení hmotnosti dojde i k úměrnému snížení ceny.



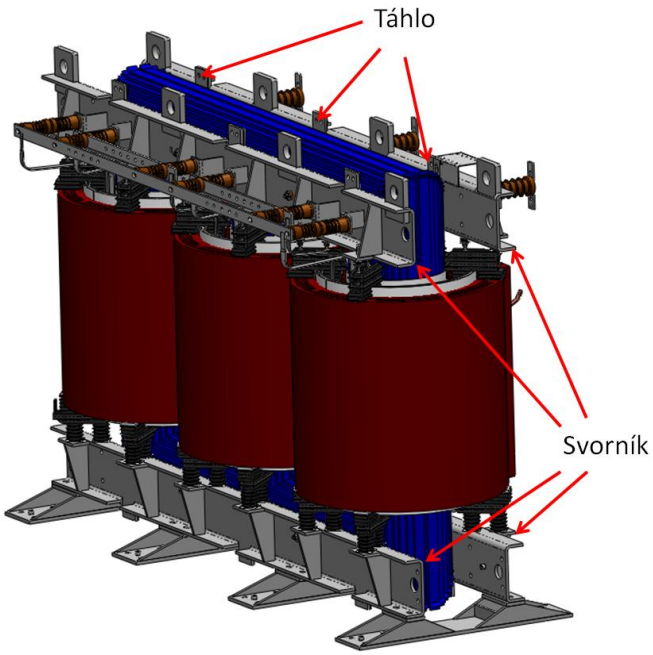
Obr. 54 - Schéma a řez suchého transformátoru [25]

Svorníky a táhla tvoří základ mechanické části suchého transformátoru. Jejich funkce spočívá mimo jiné v:

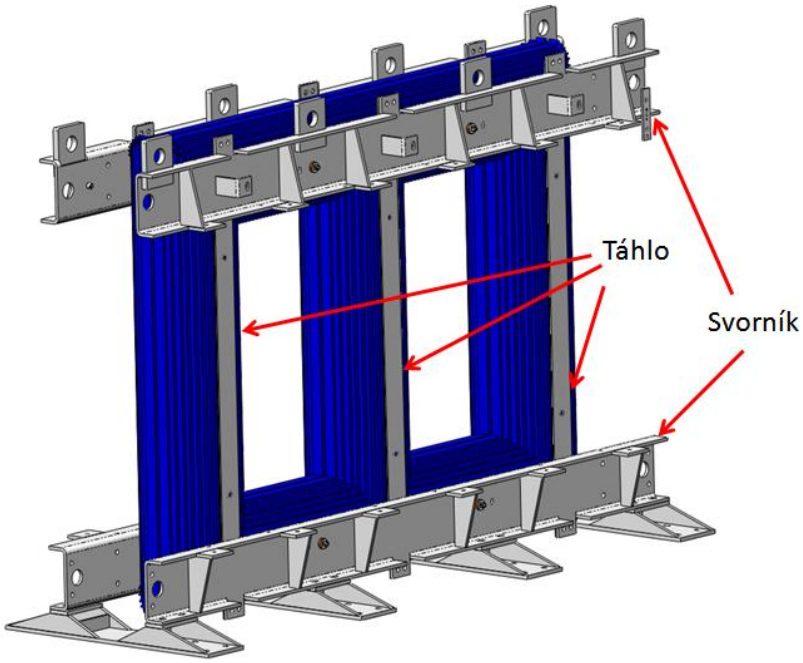
- **funkce svorníku:**
  - vždy dva proti sobě svírají transformátorové jádro složené z ocelových (transformátorových) plechů,
  - síla svěrného spojení má vliv na hlučnost transformátoru při provozu,

- síla svěrného spojení současně ovlivňuje ztráty v železe,

- **funkce táhla:**
  - tvoří jakousi klec transformátoru a díky jejich spojení se svorníky zajišťují tuhost celého transformátoru,
  - zachycují vznikající síly při zdvihání transformátoru,
  - částečně zamezují nechtěnému náklonu transformátoru vlivem vnějších působících sil (např. transport, zemětřesení apod.).



Obr. 55 - Příklad suchého transformátoru s vyznačenými svorníky a táhly



Obr. 56 - Příklad jádra suchého transformátoru s vyznačenými svorníky a táhly

Rozebíratelné spojení táhel a svorníků je požadováno z důvodu snadnější montáže aktivních částí transformátoru, neboť po vyrobení jednotlivých částí je u dodavatele sestaveno jádro z transformátorových plechů a ty jsou spojeny svorníky a táhly pro zajištění požadované tuhosti a stability pro následný transport (v tomto případě silniční). V následném kroku jsou u výrobce transformátoru z jádra odstraněny horní svorníky a horní transformátorové plechy a nasazeny aktivní části transformátoru (vinutí apod.) a po této operaci je jádro opět uzavřeno a staženo svorníky.

V současné době je tendencí výrobce přecházet z normalizovaných U-profilů svorníků na svorníky různých tvarů (J, U, T apod.) vyrobených zejména ohýbáním plechových polotovarů různých tlouštěk vyříznutých z tabulí plechu. Důvody k tomuto přechodu jsou zejména:

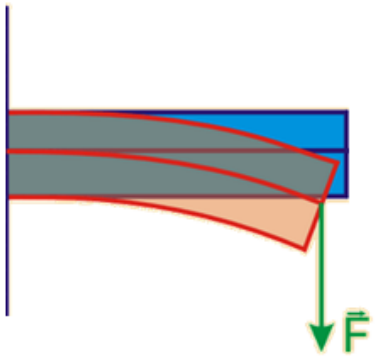
- úspora nákladů - někteří výrobci uvádějí úsporu až 10 % při použití z plechu vyrobených profilů,
- možnost výroby libovolných profilů například již s úchyty pro táhla nebo zdvihacími oky (odpadá operace svařování atd.).

Při konstrukčních návrzích budoucích podob svorníku může být využito regresní a korelační analýzy. V průběhu analýzy je sledován vliv jednotlivých rozměrů tvaru svorníku na konečnou hmotnost, potažmo tuhost svorníku.

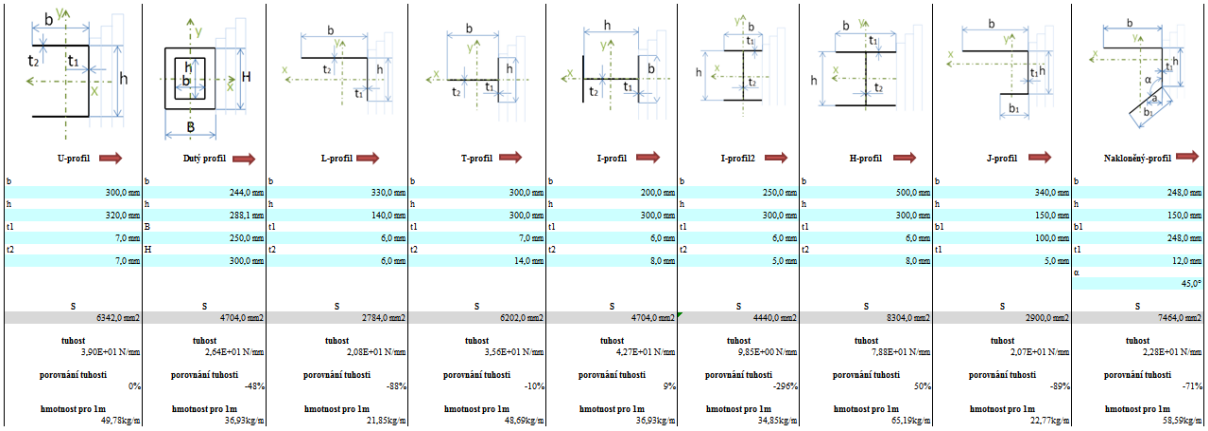
6.3.2 Výběr profilu svorníku

Prvním krokem optimalizace svorníku za pomocí korelační a regresní analýzy je výběr různých, v úvahu připadajících profilů svorníků a jejich porovnání s již běžně používanými profily. Pro jejich základní porovnání jsou vypočteny jejich průřezové charakteristiky a tuhosti (Obr. 58), které tvoří výchozí stav pro následnou analýzu.

Svorník je pro zjednodušení výpočtu uvažován jako jednostranně vetknutý (Obr. 57) a jeho délka je pro zachování porovnatelnosti výsledků uvažována jako 1m.



Obr. 57 - Uvažovaný výpočetní typ svorníku

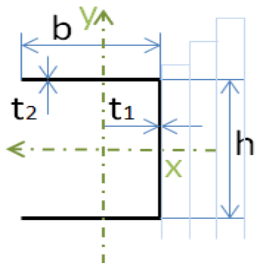


Obr. 58 - Průřezové charakteristiky vybraných profilů

V předchozím obrázku (Obr. 58) jsou představené do korelační a regresní analýzy zahrnuté profily. Po výběru vhodného profilu je možné přejít k dalšímu kroku korelační a regresní analýzy, kterým je určení korelační závislosti mezi požadovanými indikátory vlastností.

6.3.3 Korelační analýza závislosti rozměrů a tuhosti

Nyní byla stanovena korelační závislost mezi jednotlivými rozměry profilu s určením míry vlivu na celkovou tuhost profilu (Obr. 59). U každého uvažovaného profilu byly porovnávány dva tisíce variant rozměrů. V obrázku (Obr. 60) jsou zobrazeny jen první dva a poslední tři porovnávané rozměry pro každý profil spolu se zobrazenou mírou korelační závislosti.



Obr. 59 - Schematické zobrazení U-profilu s definovanými rozměry

U-profil						
	b	h	t1	t2		tuhost
1	226 mm	221 mm	14 mm	14 mm		2,03E+01 N/mm
2	271 mm	265 mm	11 mm	11 mm		2,84E+01 N/mm
1998	238 mm	62 mm	7 mm	7 mm		8,32E+00 N/mm
1999	271 mm	73 mm	7 mm	7 mm		1,25E+01 N/mm
2000	135 mm	124 mm	6 mm	6 mm		1,86E+00 N/mm

Obr. 60 - Vstupní rozměry U-profilu pro korelační a regresní analýzu

1. Určení hodnot korelačního koeficientu

Výpočet vychází z rovnice (3-11) a po dosazení jednotlivých hodnot rozměru „b“ a tuhosti U-profilu (Obr. 59) má rovnice následující podobu (6-1). Písmenkem T je označena tuhost profilu, která je uvažována jako závisle proměnná a *n* odpovídá počtu variant rozměrů.

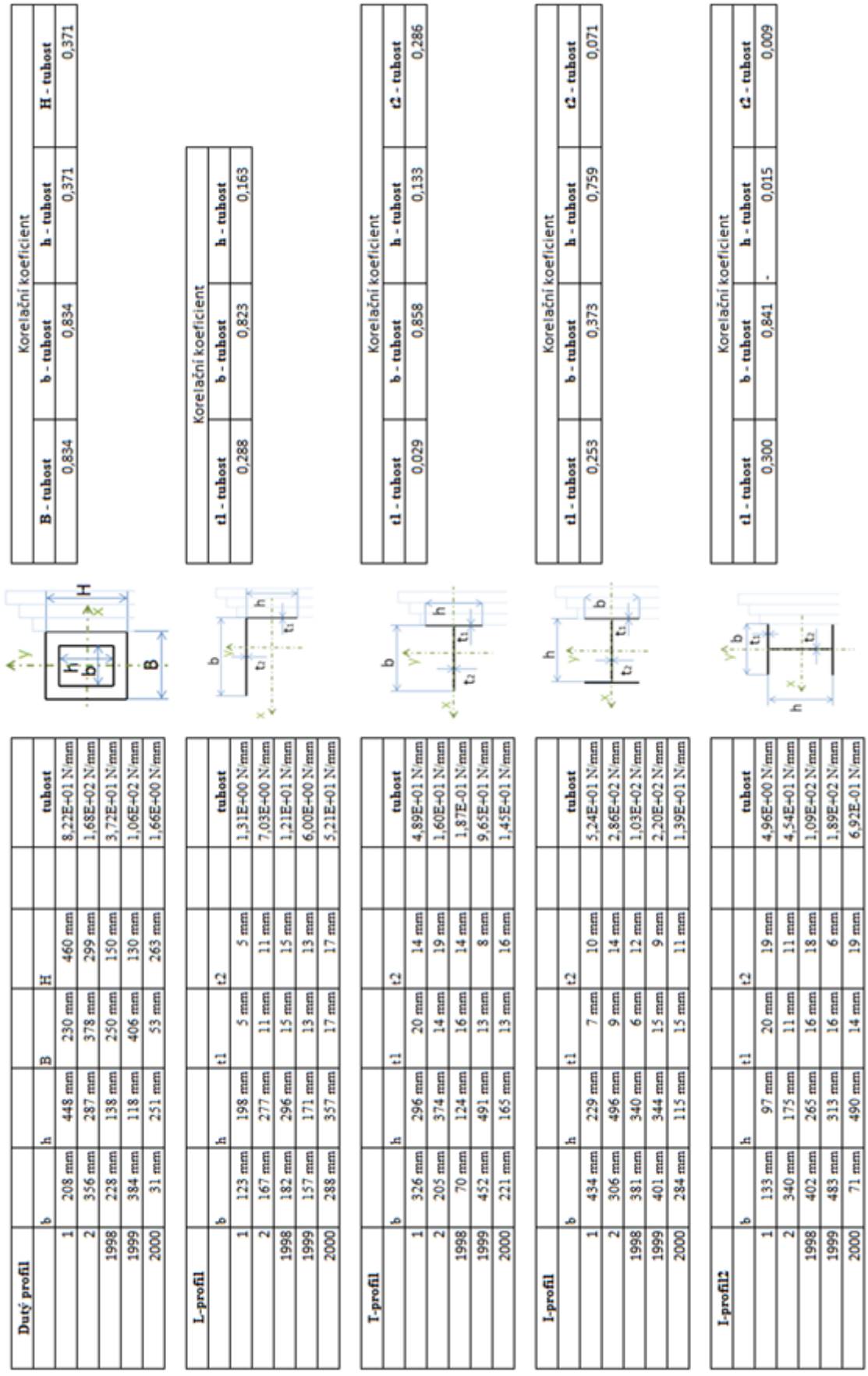
$$r_{bT} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} b_i \times T - \sum_{i=1}^{n} b_i \times \sum_{i=1}^{n} T_i}{\sqrt{n\sum_{i=1}^{n} b_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} b_i\right)^2} \times \sqrt{n\sum_{i=1}^{n} T_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} T_i\right)^2}} \qquad (6\text{-}1)$$

Pro získání ostatních vztahů výpočtů korelačních koeficientů lze postupovat zcela obdobně. Získané hodnoty jednotlivých pozorovaných vztahů jsou zobrazeny v následujícím obrázku (Obr. 61)

Korelační koeficient		
t1 - tuhost	b - tuhost	h - tuhost
0,265	0,922	0,141

Obr. 61 - Korelační koeficient rozměrů U-profilu a tuhosti U-profilu

Při výpočtu ostatních uvažovaných profilů bylo využito stejných vztahů a přehled získaných výsledků je uveden na následujících obrázcích Obr. 62 a Obr. 63.



Korelační koeficient			
B - tuhost	b - tuhost	h - tuhost	H - tuhost
0,834	0,834	0,371	0,371

Korelační koeficient			
t1 - tuhost	b - tuhost	h - tuhost	
0,288	0,823	0,163	

Korelační koeficient			
t1 - tuhost	b - tuhost	h - tuhost	t2 - tuhost
0,029	0,858	0,133	0,286

Korelační koeficient			
t1 - tuhost	b - tuhost	h - tuhost	t2 - tuhost
0,253	0,373	0,759	0,071

Korelační koeficient			
t1 - tuhost	b - tuhost	h - tuhost	t2 - tuhost
0,300	0,841	0,015	0,009

Dutý profil							tuhost
	b	h	B	H			
1	208 mm	448 mm	230 mm	460 mm			8,22E-01 N/mm
2	356 mm	287 mm	378 mm	299 mm			1,68E-02 N/mm
1998	228 mm	138 mm	250 mm	150 mm			3,72E-01 N/mm
1999	384 mm	118 mm	406 mm	130 mm			1,06E-02 N/mm
2000	31 mm	251 mm	53 mm	263 mm			1,66E-00 N/mm

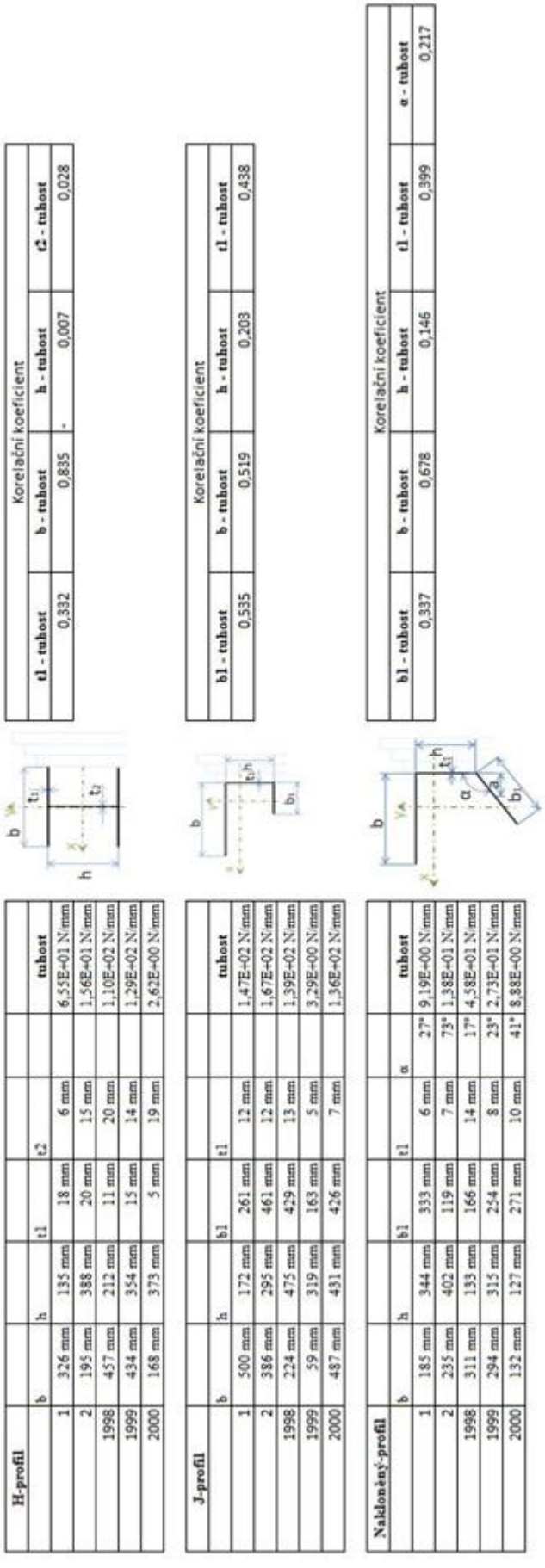
L-profil							tuhost
	b	h	t1	t2			
1	123 mm	198 mm	5 mm	5 mm			1,31E-00 N/mm
2	167 mm	277 mm	11 mm	11 mm			7,03E-00 N/mm
1998	182 mm	296 mm	15 mm	15 mm			1,21E-01 N/mm
1999	157 mm	171 mm	13 mm	13 mm			6,00E-00 N/mm
2000	288 mm	357 mm	17 mm	17 mm			5,21E-01 N/mm

T-profil							tuhost
	b	h	t1	t2			
1	326 mm	296 mm	20 mm	14 mm			4,89E-01 N/mm
2	205 mm	374 mm	14 mm	19 mm			1,60E-01 N/mm
1998	70 mm	124 mm	16 mm	14 mm			1,87E-01 N/mm
1999	452 mm	491 mm	13 mm	8 mm			9,65E-01 N/mm
2000	221 mm	165 mm	13 mm	16 mm			1,45E-01 N/mm

I-profil							tuhost
	b	h	t1	t2			
1	434 mm	229 mm	7 mm	10 mm			5,24E-01 N/mm
2	306 mm	496 mm	9 mm	14 mm			2,86E-02 N/mm
1998	381 mm	340 mm	6 mm	12 mm			1,03E-02 N/mm
1999	401 mm	344 mm	15 mm	9 mm			2,20E-02 N/mm
2000	284 mm	115 mm	15 mm	11 mm			1,39E-01 N/mm

I-profil2							tuhost
	b	h	t1	t2			
1	133 mm	97 mm	20 mm	19 mm			4,96E-00 N/mm
2	340 mm	175 mm	11 mm	11 mm			4,54E-01 N/mm
1998	402 mm	265 mm	16 mm	18 mm			1,09E-02 N/mm
1999	483 mm	313 mm	16 mm	6 mm			1,89E-02 N/mm
2000	71 mm	490 mm	14 mm	19 mm			6,92E-01 N/mm

Obr. 62 - Korelační závislosti vybraných profilů svorníků



Korelační koeficient			
t1 - tuhost	b - tuhost	h - tuhost	t2 - tuhost
0,332	0,835	- 0,007	0,028

Korelační koeficient		
b1 - tuhost	b - tuhost	t1 - tuhost
0,535	0,519	0,438

Korelační koeficient			
b1 - tuhost	b - tuhost	h - tuhost	t1 - tuhost	α - tuhost
0,337	0,678	0,146	0,399	0,217

H-profil							
	b	h	t1	t2			tuhost
1	326 mm	135 mm	18 mm	6 mm			6,53E-01 N/mm
2	195 mm	388 mm	20 mm	15 mm			1,56E-01 N/mm
1998	457 mm	212 mm	11 mm	20 mm			1,10E-02 N/mm
1999	434 mm	354 mm	15 mm	14 mm			1,29E-02 N/mm
2000	168 mm	373 mm	5 mm	19 mm			2,62E-00 N/mm

J-profil							
	b	h	b1	t1			tuhost
1	500 mm	172 mm	261 mm	12 mm			1,47E-02 N/mm
2	386 mm	295 mm	461 mm	12 mm			1,67E-02 N/mm
1998	224 mm	475 mm	429 mm	13 mm			1,39E-02 N/mm
1999	59 mm	319 mm	163 mm	5 mm			3,29E-00 N/mm
2000	487 mm	431 mm	426 mm	7 mm			1,36E-02 N/mm

Nakloněný profil							
	b	h	b1	t1	α		tuhost
1	185 mm	344 mm	333 mm	6 mm	27°		9,19E-00 N/mm
2	235 mm	402 mm	119 mm	7 mm	73°		1,38E-01 N/mm
1998	311 mm	133 mm	166 mm	14 mm	17°		4,58E-01 N/mm
1999	294 mm	315 mm	254 mm	8 mm	23°		2,73E-01 N/mm
2000	132 mm	127 mm	271 mm	10 mm	41°		8,88E-00 N/mm

Obr. 63 - Korelační závislosti vybraných profilů svorníků

2. Určení koeficientu determinace

Díky koeficientu determinace mohou být vyloučeny ty rozměry profilu, které mají malý nebo žádný vliv na konečnou tuhost. Díky tomuto kroku dojde k redukci proměnných a tím i ke zjednodušení následné regresní analýzy, neboť zde bude dále pracováno jen s těmi klíčovými faktory, které jsou pro sledovaný typ závislé proměnné důležité.

Pro výpočet koeficientu determinace byla využita rovnice (3-12) a po dosazení pro rozměr „b“ má následnou podobu:

$$R = {r_{bT}}^2 \tag{6-2}$$

Stejným způsobem je opět možné dopočítat i zbývající dva rozměry definující zkoumaný profil. Po jejich výpočtu získáme následující hodnoty:

Koeficient determinace		
t1 - tuhost	b - tuhost	h - tuhost
7%	85%	2%

Obr. 64 - Koeficienty determinace rozměrů U-profilu

Z analýzy získaných koeficientů determinace je možné konstatovat, že rozměry „t1“ a „h“ zastupují velice malou část rozptylu závisle proměnné (tuhosti) a naopak rozměr „b“ má podstatně větší vliv na změny závisle proměnné (tuhosti). O rozměru „b“ můžeme mluvit jako o driveru (více také v [67]), který má zásadní vliv na konečné vlastnosti sledovaného profilu.

3. Regresní analýza závislosti rozměrů a tuhosti

Z dílčích rozměrů vybraných profilů svorníků je možné provést regresní analýzu, kdy bude předpokládána lineární závislost mezi sledovanými hodnotami. Tuto závislost lze popsat rovnicí ve tvaru:

$$y = zx + w \tag{6-3}$$

Pro určení koeficientů „z“ a „w“ rovnice přímky lze využít následující vztahy za pomoci rozptylu s_x:

$$z = \frac{n\sum_{i=1}^{n} y_i \times \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i \times \sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{n^2 \times s_x^2} \tag{6-4}$$

$$w = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \times \sum_{i=1}^{n} y_i}{n^2 \times s_x^2} \tag{6-5}$$

kde rozptyl s_x:

$$s_x = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2}{n^2} \quad (6\text{-}6)$$

Ze znalosti koeficientů rovnice přímky lze následně při dosazení libovolného *x* (nezávislé proměnné=rozměr profilu) vypočítat pravděpodobnou hodnotu závislé proměnné *y* (tuhost profilu) bez nutnosti provádět jiné analytické výpočty či simulace.

Provedení regresní analýzy pro U-Profil

Po určení koeficientu determinace byl v případě U-profilu vybrán rozměr „b“ jako klíčový parametr pro ovlivnění sledované proměnné (tuhosti). Při zjišťování vzájemného vztahu rozměru „b“ (Obr. 59) a tuhosti „T“ U-profilu byla provedena regresní analýza za pomocí proložení výsledné tuhosti lineární regresní přímkou.

Postup regresní analýzy s lineární regresní přímkou:

1. určení rovnice přímky

$$T = zb + w \quad \textbf{(6-7)}$$

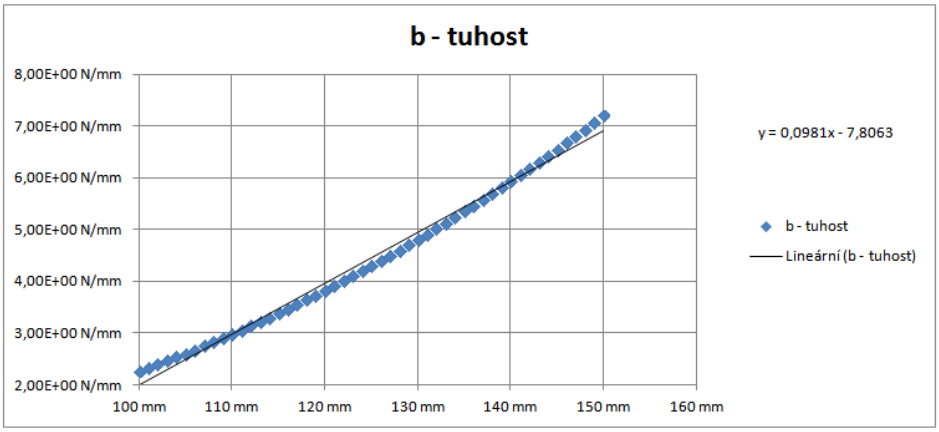
2. určení koeficientů rovnice přímky, kde n=počet pozorovaných rozměrů

$$z = \frac{n\sum_{i=1}^{n} T_i \times \sum_{i=1}^{n} b_i^2 - \sum_{i=1}^{n} T_i \times \sum_{i=1}^{n} b_i T_i}{n^2 \times s_x^2} \quad \textbf{(6-8)}$$

$$w = \frac{n\sum_{i=1}^{n} b_i T_i - \sum_{i=1}^{n} b_i \times \sum_{i=1}^{n} T_i}{n^2 \times s_x^2} \quad \textbf{(6-9)}$$

$$s_b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} b_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} b_i)^2}{n^2} \quad \textbf{(6-10)}$$

3. grafické zobrazení tuhosti v závislosti na rozměru „b“ s proloženou regresní přímkou



Obr. 65 - Znázornění průběhu tuhosti U-profilu v závislosti na rozměru „b“ s proloženou regresní přímkou a její rovnicí

Koeficienty rovnice přímky jsou v tomto případě:

z = 0,0981

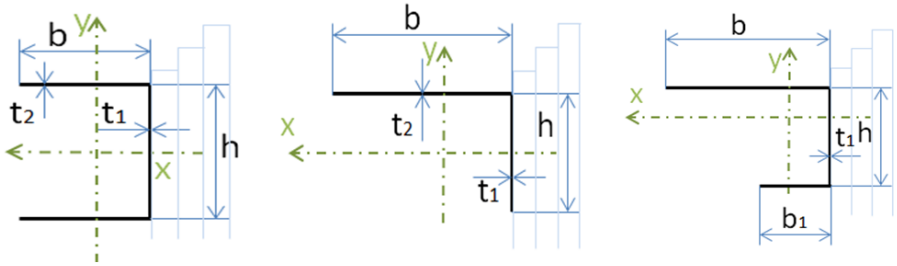
w = -7,8063

6.3.4 Hodnocení projektu

Ze znalosti rovnice regresní přímky a jejích koeficientů lze usuzovat na budoucí chování sledované vlastnosti s rostoucím/klesajícím rozměrem „b“. Díky grafickému znázornění není pro hrubé odhady nutné počítat tuhost profilu, ale je možné dle průběhu regresní přímky odhadnout, v jakých mezích se bude tuhost pohybovat pro zvolený rozměr „b“. Jako druhá možnost je dosadit hodnotu rozměru „b“ do rovnice přímky a tím získat taktéž odhad budoucí hodnoty tuhosti. Jak odhad pomocí grafického znázornění, tak pomocí dosazení do rovnice přímky je vždy s rozdílnou spolehlivostí. Ve sledovaném případě hodnota spolehlivosti odpovídá hodnotě koeficientu determinace získaného dle rovnice (6-2) v Obr. 64 a ten činí 85 %.

Jako optimální konstrukční řešení s ohledem na celkovou tuhost konstrukce neaktivních částí transformátoru se jeví provedení svorníku ve tvaru profilu U (Obr. 66) s volbou rozměru „b“ co možná nejdelšího a rozměru „h“ pokud možno co nejkratšího, neboť ten má jen nepatrný vliv na celkovou tuhost. V praxi však musí být zohledněny i další důležité faktory, které volbu rozměrů svorníku zásadně ovlivňují. Mezi takové faktory patří např. velikost dosedací plochy svorníku (tedy rozměr „h“), se kterou je svorník přitlačován k jádru transformátoru. Kromě tohoto faktoru sem patří také různé vývodní terminály z vinutí transformátoru, které procházejí kolem svorníků a u kterých je nutné dle velikosti napětí dodržovat bezpečnostní odstupy mezi jednotlivými kovovými částmi. Z toho důvodu může být dále doporučeno využití profilu J nebo L (Obr. 66), které mají jednu stranu kratší nebo zcela žádnou. Tyto dvě konstrukční varianty nabízejí jistou variabilitu pro jejich případné nasazení při konstrukci transformátoru.

Všechny výše uvedené výpočty a analýzy byly prováděny v tabulkovém procesoru a při konstrukci svorníků je možné jejich plné využití jako znalostní databáze, která udává změnou rozměrů optimální průřezové charakteristiky pro jednotlivé dříve uvedené možné průřezy svorníků s jejich současným porovnáním.



Obr. 66 - Schematické zobrazení U, L a J profilu

Pro ověření předpokladu, že využitím svorníku vyrobeného z plechového polotovaru nedojde ke ztrátám mechanických vlastností, byla provedena simulace MKP. V této simulaci byly porovnávány dva profily - jeden vyrobený z normalizovaného U-profilu a druhý vyrobený ohýbáním z plechového polotovaru při zachování rozměrů odpovídajících normalizovanému U-profilu. Více o tomto ověření v příloze (Příloha č. 1 - Simulace svorníků pomocí MKP).

7 Splnění cílů disertační práce

1. **Rešerše současného stavu poznání v oblasti konstrukčních procesů.**

V kapitole 2 je provedena rešerše strategií pro řešení konstrukčního procesu s uvedenou jejich charakteristikou. U instruktivních strategií jsou představeny možné využitelné metody. Další část kapitoly se věnuje strategii teoreticky podložené a to zejména strategii vycházející z poznatků Teorie technických systémů. Z analýzy vyplývá, že v uvedených přístupech ke konstrukčnímu procesu není kladen velký důraz na jeho řízení.

2. **Analýza metod predikování vlastností technických produktů.**

Způsoby a metody predikování vlastností technických produktů jsou hledány ve třech oblastech. První a současně základní oblastí pro další výzkum a vývoj je oblast Engineering Design Science na bázi Teorie technických systémů. Druhou oblastí jsou znalosti a zkušenosti vycházejí z Projektového managementu. Třetí oblast tvoří analytické výpočty vycházející z matematické statistiky. Jedná se o soubor čtyř metod (časové řady, fuzzy množiny, korelační a regresní analýza a Markovovy řetězce), které je možné použít pro predikování vlastností technických produktů.

3. **Rešerše Projektového managementu a analytických metod a výběr vhodných metod pro integraci do konstrukčního procesu.**

V kapitole 2.3 je možné nalézt základní principy Projektového managementu a jeho hlavní vývojové směry. Analytické metody využitelné pro predikci vlastností jsou oproti tomu představené v kapitole 3.1.4. Z těchto poznatků se vychází v další části práce při stanovování vhodných metod pro predikci vlastností.

4. **Integrace poznatků PM a analytických metod do konstrukčního procesu.**

Tomuto cíli je věnována kapitola 5. Jsou zde pospány činnosti/operace, do kterých byla zamýšlená integrace metod a poznatků prováděna i s jejich podrobnou charakteristikou. Následující podkapitoly se věnují predikování vlastností TS za pomoci metod vycházejících z PM (kapitola 5.1) i s jejich obohacením o poznatky na bázi TTS (kapitola 5.3). V kapitole 5.4 se práce věnuje predikování vlastností TS pomocí analytických metod, k jejichž provádění v konstrukčním procesu byla navržena metodická základna.

5. Validace dosažených výsledků při řešení reálných výzkumně vývojových úkolů.

Získané teoretické výsledky byly validovány na dvou na sobě nezávislých konstrukčních problémech řešených v praxi. První příklad řeší konstrukční návrh přípravku pro provádění tahové zkoušky hliníkové lahve a současně návrh zařízení pro úpravu zkušebních vzorků z lahve získaných. Tento příklad je řešen na jedné straně pomocí konstrukčního přístupu popsaného v [33] a na straně druhé současně za pomoci metod PM obohacených o teoretický základ vycházející z TTS na bázi EDS. Druhý příklad řeší inovační proces konstrukčního provedení svěrného spojení transformátorové konstrukce jádra za využití poznatků postavených rovněž na základě TTS na bázi EDS a to za využití korelační a regresní analýzy.

6. Hodnocení získaných poznatků a doporučení pro další výzkum.

Z jednotlivých praktických příkladů vyplývá možný postup predikování vlastností TS za pomoci dvou rozdílných přístupů. Současně je možné představené příklady brát jako návod, jak predikovat vlastnosti TS nejen pomocí o poznatky TTS obohacených metod PM, ale také na základě analytických výpočtů.

Souhrnné hodnocení získaných poznatků jakož i doporučení pro další výzkum je uvedeno v rámci následující kapitoly Závěr.

8 Potvrzení hypotéz disertační práce

1. **Lze nalézt přínosy TTS pro metody Projektového managementu?**

Touto otázkou se ve větší míře zabývá kapitola 5.3. Zde je ukázána na dvou příkladech možnost obohacení běžně používaných metod Projektového managementu o poznatky Engineering Design Science na bázi Teorie technických systémů.

2. **Lze nalézt analytické metody predikování vlastností technických systémů, které budou snadno proveditelné v konstrukční procesu?**

Po rešerši této problematiky (kapitola 3.1.4) byla v práci vybrána a dále i prakticky ověřena metoda Korelační a regresní analýza. Z uvedeného z praxe vyvozeného příkladu je možné vidět přínosy této metody pro predikování vlastností technických produktů již ve fázi konstrukčního procesu.

3. **Do jakých fází konstrukčního procesu je možné integrovat jak poznatky a metody z Projektového managementu, tak současně i analytické metody?**

Odpověď na tuto otázku je možné nalézt v kapitole 5 spolu s grafickým vyobrazením fází konstrukčního procesu, do kterých byly uvažované poznatky integrovány (Obr. 19).

4. **Jak podpořit v konstrukčním procesu zohlednění externích faktorů?**

V disertační práci byla tato problematiky zohledněna zejména zdokonalením metod Projektového managementu implementací poznatků EDS na bázi TTS v kapitole 5.3 a to především za využití poznatků o konstrukční situaci (kapitola 2.2.7). Konstrukční situace zahrnuje faktory, jako jsou politické vlivy, vlivy trhu nebo také vlivy samotné zakázky (množství, originalita, aj.) apod. Kromě toho jsou externí faktory v KP zahrnuty i v operátorech, které KP proces ovlivňují (Obr. 13)

.

9 Závěr, přínosy práce a doporučení pro další výzkum

V rámci disertační práce byly dle názoru autora splněny všechny stanovené cíle. V teoretické části byly podrobně rozděleny a popsány různé konstrukční strategie a přístupy pro řešení konstrukčního problému. Tyto byly zhodnoceny a bylo rozhodnuto pokračovat v další práci za využití strategie podložené teoretickými základy vycházejícími z Teorie technických systémů a současně z poznatků Projektového managementu. Z toho důvodu byly v kapitole (2.2) popsány základy EDS na bázi TTS a rovněž i základní směry a principy PM (kapitola 2.3). Hlavním tématem práce jsou vlastnosti TS a jejich predikce, proto byly v kapitole 5 představeny možnosti, jak vlastnosti TS predikovat za pomoci dvou rozdílných přístupů. První přístup vychází z poznatků TTS a využívá znalosti Projektového managementu (kapitola 5.1 - 5.3), druhý rovněž využívá poznatků TTS a vychází z analytických výpočetních metod matematické statistiky (kapitola 5.4).

V konstrukčním procesu mohou být vlastnosti TS nejen predikovány, ale rovněž jsou zde i stanovovány, a to ve značné míře. Z toho důvodu se práce o problematice řízení konstrukčního procesu taktéž zmiňuje v souvislosti s výběrem vhodných metod pro predikování vlastností TS. Jak se v průběhu práce ukázalo, ne všechny předpokládané a vybrané metody z PM jsou pro danou problematiku vhodné.

Predikování vlastností TS v konstrukčním procesu bylo rozděleno do dvou částí. První část se zabývá predikováním pomocí metod PM. Byly vybrány vhodné metody z PM a ty byly dále zdokonaleny o teoretický základ TTS. Takto obohacených metod bylo využito během řešení konstrukčního problému při návrhu řešení přípravku pro provádění tahové zkoušky.

Pokračování tohoto úkolu by bylo možné zejména v přenosu znalostí opačným směrem, než bylo využito v této práci, a to z PM do KP, kde by mohlo být využito zejména poznatků ve vztahu k člověku. Může se jednat o psychologické aspekty, jako jsou motivace nebo vlivy prostředí na člověka (konstruktéra), respektive na konstrukční proces. Jak bylo v práci dříve uvedeno, člověk hraje v procesu konstruování nezastupitelnou roli. Vedle toho je další možností větší zohlednění ekonomických aspektů nejen konstruovaných TS, ale vlivu TS na ostatní etapy životního cyklu. Příkladem může být firma, která má vlastní konstrukční oddělení a současně vlastní výrobu a s ní související aparát (nákup, logistika, ...). V takovém případě mají zásadní vliv na ekonomickou stabilitu firmy nejen výsledek práce, ale i jeho časové dispozice. To je myšleno tak, že pokud konstruktér odvede perfektní práci a zkonstruuje „bezchybný“ výrobek, na který se ovšem čekalo déle, než předchozí plánování uvádělo, vznikne následná řetězová reakce, která vyvolá mimo jiné výpadek práce ve výrobě, zpoždění dodávek atd. Všechny tyto nežádoucí vlivy mají poté velké ekonomické (např. penále) i morální důsledky.

Druhá část práce se zabývá predikováním vlastností pomocí analytických metod. Opět byly vybrané vhodné metody, které mají potenciál pro integraci do konstrukčního procesu. Byla

navržena metodická základna pro provádění predikce vlastností pomocí analytických metod a ta byla následně ověřena na praktickém příkladu. Příklad se týkal stahovací konstrukce suchého transformátoru. Prováděné výpočty byly konzultovány s předními odborníky z konstrukce těchto netočivých elektrických strojů. Výsledkem konstrukčního úkolu je teoretický základ pro návrh horní stahovací konstrukce transformátoru, který byl již vícekrát využit v praxi. Za správnost předložených a doložených předpokladů může být považováno to, že na základě této analýzy byla zkonstruována řada různých suchých transformátorů, které již bezproblémově fungují u koncového uživatele.

Další výzkum v této oblasti by se měl především zaměřit na nelineární korelační závislosti a na vícefaktorové konstrukční problémy. Např. současná konstrukční podoba táhel transformátoru v uvedeném příkladu je již používaná několik desítek let a i zde při současné analýze svorníku by jistě byl nalezen prostor pro inovace.

10 Shrnutí

V disertační práci je podán souhrnný pohled na problematiku konstrukčního procesu, na možné přístupy k dané problematice a je zdůrazněna důležitost konstrukčního procesu pro celý životní cyklus technického produktu. V práci je uveden stručný popis jak poznatků z oblasti Engineering Design Science, tak z oblasti Projektového managementu, tak nejnovějších poznatků z oblasti predikování vlastností, které efektivně rozšiřují a doplňují konstrukční proces s ohledem na a celý životní cyklus technického produktu.

Výsledkem práce je znalostní základ pro predikci vlastností technických produktů v průběhu konstrukčního procesu za pomoci dvou zcela rozdílných přístupů. První přístup vychází z poznatků a metod Projektového managementu a druhý z analytických statistických metod. Oba přístupy staví na základu Teorie technických systémů na bázi Engineering Design Science, která dodává oběma přístupům potřebný rámec a zařazení v samotném průběhu konstrukčního procesu. Platnost v práci představených nových přístupů a poznatků byla ověřena v praxi při řešení dvou na sobě nezávislých konstrukčních problémů.

Resumé

The dissertation thesis provides a comprehensive view of the issues of the design process, the possible approaches to the issue and highlights the importance of the design process for the whole life cycle of the technical product. The dissertation thesis gives a brief description of knowledge of Engineering Design Science and Project Management, and also describes the latest findings in the field of predicting the properties, which appropriately extends and complements with regard to the design process and the whole life cycle of the technical product.

The result of the dissertation thesis is a knowledge base for predicting the properties of technical products during the design process using two completely different approaches. The first approach is based on findings and methods of Project Management and the other on analytical statistical methods. Both approaches build on the theory of technical systems based on Engineering Design Science, which adds both approaches a necessary framework and inclusion in the course of the design process. The validity of new approaches and findings introduced in the dissertation thesis was verified in practice by solving two independent design problems.

Fazit

Diese Dissertationsarbeit bietet eine Gesamtsicht auf die Problematik des Konstruktionsprozesses, auf mögliche Stellungen zu dieser Problematik und hebt die Wichtigkeit des Konstruktionsprozesses für den gesamten Lebenszyklus des technischen Produkts hinaus. Die Dissertationsarbeit gibt eine kurze Beschreibung der Erkenntnisse im Bereich Engineering Design Science und Projektmanagement und beschreibt auch die neuesten Erkenntnisse im Bereich der Prädiktion der Eigenschaften, die sie erweitert und ergänzt im Hinblick auf den Konstruktionsprozess und den gesamten Lebenszyklus des technischen Produktes.

Das Ergebnis der Dissertationsarbeit ist eine Wissensbasis für die Prädiktion der Eigenschaften von technischen Produkten während des Konstruktionsprozesses mit Verwendung von zwei völlig unterschiedlichen Stellungen. Die erste Stellung basiert auf Erkenntnissen und Methoden des Projektmanagements und die zweite auf analytischen statistischen Methoden. Beide Stellungen gehen von der Theorie der technischen Systeme auf Basis Engineering Design Science, die beiden Stellungen notwendigen Rahmen und Einreihung in den Verlauf des Konstruktionsprozesses gibt. Die Validität der in der Dissertation vorgestellten neuen Stellungen und Erkenntnisse wurde bei der Lösung von zwei unabhängigen Konstruktionsproblemen in der Praxis überprüft.

Použité informační zdroje

[1] Abel, E., Anderl, R., Birkhofer, H., Rüttinger, B.: EcoDesign: Von der Theorie in die Praxis. ISBN 978-3-540-75437-4. Springer Berlin Heidelberg New York 2008.

[2] Abele, E.; Anderl, R., Birkhofer, H.: Environmentally Friendly Product Development – Methods and Tools. Springer: London,Berlin, Heidelberg 2005.

[3] Alonso-Rascao, T., et al: The design of functional (toael care) products. In: Journal of Engineering Design,. Vol. 15, No. 6, December 2004, p. 515-540, ISSN 0954-4828

[4] Andreasen, M. M. Konsensus statements from DFX Workshop, Lyngby 1993. In: Proc. of the WDK Workshop Design for X. Andreasen, M. M. (Ed.). Lyngby, TU Denmark, 3.–4.5 1993

[5] Andreasen, M. M., Hein L.: Integrated Product Development. Berlin: IFS Publ. and Springer, 1987, ISBN 3-540-16679-3, 2. vyd. Kopenhagen, TU Denmark, 2000

[6] Andreasen, M. M., Kähler, S., Lund, T.: Design for Assembly. Berlin/Heidelberg: IFS Publ. and Springer-Verlag, 1988, ISBN 3-540-18929-7

[7] Andreasen, M.M.: Modelling The Language of the Designer. Journal of Engineering Design, 5, 2, 103-115.

[8] Banse, G.: Auf dem Wege zum Konstruktionswissenschaft. Cottbus: TU, 1997

[9] Barry, B., Thumann, A.,: Project Management and Leadership Skills for Engeneering and Construction Projects. ISBN 0-88173-430-6. The Fairmont Press, Inc. New York 2003.

[10] Breiining, A., Knosala, R.: Bewerten Technischer Systeme. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1997, ISBN 3-540-61086-3

[11] Caupin, G., Knöpfel, H., Koch, G., Pannenbäcker, K., Pérez-Polo, F., Seaburg, Ch.: ICB - IPMA Competence Baseline Version 3.0 ISBN 0-9553213-0-1

[12] Cross, N.: Engineering Design Methods. Chichester: Viley, 1994, ISBN 0-471-92215-3

[13] ČSN EN ISO 9000 (ed. 2, 01 0300, idt ISO 9000:2000) Systémy managementu jakosti – Základy, zásady a slovník. Praha: Český normalizační institut, březen 2002

[14] ČSN ISO 10006 (010333): Management jakosti - Směrnice jakosti v managementu projektu. Český normalizační institut, Praha 1999.

[15] Dankwort, C.W., faisst, K.-G.: Engineering in Reverse im Ästhetic Design, In: Beiträge zum 13. Symposium Design for X, Meerakamm, H. (Ed.), Neukirchen: Univ. Erlangen-Nürnberg, 2002, p. 1-10, ISBN 3-9808539-0-X

[16] Doležal, J., Máchal,P., Lacko, B. a kolektiv: Projektový management podle IPMA. ISBN 978-80-247-2848-3. Grada Publishing, Praha 2009

[17] Doležal, J.: Predikce v projektech s využitím Markovových řetězců. Disertační práce, Brno 2010

[18] Dujka, J.: Predikce nákladů projektů automatizovaných systémů řízení. ISBN 80-214-2555-5. Brno 2004

[19] Dvořák, J.: Písemná práce ke státní doktorské zkoušce. Plzeň: ZČU, KKS, 2009.

[20] Eder, W. E., Hosnedl, S.: Design Engineering, A Manual for Enhanced Creativity. CRC Press, Taylor & Franciss Group, Boca Raton, Florida USA 2008, 600 s., ISBN 978-1-4200-4765-3

[21] Eder, W. E.; Hosnedl, S.: Introduction to Design Engineering: Systematic Creativity and Management. CRC Press / Balkema, Taylor & Francis Group, Leiden, The Netherlands, 2010, ISBN: 978-0-415-55557-9

[22] Eekels, J.: On the fundamentals of Engineering Design Science. Journal of Engineering Design. 2000, Vol. 11, No 4, pp. 377-397; 2001, Vol. 12, No 3, pp. 255-281

[23] Ehrenspiel, K. et all. Cost Efficient Design. 1st ed. Berlin Hiedelberg: Springer-Verlag, 2007. 544 p. ISBN 10:3-540-34647-3.

[24] Ehrlenspiel, K., Bernard, R. & Günther, J. (1995). Unterstützung des Konstruktionsprozesses durch Modelle. In: W. Hacker & P. Sachse (Hrsg.), Bericht über das Werkstattgespräch Bild und Begriff III. Zur Rolle von Anschauung und Abstraktion im konstruktiven Entwurfsprozeß, Diesbar-Seußlitz, 20.-22.10.1995, 45-59. TU Dresden.

[25] Elpro-Energo, s. r. o., dostupné na (http://www.elpro-energo.cz/) ke dni 14.10.2013.

[26] French, M. J.: Invention and Evolution; Design in Nature and Engineering. Cambridge, UK: University Press, 1988, ISBN 0-85072-155-5

[27] Freymadl, H.,J.: Schadenanalyse und Schadenbegrenzung in Sozio-technischen Systememen. Cottbus, 1998, Disertační práce

[28] Fridrichová, L.:Projektový managment, dostupné na (http://www.kht.tul.cz) ke dni 26.8.2011

[29] Hales, C.: Managing Engineering Design. NY, USA: Johm Wiley, 1993, ISBN 0-470-20004

[30] Haman, S.: Prozessnahes Qualitätsmanagement beim Spritzgiessen. Disertationarbeit, Chemnitz 2004

[31] Holzbauer, U.: Entwicklungs-management. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007. ISBN 978-3-540-39516-4

[32] Hosnedl, S., Nemec, L.: Estimation of a Product Property based on Similarity of its Parameters. In: Beiträge zum 13. Symposium Design for X, Meerakamm, H. (Ed.), Neukirchen: Univ. Erlangen-Nürnberg, 2002. s. 77-84, ISBN 3-9808539-0-X

[33] Hosnedl, S.: Systémové navrhování technických produktů KKS/ZKM. Texty přednášek v Power Pointu. Plzeň: ZČU, KKS, 2011

[34] Hubka, V., Eder, W.E: Theory of Technical Systems. Berlin Heidelberg: Springer - Verlag, 1988, (2. vyd. něm. 1984) ISBN 3-540-17451-6

[35] Hubka, V.: Fachbegriffe der wissenschaftlichen Konstruktionslehre in 6 Sprachen. Schriftenreihe WDK 3. Zürich: Heurista, 1980, ISBN 3-85693-003-5

[36] Hubka,V., Eder, W. E.: Design Science. London, Springer, 1996, ISBN 3-540-19997-7

[37] Hundal, M., S.: Systematical Mechanical Designing: a Cost and Management Perspective. New York: ASME Press, 1997, ISBN 0-7918-0042-3

[38] Chakrabarti, A. (Ed.): Engineering Design Synthesis - Understanding, Approaches and Tools. London: Springer, 2002, ISBN 1-85233-492-4

[39] Chakrabarti, A.: A Framework for a Glossary of Terms in Engineering Design. Cambridge University, Technical Report, 1994, citováno v [Blessing 2003].

[40] Internetový portál Katedry analytické chemie, UP v Olomouci (http://ach.upol.cz/user-files/intranet) ke dni 17.03.2013

[41] Kemper T.,Müller, W.: Qualitätsmanagement in Entwicklung und konstruktion - Modul 5. Lehrstuhl Qualitätsmanagement und Ferigungmesstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, 2005.

[42] Kleinová, J.: Ekonomické hodnocení výrobních procesů, případové studie, Plzeň, ZČU, KPV, 2009

[43] Kolesárová, A.: Fuzzy množiny a ich aplikácie. ISBN 8022720364. Slovenská technická univerzita Bratislava 2004.

[44] LUKÁŠ, L.: Pravděpodobnostní modely. ZČU v Plzni, 2005, ISBN 80-7043-388-4.

[45] Navara, M., Olšák, P.: Základy fuzzy množin. Praha 2001. Dostupné ve formátu pdf na (ftp://math.feld.cvut.cz/pub/olsak/fuzzy/) dne 17. 05. 2013.

[46] Němec, V.: Projektový management. Praha: Grada Publishing: 2002

[47] Norma DIN 25424 Teil 1. - Fehler baumanalyse - Methode und Bildzeichen. Německo 1981

[48] Norma VDI 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Richtlinien. Düsseldorf, VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung, 1993.

[49] Norma VDI 2800 2000: Wertanalyse. Düsseldorf, VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung, 2008.

[50] Novák, V.,:Základy fuzzy modelování. ISBN 80-7300-009-1. BEN-Technická literatura. Praha 2002.

[51] Office of Government Commerce: Managing Successful Projects with PRINCE2 Manual ISBN: 0113310595 / 978-0113310593, TSO 2009.

[52] Pahl, G., Beitz, W.:Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Methoden und Anwendung. Springer, Berlin Heidelberg New York 2007.

[53] Pahl, G., Beitz, W.:Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung. 4. Auflage. Berlin: Springer. ISBN-10: 3540619747, ISBN-13: 978-3540619741, 1997

[54] Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement - Strategien, Methoden, Techniken. München, Wien: Hanser, 2001.

[55] Potměšil, J.- podklady k přednáškám z předmětu KEM/STA. Plzeň: ZČU, FEK, 2010

[56] Project management institute: A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) - Fourth edition. Pennsylvania : PMI, 2008. ISBN 978-1-933890-51-7.

[57] Römer, A., Leinert, S., & Sachse, P. (2000). External Support of Problem Analysis in Design Problem Solving. Research in Engineering Design, 12, 3, 144-151.

[58] Roozenburg, N. F. M., Eeekels, J.: Product Design: Fundamentals and Methods. Chichester, UK: Wiley, 1995, ISBN 0-471-94351-7

[59] Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1994. ISBN 3-540-57324-0 (Band 1), ISBN 3-3540-57656-8 (Band 2)

[60] Rückert, C.Untersuchungen zur Konstruktionsmethodik – Ausbildung und Anwendung. Düsseldorf: VDI Verlag.

[61] Statistická analýza 2 (Regresní analýza a časové řady KMA/SA2). Dostupné ve formátu pdf na (http://home.zcu.cz/~sediva/sa2/01_sa2.pdf) dne 08. 10. 2013.

[62] Suh, N. P.: The Principles of Design. New York: Oxford: Univ. Press, 1990, ISBN 0-19-504345-6

[63] Sünderhauf, K.: Unterstützungsmöglichkeiten des konstruktiven Problemlöseprozesses durch Prototyping. Unveröffentlichte Diplomarbeit der TU Dresden, Institut für Allgemeine Psychologie und Methoden der Psychologie. 1997

[64] Svozilová, A.: Projektový management. Praha: Grada Publishing, a.s., 2006.

[65] Tomiyama, T.: General Design Theory and its Extensions and Applications. Publications of the Tomiyama Lab. RACE, April 1999 – March 2000. The University of Tokyo, 1999

[66] Yoshikawa, H.: General Design Theory: Theory and Application. Conf. on CAD/CAM Technology in Mechanical Engineering. Cambridge, USA: MIT Press, 1981

Seznam publikovaných prací

[67] Dvořák, J., Kroták, S.: Determination of key drivers regarding to costs of technical products, Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium, ISBN 978-3-901509-83-4, ISSN 1726-9679, Editor B[ranko] Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria 2011

[68] Kroták, S.: Zvýšení kvality systémového návrhu technického produktu integrací metod Projektového managementu a Design of Experiments. Písemná práce ke Státní doktorské zkoušce. Plzeň, ZČU, 2011

[69] Kroták, S.: Využití systému Pro/ENGINEER v elektrotechnice. Bakalářská práce. Fakulta elektrotechnická, Západočeská Univerzita v Plzni ,2012

[70] Kroták, S., Mašek, B., Urbánek, M.: Use the hydroforming by produced the pad for extreme carving, Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium, ISBN 978-3-901509-83-4, ISSN 1726-9679, Editor B[ranko] Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria 2011

[71] Mašek, B., Kroták, S., Neuman, J., Štádler, C.: Carving, metalforming and EDS - three extreme inspirations for one result. XXXI. Verformungskundliches Kolloquium, ISBN 978-3-902078-17-9, p. 41-44, Planneralm, Germany, 2012

[72] Mašek, B., Kroták, S., Neuman, J., Štádler, C.: Prototyping as a Tool for Rapid Development of Components for Sporting Equipment. Advanced Materials Research Vol. 628. Trans Tech Publications. ISBN 978-3-03785-570-6, Switzerland, 2013.

[73] Kroták, S., Mašek, B.: Rapid prototyping with using Engineering Design Science knowledge, New trends in material technology, ISBN 978-3-86367-008-5, p. 33-35, Západočeská univerzita v Plzni, Sokolov, ČR, 22.-24.06.2011

[74] Kroták, S., Šimlová, M.: The rationalization of the product life cycle with the analyze of each phase, Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium, ISBN 978-3-901509-83-4, ISSN 1726-9679, Editor B[ranko] Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria 2011

[75] Šimlová, M., Kroták, S.: Vliv ergonomie na výrobní etapu. MOPP 2011 Modelování a optimalizace podnikových procesů, 13. ročník mezinárodního semináře, ISBN 978-80-261-0060-7, Západočeská univerzita v Plzni, Darovanský Dvůr, ČR 24. - 25.11. 2011

[76] Šimlová, M., Kroták, S.: Inovace a marketing v životním cyklu produktu. International Conference on Collaborative Engineering in the Innovation Cycle. ISBN 978-80-7372-938-7, str. 23-36, Technická univerzita v Liberci, 2012, ČR, 29.-30.11.2012

[77] Šimlová, M., Kroták, S.: Obohacení konstrukčního procesu metodami průmyslového inženýrství, International Conference on Collaborative Engineering in the Innovation Cycle. ISBN 978-80-7372-938-7, str. 63-78, Technická univerzita v Liberci, 2012, ČR, 29.-30.11.2012

[78] Šimlová, M., Kroták, S. Edl, M.: Product life cycles and Ergonomics, 19th International Business Information Management Association (IBIMA) Conference, ISBN: 978-0-9821489-8-3, Barcelona, Spain, 12.-13. 11. 2012

[79] Kroták, S., Šimlová, M, Štádler, C.: Different views on the product life cycle. International design conference design 2014. Dubrovnik - Croatia, May 19 - 22, 2014 - podaný příspěvek

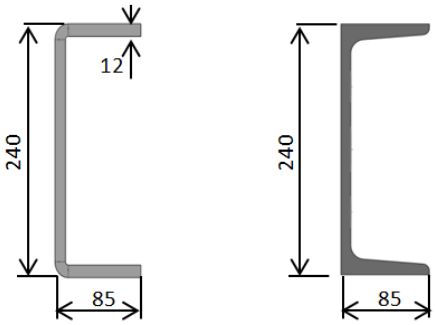
[80] Kroták, S., Šimlová, M, Štádler, C.: Project Management with an enrichment of Engineering Design Science in the course of design process of a technical product. The 3rd International Conference on Design Engineering and Science, ICDES 2014, Pilsen, Czech Republic, September 1-3, 2014 - podaný příspěvek

Přílohy práce

1. Simulace svorníků pomocí MKP

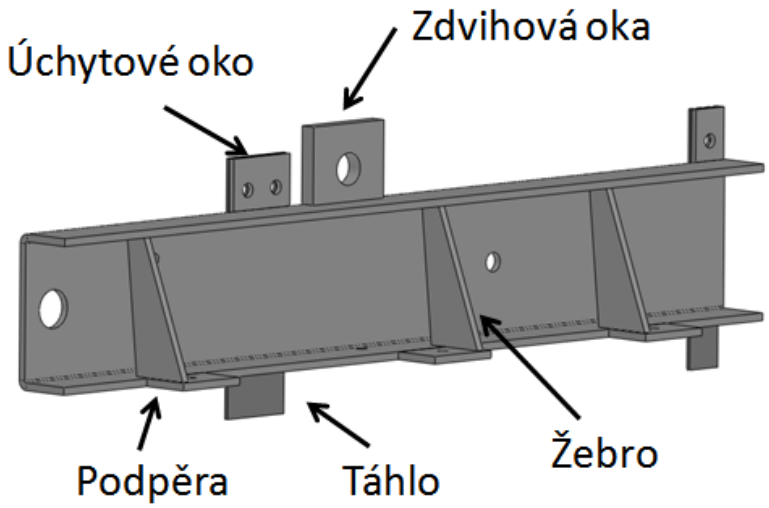
Z důvodu ověření předpokladu, že lze nahrazovat svorníky vyráběné z normalizovaných profilů profily vyrobenými z ohýbaného plechového polotovaru, z něhož vychází a dále využívá analýza v kapitole 6.3 (Využití korelační a regresní analýzy v konstrukčním procesu), byla provedena simulace pomocí MKP. V této simulaci byl zkoumán předpoklad, že normalizovaný U-profil lze nahradit U-profilem z ohýbaného plechového polotovaru, aniž by došlo k podstatným ztrátám mechanických vlastností. Předpokladem pro náhradu normalizovaného U-profilu U-profilem vyrobeným z plechového polotovaru bylo zachování vnějších zástavbových rozměrů shodných pro oba druhy U-profilů.

Vedle výše uvedeného byl v simulaci zároveň zjišťován vliv žeber na celkovou deformaci svorníků, jakož i na průběh napětí.



Obrázek 1 - Základní rozměry profilu vyrobeného z plechu a normalizovaného U-profilu

V simulaci byl uvažován jen horní svorník, neboť je více zatížen než svorník spodní. Větší zatížení vzniká při přepravě transformátoru, kdy dochází k jeho zdvihání za použití zdvihového oka. Pro zkrácení výpočtového času a zjednodušení simulace byla uvažována jen polovina svorníku (Obrázek 2).

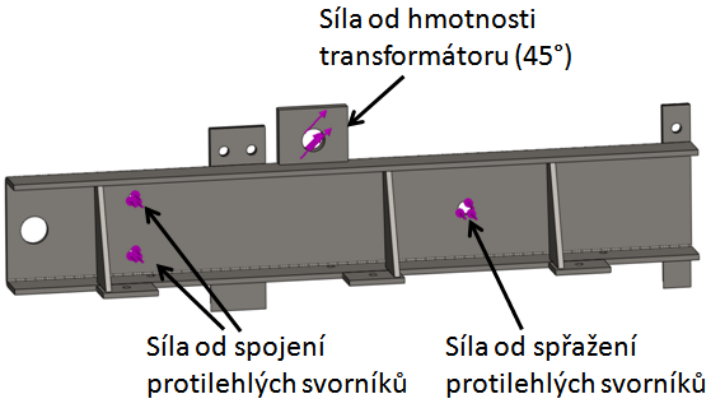


Obrázek 2 - Polovina svorníku s popisem jeho částí

1.1. Zatížení nosníku

Zatížení horního svorníku bylo v simulovaném případě způsobeno třemi silami (Obrázek 3):

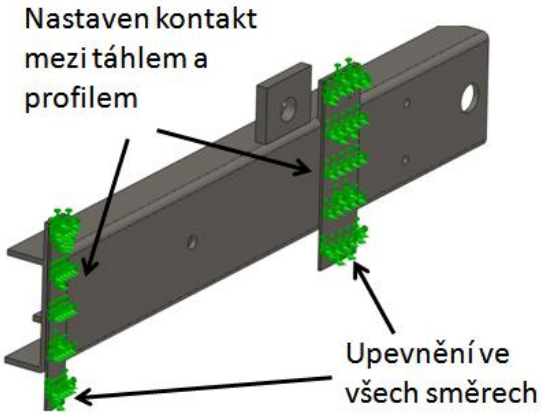
1. **Síla od spřažení protilehlých svorníků** - v daném případě uvažován předepínací moment šroubu 70 Nm.
2. **Síla od spojení protilehlých svorníků** - v daném případě uvažován předepínací moment šroubu 200 Nm.
3. **Síla od hmotnosti transformátoru při zvedání** - v daném případě uvažována hmotnost 12,3 t.



Obrázek 3 - Svorník s vyznačeným zatížením

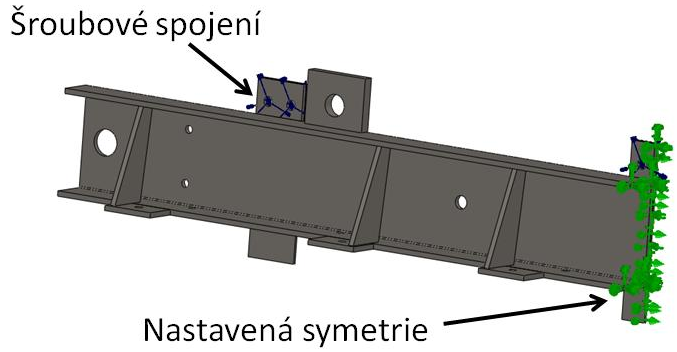
1.2. Nastavení okrajových podmínek

V prostoru byl model ve všech směrech upevněn za plochy táhel. Mezi táhly a U-profilem byl definován kontakt (Obrázek 4). Pro zkrácení výpočtového času byly všechny ostatní kontaktní plochy uvažovány jako dokonale spojené a tedy tuhé kontakty, tzn. spoj mezi zdvihovými oky a U-profilem a mezi úchytovými oky a U-profilem.



Obrázek 4 - Svorník s vyznačeným upevněním

Protože byla ve výpočtu uvažována jen polovina svorníku, byla na plochách řezu svorníku nastavena symetrie (Obrázek 5). Šroubové spojení mezi táhlem a úchytovým okem bylo nahrazeno odpovídající osovou silou vycházejí z předepínacího momentu šroubu (Obrázek 5).



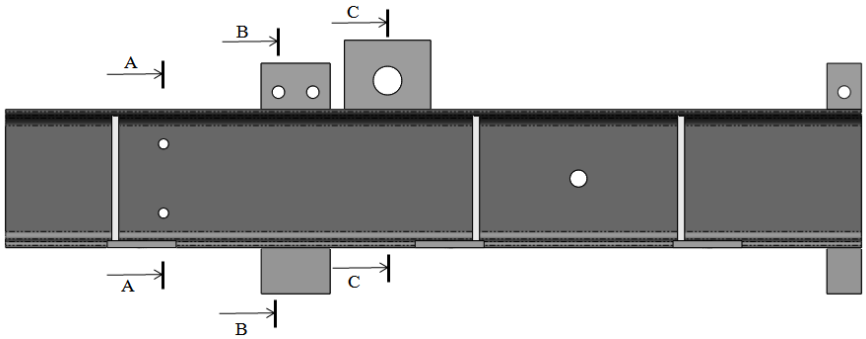
Obrázek 5 - Svorník s vyznačeným šroubovým spojením a symetrií

Byly provedeny následující simulace:

- normovaný U-profil s žebry,
- normovaný U-profil bez žeber,
- z plechu vyrobený U-profil s žebry,
- z plechu vyrobený U-profil bez žeber.

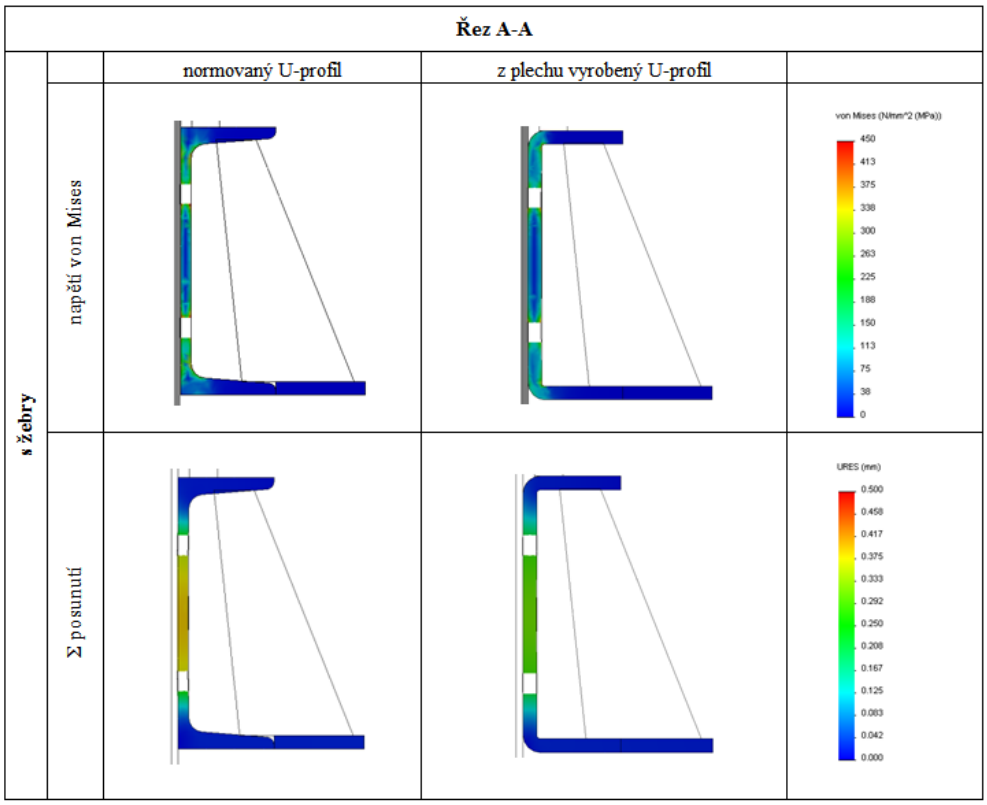
1.3. Výsledky simulace MKP

Výsledky výpočtu Metodou konečných prvků pro jednotlivé provedené simulace byly porovnány v kontrolních místech řezů. Tato místa byla stanovena na předpokládaných kritických místech svorníků a byla vybrána celkem tři, viz (Obrázek 6).

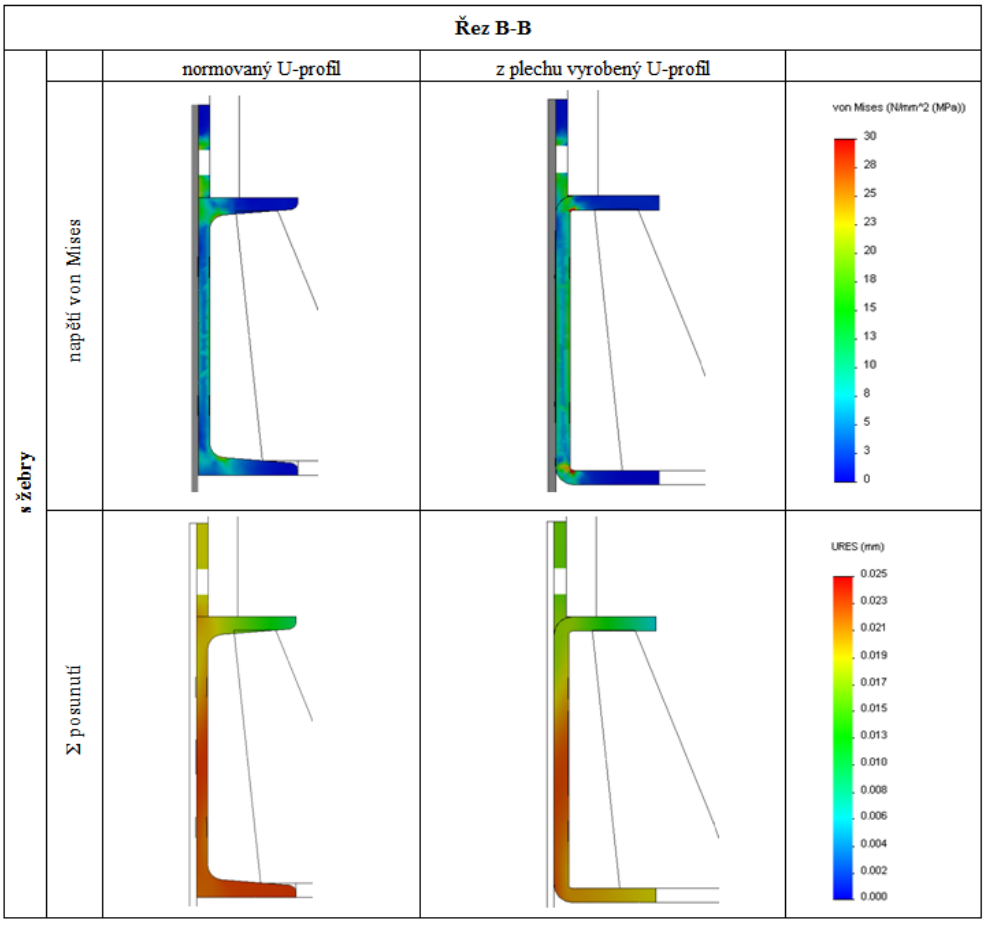


Obrázek 6 - Svorník s kontrolními místy

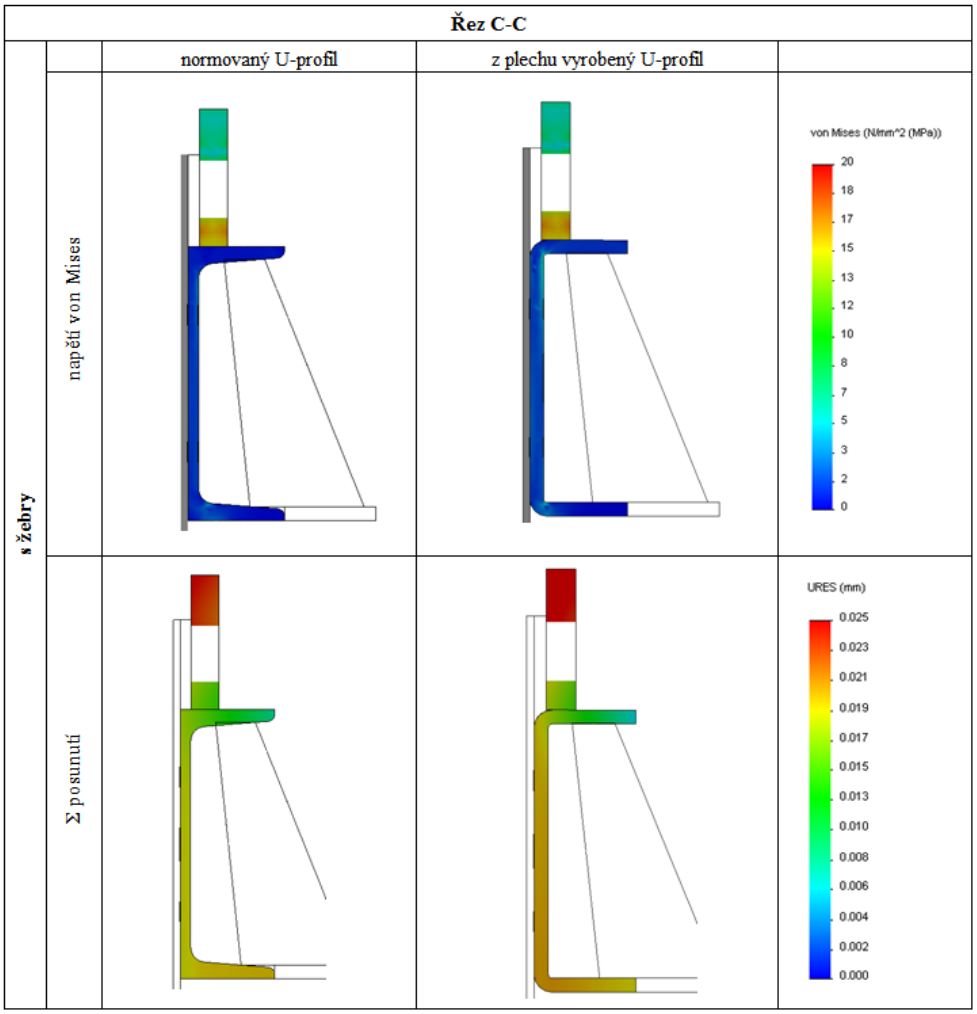
S ohledem na následující výsledky (Obrázek 7 až Obrázek 12) je možné konstatovat, že rozdíl mezi normovaným U-profilem a z plechu vyrobeným U-profilem je velmi malý. Průběhy napětí a deformací jsou v obou případech téměř identické. Co se týče žeber, ta mají očekávaný vliv na svorníky a s jejich nasazením svorníky vykazují menší deformace, potažmo menší vnitřní napětí.



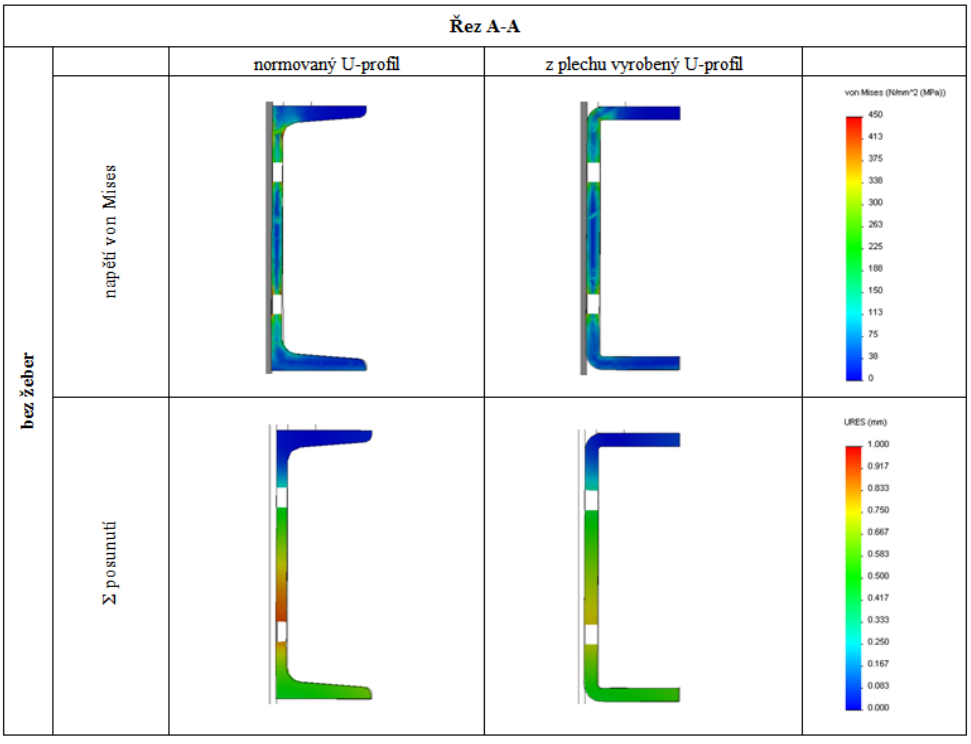
Obrázek 7 - Porovnání svorníků s žebry v řezu A-A



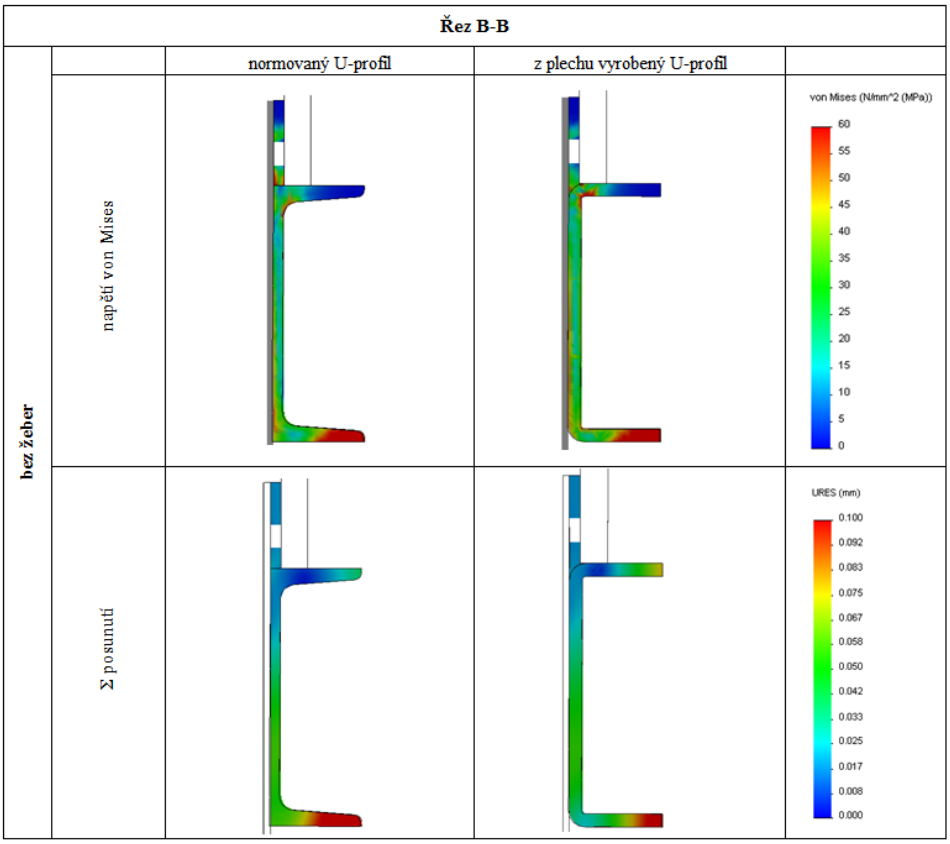
Obrázek 8 - Porovnání svorníků s žebry v řezu B-B



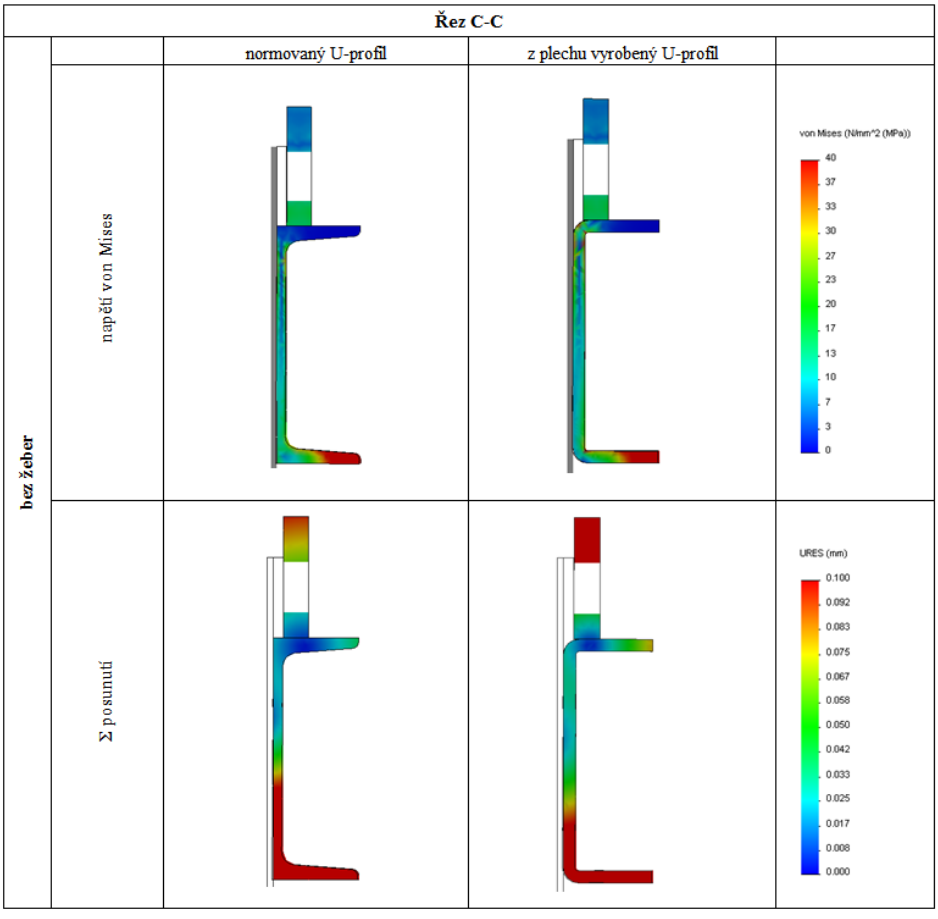
Obrázek 9 - Porovnání svorníků s žebry v řezu C-C



Obrázek 10 - Porovnání svorníků bez žeber v řezu A-A



Obrázek 11 - Porovnání svorníků bez žeber v řezu B-B



Obrázek 12 - Porovnání svorníků bez žeber v řezu C-C

Příloha č. 2 - Seznam podaných užitných a průmyslových vzorů

1) Užitný vzor - Přípravek k vyjímání vodícího pouzdra pístu multiplikátoru. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Kroták, S. Duník, M. Praha, 2011.
2) Užitný vzor - Valivé ložisko s deseti brzdnými tělesy. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
3) Užitný vzor - Valivé ložisko s desetiúhelníkovým brzdným tělesem. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
4) Užitný vzor - Valivé ložisko s devíti brzdnými tělesy. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
5) Užitný vzor - Valivé ložisko s devítiúhelníkovým brzdným tělesem. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
6) Užitný vzor - Valivé ložisko s dvanácti brzdnými tělesy. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
7) Užitný vzor - Valivé ložisko s dvanáctiúhelníkovým brzdným tělesem. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
8) Užitný vzor - Valivé ložisko s jedenácti brzdnými tělesy. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
9) Užitný vzor - Valivé ložisko s jedenáctiúhelníkovým brzdným tělesem. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
10) Užitný vzor - Valivé ložisko s osmi brzdnými tělesy. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
11) Užitný vzor - Valivé ložisko s osmiúhelníkovým brzdným tělesem. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
12) Užitný vzor - Valivé ložisko s pěti brzdnými tělesy. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C.Praha, 2011.
13) Užitný vzor - Valivé ložisko s pětiúhelníkovým brzdným tělesem. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
14) Užitný vzor - Valivé ložisko s třinácti brzdnými tělesy. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
15) Užitný vzor - Valivé ložisko s třináctiúhelníkovým brzdným tělesem. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
16) Užitný vzor - Valivé ložisko se čtrnácti brzdnými tělesy. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
17) Užitný vzor - Valivé ložisko se čtrnáctiúhelníkovým brzdným tělesem. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
18) Užitný vzor - Valivé ložisko se sedmi brzdnými tělesy. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011. Detail
19) Užitný vzor - Valivé ložisko se sedmiúhelníkovým brzdným tělesem. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.

20) Užitný vzor - Valivé ložisko se šesti brzdnými tělesy. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
21) Užitný vzor - Valivé ložisko se šestiúhelníkovým brzdným tělesem. Vynálezce: Mašek, B., Kroták, S. Štádler, C. Praha, 2011.
22) Užitný vzor - Ergonomicky upravená rukojeť jednoručních kleští. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Kroták, S., Šimlová, M., Kroták, T. Praha, 2012.
23) Užitný vzor - Přímý pružný vidlicový kontakt nožové pojistky. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Kroták, S., Šimlová, M., Kroták, T. Praha, 2012.
24) Užitný vzor - Zástavbově úsporný pružný vidlicový kontakt nožové pojistky. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Kroták, S., Šimlová, M., Kroták, T. Praha, 2012.
25) Užitný vzor - Sklopný rám dětského invalidního vozíku. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Šimlová, M., Kroták, S., Lášek, J., Edl, M. Praha, 2012.
26) Užitný vzor - Uzávěr PET lahve se závěsným poutkem určeným k připínání. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Kroták, S., Šimlová, M., Šiml, P. Praha, 2012.
27) Užitný vzor - Rukojeť jednoručních kleští. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Kroták, S., Šimlová, M., Kroták, T., Edl, M. Praha, 2012. -
28) Užitný vzor - Stojan s pohyblivým samosvorným přidržovačem určený ke zpracování dřevěných polotovarů. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Kroták, S., Šimlová, M., Kroták, T., Edl, M. Praha, 2012.
29) Užitný vzor - Multifunkční naběračka se samootvíracím přidržovačem. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Šimlová, M., Kroták, S., Edl, M. Praha, 2012.
30) Průmyslový vzor - Průmyslová myčka. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Trpák, L., Toufar, T., Benda, R., Dvořák, J., Kopecký, M., Kroták, S., Šimon, M. Praha 2012
31) Užitný vzor - Přípravek pro zatloukání závitových tyčí. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Šimlová, M., Kroták, S., Haken, J., Edl, M. Praha, 2013.
32) Užitný vzor - Odnímatelný uzávěr nápojové plechovky. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Šimlová, M., Kroták, S., Edl, M. Praha, 2013.
33) Užitný vzor - Odnímatelné víčko nápojové plechovky. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Šimlová, M., Kroták, S., Edl, M. Praha, 2013.
34) Užitný vzor - Odnímatelný uzávěr. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Šimlová, M., Kroták, S., Edl, M. Praha, 2013.
35) Užitný vzor - Pružný konektor do plošného spoje. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Kroták, S., Šimlová, M., Dvořák, J. Praha, 2013.
36) Užitný vzor - Držák nožové pojistky určený k přiletování. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Kroták, S., Šimlová, M., Dvořák, J. Praha, 2013.
37) Užitný vzor - Držák mobilních elektronických zařízení. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Šimlová, M., Kroták, S., Edl, M. Praha, 2013.

38) Užitný vzor - Univerzální nástěnný otočný držák Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Šimlová, M., Kroták, S., Edl, M. Praha, 2013.

39) Průmyslový vzor - Držák mobilních elektronických zařízení. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Šimlová, M., Kroták, S., Edl, M. Praha, 2013. - podaná přihláška

40) Průmyslový vzor - Odnímatelný uzávěr nápojové plechovky s uzavíratelným otvorem. Západočeská univerzita v Plzni. Vynálezce: Šimlová, M., Kroták, S., Edl, M. Praha, 2013. - podaná přihláška