

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270012 – Průmyslové inženýrství a management

Studijní specializace: Bez specializace

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Problematika vstřikolisových forem v rámci plánování výroby

Autor: Bc. Ondřej KOŠAŘ

Vedoucí práce: prof. Ing. Josef Basl, CSc.

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej KOŠAŘ**

Osobní číslo: **S19N0094K**

Studijní program: **N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management**

Studijní obor: **Průmyslové inženýrství a management**

Téma práce: **Problematika vstřikolisových forem v rámci plánování výroby**

Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Zásady pro vypracování

1. Plánování výroby – význam, historie systémů plánování
2. Popis řešeného problému v konkrétním podniku
3. Provedení výpočtů a demonstračních příkladů na reálných datech, napojení na APS systém
4. Zhodnocení výsledků

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**

Rozsah grafických prací: **0 výkresů**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. BASL, Josef, BLAŽÍČEK, Roman. Podnikové informační systémy : podnik v informační společnosti. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4307-3
2. MAUERGAUZ, Yuri. Advanced planning and scheduling in manufacturing and supply chains. Cham: Springer, 2016. ISBN 978-3-319-27521-5.
3. GOLDRATT, Eliyahu M., COX, Jeff. The goal: a process of ongoing improvement. Great Barrington: North River Press, 2014. ISBN 978-088427-195-6.

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Josef Basl, CSc.**

Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání diplomové práce: **21. září 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.

děkan

Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.

vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce, prof. Ing. Josefu Baslovi, CSc., za veškeré rady, připomínky a pomoc. Především mu děkuji za jeho čas, i v této nelehké době.

Velké poděkování patří firmě AIMTEC, a to především Pavlovi Boháčovi a Otakarovi Horákovi, za jejich cenné rady, podporu a čas, který mi věnovali.

V neposlední řadě děkuji mé rodině a kamarádům, bez jejichž podpory bych nebyl s to dokončit tuto práci.

Pro dědu.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Košář	Jméno Ondřej		
STUDIJNÍ PROGRAM	Průmyslové inženýrství a management			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Prof. Ing. Basl, CSc.	Jméno Josef		
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KPV			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Problematika vstřikolisových forem v rámci plánování výroby			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	74	TEXTOVÁ ČÁST	59	GRAFICKÁ ČÁST	15
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Práce se zabývá plánováním výroby, historickým vývojem nástrojů pomáhající v tomto procesu a omezením z jejich strany v případě svázané výroby. Popisem svázané výroby a složitosti výpočtu výrobního plánu při použití variant vstřikolisových forem ve výrobě plastových výlisků a následným návrhem výpočetního řešení.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Plánování výroby, MRP, Vstřikolisové formy, APS, Svázaná výroba, BOM, kmenová data, Routing</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Kořař	Name Ondřej	
STUDY PROGRAMME	Industrial Engineering and management		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Prof. Ing. Bařl, CSc.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU – FST – KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Problems of backinjection forms within production planning		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	74	TEXT PART	59	GRAPHICAL PART	15
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis describes production, historical evolution of tools used within this process and it's constraint in case of branched production, such as planning with Backinjection molds. Thesis also describes complexity of this planning and proposes a an algorithm to improve this type of planning.
KEY WORDS	Production planning, MRP, Backinjection molds, APS, branched production, BOM, master data, routing

Obsah

Úvod.....	1
1 Plánování výroby.....	2
1.1 Historie a vývoj podpůrných nástrojů	5
1.1.1 Reorder point systems – ROP	6
1.1.2 Material requirements planning – MRP	6
1.1.3 Princip MRP algoritmu	7
1.1.4 Material requirement planning II – MRP II	9
1.1.5 Manufacturing Execution systems – MES	10
1.1.6 Advanced Planning and Scheduling – APS	11
1.1.7 Enterprise resource planning – ERP.....	14
2 Svázaná výroba	16
2.1 Konkretizace problému.....	16
2.2 Datové hledisko svázané výroby vstřikolisových forem.....	16
2.2.1 Výrobní verze.....	16
2.2.2 Vícepoložková zakázka.....	17
2.2.3 Hodnocení zakázek a kombinací možné výroby.....	18
2.3 Příklad MRP rozpadu a důsledky pro vícevýstupní výrobu	18
3 Představení společnosti Magna	23
3.1 Historie společnosti	23
3.2 Výrobní procesy	24
3.2.1 Proces výroby pomocí vstřikolisí.....	24
3.2.2 Vstřikolisové formy a jejich rozdělení	25
3.3 Využívané softwarové nástroje	27
3.3.1 Schéma datového toku	28
3.4 Formy využívané v Magna Bohemia.....	28
3.4.1 Forma přestavbová, nepřestavbová a s různým odváděním.....	29
3.4.2 Prolínající se formy	31
4 Analýza současného stavu.....	34
4.1 Datový pohled a systémové nastavení.....	34
4.2 Nedostatky vyplývající ze současného nastavení.....	40
5 Návrh řešení	42
5.1 Úprava datové struktury	43
5.1.1 Vytvoření nové entity.....	43
5.1.2 Starý vs nový datový pohled	46

5.1.3	Algoritmus vyhodnocení	47
5.1.4	Schéma algoritmu.....	48
5.1.5	Demonstrační příklad výpočtu	50
5.1.6	Přínosy navrženého řešení.....	56
6	Závěr.....	57
	Seznam použitých zdrojů	59

Přehled použitých zkratk a symbolů

APS	Advanced Planning and Scheduling
BOM	Bill of Material
ERP	Enterprise Resource Planning
KPI	Key Performance Indicator
MRP	Material Requirements Planning
MES	Manufacturing Execution Systems
ROP	Reorder Point Systems
PVP	Pomocné Výrobní Prostředky

Seznam obrázků

Obrázek 1 Fronta práce: Vlastní zpracování	2
Obrázek 2 Plán výroby – Excelová podoba: Vlastní zpracování	3
Obrázek 3 Ganttův diagram s vazbami v APS Asprova: Vlastní zpracování	4
Obrázek 4: Schéma MRP [1], vlastní zpracování	8
Obrázek 5: Vyhodnocení přiřazení: Vlastní zpracování	12
Obrázek 6: APS systém ASPROVA zdroj: www.aimtecglobal.com	13
Obrázek 7 Výrobní verze	17
Obrázek 8 Výrobní verze výrobku A	19
Obrázek 9 Varianty forem.....	20
Obrázek 10 Schéma vstřikolisu [11]	24
Obrázek 11 Možná podoba vstřikolisové formy	25
Obrázek 12 Single forma.....	25
Obrázek 13 Multiple forma	26
Obrázek 14 Family forma	26
Obrázek 15 Family flexible forma	26
Obrázek 16 Prolínající se formy.....	27
Obrázek 17: Schéma datového toku [vlastní zpracování]	28
Obrázek 18 Forma přestavbová.....	29
Obrázek 19 Výstupy přestavbové formy.....	29
Obrázek 20 Přestavbová forma 2	30
Obrázek 21 Výstupy přestavbové formy 2.....	30
Obrázek 22 Nepřestavbová forma.....	30
Obrázek 23 Výstupy nepřestavbové formy	30
Obrázek 24 Přestavbová forma s různým odváděním.....	31
Obrázek 25 Výstupy přestavbové forma s různým odváděním	31
Obrázek 26 Prolínající se forma.....	31
Obrázek 27 Výstupy prolínající se formy	32
Obrázek 28 Prolínající se forma – složitější typ	32
Obrázek 29 Výstupy prolínající se formy – složitějšího typu.....	32
Obrázek 30 Popisovaná Prolínající se forma	34
Obrázek 31 Pohled transakce C223	34
Obrázek 32 Výrobní postup	35
Obrázek 33 Detail výrobního postupu	35
Obrázek 34 Pohled transakce C223	36

Obrázek 35 Detail výrobního postupu	36
Obrázek 36 SQL výstup pohled 1	37
Obrázek 37 SQL výstup pohled 2	37
Obrázek 38 SQL výstup pohled 3	37
Obrázek 39 SQL výstup – pohled hlavní položky	38
Obrázek 40 SQL generovaný výstup do APS	38
Obrázek 41 Přestavbová forma	39
Obrázek 42 Transakce C223	39
Obrázek 43 Detail výrobní postup pohled 1	40
Obrázek 44 Detail výrobní postup pohled 2	40
Obrázek 45 Pohled na kartu výrobní verze s novým polem	44
Obrázek 46 Transakce C223 s novou entitou	45
Obrázek 47 Transakce C223 s novou entitou	45
Obrázek 48 Transakce C223 s novou entitou	46
Obrázek 49 Transakce C223 s novou entitou	46
Obrázek 50 Volená hodnotící kritéria	48
Obrázek 51 Schéma hodnotícího algoritmu	49
Obrázek 52 Schéma rozptylu	53
Obrázek 53 Celkové vyhodnocení pomocí radarového grafu	55

Seznam tabulek

Tabulka 1 Vstupní data pro MRP.....	19
Tabulka 2 Souhrn výstupů.....	21
Tabulka 3 Kombinace možných výstupů	22
Tabulka 4 Vstupy pro výpočet	50
Tabulka 5 Výstupy formy	50
Tabulka 6 Tabulka nastavení.....	51
Tabulka 7 Vygenerované výstupy.....	51
Tabulka 8: Výsledky KPI 1	52
Tabulka 9: Výsledky KPI 2	52
Tabulka 10: Výsledky KPI 3	53
Tabulka 11 Výsledek prvního cyklu	54
Tabulka 12: Vstup druhého cyklu	54

Úvod

I přes veškeré moderní technologie spadající do kategorie Průmyslu 4.0, které podniky využívají společně s ERP a dalšími systémy, bojují často výrobní společnosti s plněním včasných dodávek svým zákazníkům, vysokými zásobami, nedostatkem vstupního materiálu, nadprodukcí, či prostojům ve výrobě. Jednou z příčin takových problémů i přes využití zmíněných technologií, je nepřesný, či realitě neodpovídající výrobní plán. Plánování výroby je velice složitý a komplexní obor, ovlivněný mnoha proměnnými, které mají zásadní vliv na finální podobu a přesnost takového plánu. Existuje však velké množství podpůrných softwarových nástrojů, které tento proces ulehčí a zrychlí.

Řadíme mezi ně nejen ERP systémy obsahující další funkcionality, které se v plánování výroby využívají, ale také MES systémy, či systémy pokročilého plánování a řízení výroby, známé pod zkratkou APS. Pro většinu výrobních společností je využívání ERP systémů nutné, chtějí-li efektivně společnost řídit, vyrábět, dosahovat vytyčených cílů a být konkurenceschopní [1] [2], [3]. Často se lze ve výrobních společnostech setkat s plánováním výroby pomocí MS Excel, který není vhodným plánovacím nástrojem z mnoha důvodů [4], [5], nicméně rozšířenost MS Excel pro plánování výroby je značná. Oproti Excelu systémy APS nejen že automatizují značné množství úkonů plánovače, ale výrazně urychlují celý plánovací proces a generují lepší výrobní plán, jelikož uvažují a pracují s více proměnnými než člověk. Všechny tyto systémy jsou však silně závislé na kvalitě, míře detailu a struktury vstupujících dat [6]. Generovaný výrobní plán APS systémem nemusí být pro koncového uživatele uspokojivý a nemusí proto APS systémům důvěřovat, nicméně se nejedná o chybu samotného systému, ale právě vstupních dat. I přes kvalitu a sofistikovanost těchto softwarových nástrojů, se lze setkat s jistými omezeními vycházejícími z podstaty jejich nastavení a vnitřní struktury, v kombinaci se specifiky pro dané podniky a složitost jejich výrobních procesů, kterými je třeba se zabývat a řešit je.

První část této diplomové práce bude zaměřena na obecný popis plánování výroby, její historii a popis nejpoužívanějších podpůrných nástrojů. V další kapitole práce bude obecně popsán jeden ze specifických typů výroby, který nelze uspokojivě plánovat s využitím těchto nástrojů, jenž v tomto případě naráží na svá omezení. Následně bude tato problematika konkretizována a popsána na modelovém příkladě.

Ve druhé části práce bude provedena analýza současného stavu, jaké systémy jsou pro řízení výroby aktuálně využívány, jak je nastavena datová struktura mezi nimi a popsány nedostatky plynoucí z aktuálního nastavení. V první části práce zmíněný problém bude v této části demonstrován na reálných datech a popsány společně s důsledky z toho vyplývajícími.

V třetí části práce bude navrženo možné řešení nevyhovujícího současného stavu. Toto řešení otestováno a vyhodnoceno na základě nových výsledků, včetně rozboru přínosu oproti původnímu stavu.

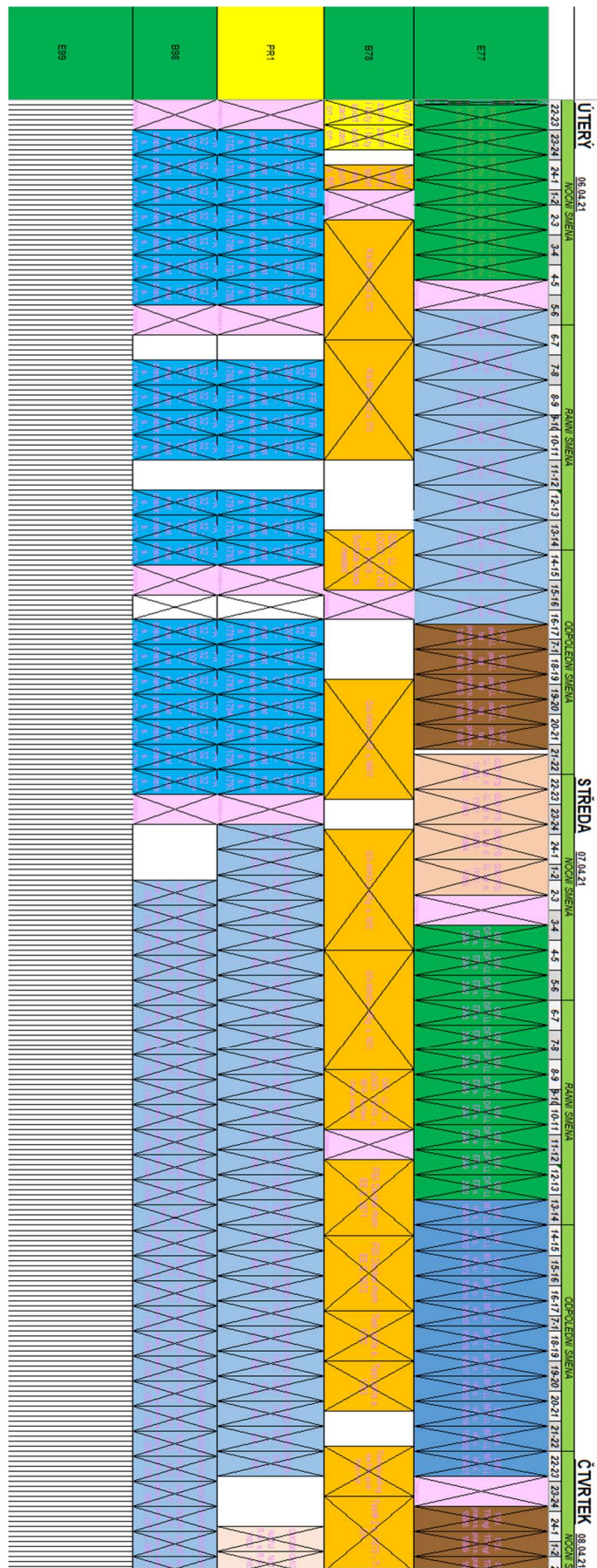
Cílem této diplomové práce je čtenáře seznámit s procesem plánování výroby a nástroji, které se využívají, a že lze i přes jejich komplexitu a sílu najít specifické typy výroby, které v těchto systémech narážejí na jistá omezení. Tato omezení demonstrovat a navrhnout řešení těchto omezení. Toto řešení popsat a řešit na konkrétním případě existujícího výrobního podniku.

1 Plánování výroby

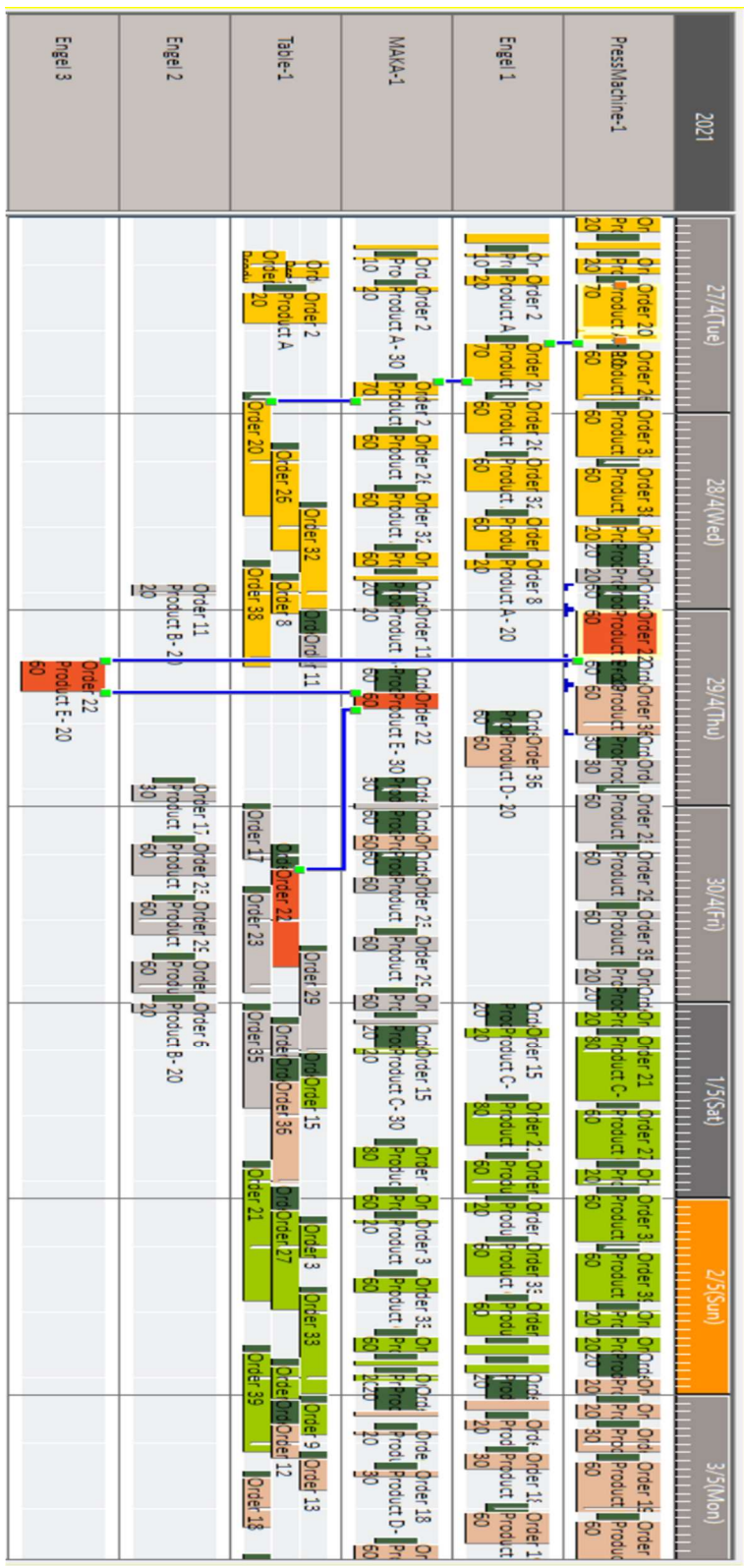
Plánování výroby je komplexní a složitý proces, jehož cílem je vytvoření přesné, efektivní a proveditelné sekvence výroby s využitím výrobních zdrojů k tomu určených, s ohledem na jejich kapacitní, časovou a disponibilní omezenost, na základě zákaznických požadavků tak, aby bylo vyrobeno správné množství výrobků, ve správný čas, na správném místě, a to bez zbytečného plýtvání. Tato sekvence má nejčastěji podobu prosté fronty práce, tedy chronologického soupisu výrobních operací na daném pracovišti, který výrobek má být vyráběn, v jakém množství a kdy má tato operace začít. Jednoduchou podobou frontu práce lze vidět na obrázku č.1 níže. Často je výrobní plán také prezentován v grafické podobě ve formě Ganttova diagramu. Ať už v prostém tabulkovém procesoru, kde je však využit pouze vzhled Ganttova diagramu a jeho rozložení viz obrázek č.2. Není zde však možné aplikovat funkcionality, které se standardně s takovým typem diagramu užívají a jsou to tyto funkcionality, které dělají Ganttův diagram vhodným nástrojem zobrazení výrobního plánu, a to především v podobě zobrazení vazeb, mezi operacemi. Jednoduchý Ganttův diagram je ukázán na obrázku č.3.

	Main resource	Master operation	Main output item	Production quantity	Production start time	Production end time
22	Engel 1	Backinjection	Product D - 20	60	03/05/2021 21:20:00	04/05/2021 01:30:00
23		Backinjection	Product D - 20	60	04/05/2021 04:30:00	04/05/2021 08:40:00
24		Backinjection	Product D - 20	60	04/05/2021 11:40:00	04/05/2021 15:50:00
25		Backinjection	Product D - 20	60	04/05/2021 18:50:00	04/05/2021 23:00:00
26		Backinjection	Product D - 20	60	05/05/2021 02:00:00	05/05/2021 06:10:00
27		Backinjection	Product D - 20	20	05/05/2021 07:10:00	05/05/2021 08:30:00
28	Engel 2	Backinjection	Product B - 20	20	28/04/2021 20:50:00	28/04/2021 22:20:00
29		Backinjection	Product B - 20	30	29/04/2021 21:20:00	29/04/2021 23:30:00
30		Backinjection	Product B - 20	60	30/04/2021 04:30:00	30/04/2021 08:40:00
31		Backinjection	Product B - 20	60	30/04/2021 11:40:00	30/04/2021 15:50:00
32		Backinjection	Product B - 20	60	30/04/2021 18:50:00	30/04/2021 23:00:00
33		Backinjection	Product B - 20	20	01/05/2021 00:00:00	01/05/2021 01:20:00
34	Engel 3	Backinjection	Product E - 20	60	29/04/2021 06:10:00	29/04/2021 10:10:00
35		Backinjection	Product E - 20	20	05/05/2021 10:10:00	05/05/2021 11:30:00
36		Backinjection	Product E - 20	20	05/05/2021 13:10:00	05/05/2021 14:40:00
37		Backinjection	Product E - 20	60	05/05/2021 20:20:00	06/05/2021 00:30:00
38		Backinjection	Product E - 20	60	06/05/2021 03:30:00	06/05/2021 07:40:00
39		Backinjection	Product E - 20	60	06/05/2021 10:40:00	06/05/2021 14:50:00
40		Backinjection	Product E - 20	20	06/05/2021 15:50:00	06/05/2021 17:10:00
41	MAKA-1	Milling	Product A - 30	20	27/04/2021 03:20:00	27/04/2021 04:00:00
42		Milling	Product A - 30	10	27/04/2021 05:00:00	27/04/2021 05:20:00
43		Milling	Product A - 30	20	27/04/2021 08:30:00	27/04/2021 09:10:00
44		Milling	Product A - 30	70	27/04/2021 20:00:00	27/04/2021 22:30:00
45		Milling	Product A - 30	60	28/04/2021 02:30:00	28/04/2021 04:30:00

Obrázek 1 Fronta práce: Vlastní zpracování



Obrázek 2 Plán výroby – Excelová podoba: Vlastní zpracování



Obrázek 3 Ganttův diagram s vazbami v APS Asprova: Vlastní zpracování

Složitost procesu plánování výroby je dána především množstvím vstupních informací, omezeními a vzájemnou provázaností těchto proměnných. Ve své podstatě se jedná o nesmírně složitou optimalizační úlohu.

Jedním z nejdůležitějších vstupů do procesu plánování výroby je informace o tom, co vyrábět, v jakém množství a kdy má být daný produkt vyroben. Tento vstup je nejčastěji reprezentován zákaznickým požadavkem. V případě vícestupňové výroby, tedy výroby, která se skládá z více operací, které na sebe navazují, je na základě tohoto požadavku generován interní výrobní požadavek na jednotlivé, předešlé, výrobní úkony.

Informací o požadované položce již vzniká první omezení a to, na kterém stroji lze daný produkt vyrobit, pokud lze vyrobit na více než jednom stroji, je třeba zvážit další parametry, dle kterých se plánovač rozhodne, na které stroj výrobní zakázku přiřadí. Je produkční čas prvního stroje stejný, nebo je druhý stroj rychlejší? Plánovač musí také uvažovat dostupnost stroje, tedy jestli je funkční, nebo se neopravuje. Je stroj z pohledu kapacity volný? Nevyrábí v požadovaný moment již něco jiného? To ukazuje na další omezení, a to z pohledu času, tedy přesného data, kdy má být tento výrobek v požadovaném množství vyroben. Jedná-li se o vícestupňovou výrobu, pak je nutné plánovat všechny návazné výrobní procesy. Nejlépe tak, aby nedocházelo k výrazným prostožům mezi jednotlivými operacemi, tedy plýtvání časem a jednotlivé operace byly synchronizované. Vytvořením takové sekvence by byla splněna efektivnost takové výroby, nicméně jak je definováno v úvodní části této kapitoly, plán musí být proveditelný. Takový plán se může jevit vhodně, ale pokud není výroba schopna se dle takového plánu řídit, pozbývá svého smyslu. Proto musí být jednotlivé operace přiřazeny na správné stroje, mít logickou návaznost a také by měla být uvažována dostupnost vstupního materiálu a komponent. Pro tyto případy by tak plánovač musel vědět z jakých vstupních materiálů se požadovaná – finální položka skládá, evidovat si seznam strojů, na kterých lze vyrobit, jaký je jejich výrobní čas a další podstatné informace, na základě, kterých by vyhodnotil jednu z možných kombinací sekvence výroby.

Nyní si lze tento scénář představit na produkci stovek různých výrobků, s desítkami různých strojů, pomocných nástrojů a obsluhy k tomu určené a tisíci zákaznických požadavcích, které nejsou fixní a mění se. S tímto množstvím vstupů tak vzniká enormní množství kombinací, které není v lidských silách manuálně analyzovat, vyhodnotit a vhodně zaplánovat. Tak jak se historicky vyvíjely výrobní procesy, rozšiřovalo portfolio vyráběných položek a výše jejich produkce, bylo nutné vytvoření různých podpůrných nástrojů pro řízení výroby, které se postupem času inovovaly a upravovali dle specifických požadavků výroby. Tyto nástroje pomohli s evidencí zákaznických požadavků, jejich analýze a možnému vývoji, správě dat a jejich zpracování až k systémům sledování výroby, zásob, generování výrobních zakázek dle vstupních požadavků až k systémům pokročilého plánování automatizující většinu zmíněných úkonů.

1.1 Historie a vývoj podpůrných nástrojů

Historie plánování výroby sahá až do doby průmyslové revoluce, kdy se začaly používat různé systémy na podporu plánování výroby. Impulsem k rozvoji těchto nástrojů bylo především rozšiřování výroby, růst objemu zákaznických požadavků, inovace strojního vybavení od počátku pásové výroby, postupnému automatizování výroby, až k v poslední době skloňovanému termínu Průmysl 4.0 a technologie do něj spadající. Obecně jsou tyto systémy

známe pod zkratkou MPC, celým názvem Manufacturing planning and control systems. [7]. Mezi takové systémy řadíme především:

- ROP – Reorder Point Systems
- MRP – Material Requirements Planning
- MRP II – Material Requirements Planning II
- MES – Manufacturing Execution Systems
- APS – Advanced Planning and Scheduling
- ERP – Enterprise Resource Planning

1.1.1 Reorder point systems – ROP

Reorder point systémy nejsou ve své podstatě systémy jako takové, ale jedná se spíše o přístup k řízení požadavků, či vstupního materiálu. Tento přístup poté využívají budoucí systémy a lze se v nich s touto funkcionalitou setkat. V případě poklesu zásoby sledovaných materiálů použitých pro výrobu finální položky, či samotné finální položky pod definovanou mez, dávají impuls k provedení nákupu, resp. výrobě konkrétní položky s uvažovanou dobou dodání, či výroby. Obecně jsou tyto impulsy, generované požadavky, nazývány jako replenishment orders. Z důvodu odhadování budoucího vývoje na základě historických dat, je tento systém značně nepřesný. Ačkoli v počátku byly tyto výpočty prováděny manuálně, s rozmachem výpočetní techniky na přelomu 50. a 60. let minulého století byly ROP systémy postupně automatizovány. [7] Tento přístup tak v počátcích plánování výroby pomáhal především se zpřesňováním odhadů budoucích potřeb, například vstupního materiálu. Bez tohoto přístupu by tak plánovač pouze odhadoval, co a v jakém množství je potřeba a pravděpodobně by objednal větší množství, než je nutné a tím zvyšoval zásoby a případnou kapacitu skladu.

1.1.2 Material requirements planning – MRP

Material requirements planning, známé především pod zkratkou MRP, je algoritmus, který stanovuje návrhy nákupních a výrobních zakázek na základě vstupních informací, jako jsou kusovníky, zákaznické požadavky, skladové zásoby a další. Základy MRP algoritmu položil Joseph Orlický, původem Čech, který emigroval do Spojených států a využil takzvaných netting algoritmů pro výpočet materiálových a nákupních potřeb. [8]

Hlavní rozdíl oproti ROP systémům je nejen množství vstupních informací, ale především očekávané požadavky na základě zákaznických objednávek. MRP tedy pomáhá řešit základní logistickou úlohu zajištění výroby správného produktu, dodání na správné místo, a to v požadovanou dobu a o očekávaném množství. [9] MRP algoritmus a jeho druhá vývojová verze MRP II, popsána v následující kapitole, je nejčastěji součástí ERP, či APS systémů. Lze se však často setkat i se stand-alone řešeními, které obsahují tento algoritmus a slouží k evidenci a správě těch vstupů, které jsou pro MRP výpočet nutné.

MRP algoritmus, případně samotný systém, je obrovským přínosem pro plánovače z několika důvodů a byl doslova revolucí z historického hlediska plánování výroby. Prvním z těchto důvodů, je nutnost existence kusovníků a jejich evidence. Jak lze vidět na jednoduchém kusovníku v systému SAP na obrázku níže, vidíme, z jakých materiálů, komponent, či meziproductů, které mohou být taktéž vyráběny, se finální položka skládá. Dále musejí být v kusovníku evidovány měrné jednotky a spotřeby vstupních položek. Jedná se o klíčové informace pro plánování výroby a samotný MRP algoritmus. Evidence skladových zásob je

také další klíčovou informací pro plánování z hlediska potřeby výroby dané položky, či jejího objednání. V tomto bodě lze vidět určitou návaznost na ROP systémy, tedy generování výrobního, či nákupního požadavku s ohledem na skladovou zásobu. V rámci MRP však i s ohledem na budoucí zákaznické požadavky, a ne pouze historických údajích, jejich použití je značně omezené a nepřesné pro modelování budoucího vývoje.

1.1.3 Princip MRP algoritmu

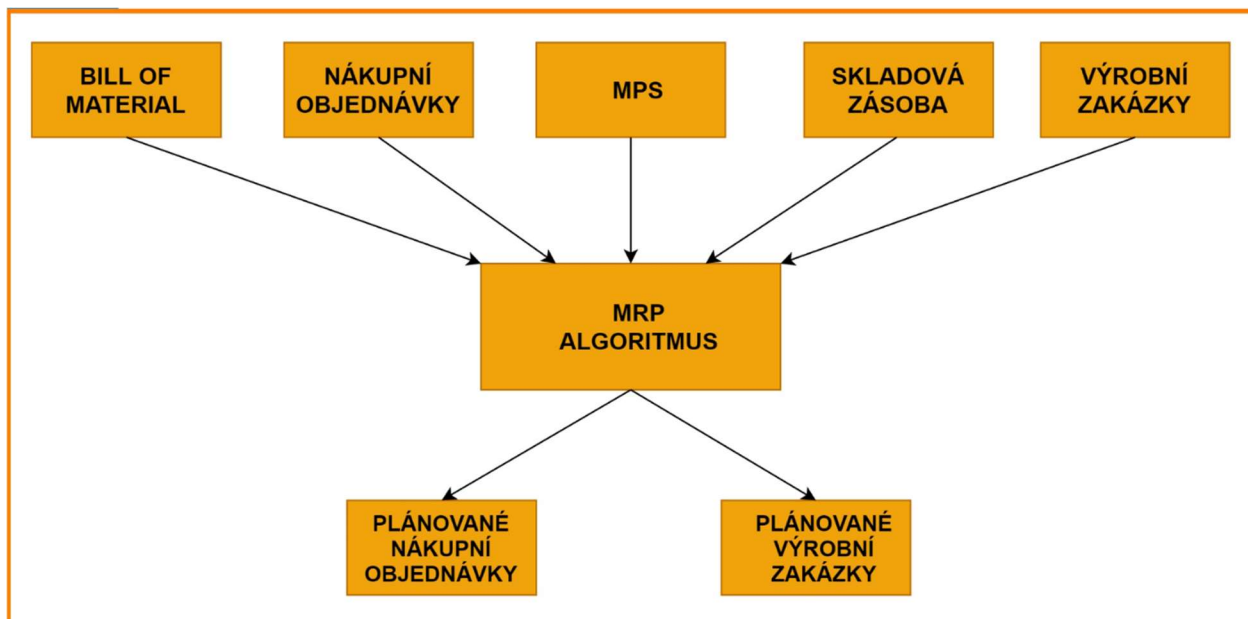
Algoritmus pracuje v několika krocích a jak bylo zmíněno, pro sv správné fungování potřebuje nejen přesná data, ale také správná.

Dle [9] je pro správný chod MRP nezbytný, aby byla zajištěna:

- Existence souboru všech položek využitých ve výrobě (nakupované i vyráběné) a jejich základní údaje
- Existence kusovníků pro každou vyráběnou položku
- Existence informací o stavu zásob, plánovaných výrobních a nákupních zakázkách, včetně jejich časového rozložení
- Existence hodnoty průběžné doby nákupu nebo výroby a způsob stanovení dávky pro každou z vyráběných a nakupovaných položek

Nezbytné je veškeré tyto informace evidovat, nejčastěji v ERP systému, který tento algoritmus využije, ale také mít tyto informace přesné a odpovídající realitě. Častým jevem u mnoha podniků je existence otevřených výrobních zakázek v systému, které jsou i několik týdnů až měsíců staré. Skladové zásoby neodpovídající skutečnosti, nebo neexistující, či nepřesné kusovníky. MRP algoritmus i s těmito nepřesnými údaji proběhne a vygeneruje výrobní a nákupní zakázky, nicméně na základě nepřesných vstupních dat.

Souhrn všech vstupů potřebných pro správných chod MRP algoritmu zobrazuje obrázek 4 níže.



Obrázek 4: Schéma MRP [1], vlastní zpracování

K základním charakteristikám, dle [9] patří:

- **MRP je orientováno na produkt** – funguje na bázi výpočtu, který vychází ze struktury výrobku dané všemi materiálovými položkami, jak nakupovanými, tak vyráběnými, potřebnými pro daný finální výrobek
- **MRP je orientováno na budoucnost** – protože při plánování potřeb vychází ze základních údajů v souborech a očekávaných potřeb, místo historických dat, jako v případě ROP systémů.
- **MRP respektuje požadavky v čase** – při výpočtu potřeb jsou brány v úvahu nejen kvantitativní požadavky na materiálové položky, ale rovněž jejich průběžné doby objednání, nebo výroby s ohledem na rozsah plánovacího horizontu.
- **MRP respektuje priority** – s ohledem na potřeby zákazníků a požadavky výrobního plánu na místo zjišťování toho, co by mohlo být vyrobeno s ohledem na materiálová a kapacitní omezení.

1.1.4 Material requirement planning II – MRP II

Evolucí algoritmu MRP je MRP II, který bývá součástí ERP a APS systémů, případně se lze setkat se stand-alone řešeními. Hlavním rozdílem druhé verze MRP je doplnění funkcí kapacitního plánování výroby CRP (Capacity requirements planning), které se používá pro detailní plánování kapacit. [9] Kapacitní plánování se váže ke konkrétnímu pracovišti, stroji nebo pomocnému nástroji z důvodu sledování skutečného čerpání kapacit. Tyto informace pro potřeby kapacitního plánování, resp. modulu CRP lze nazývat postupy výroby, známější pod svým anglickým názvem – routing.

Tak, jako kusovník definuje, z jakých vstupních položek se finální výrobek skládá, tak routing je definicí celého výrobního procesu za účelem výroby finální položky. Skládá se z jednotlivých výrobních operací, kdy každé výrobní operace je přiřazeno pracoviště, na kterém je možno tento výrobek vyrobit, či je k výrobě nutné využít nějaký nástroj. Nejsou zde definovány pouze stroje, ale také obsluha těchto pracovišť, jednotlivý operátoři, případně seřizovači těchto zařízení. Ekvivalentem spotřeby vstupního materiálu u kusovníku, je v rámci routingu nastaven produkční čas daným pracovištěm, stejně tak jejich setup time, tedy nastavení stroje, seřízení, výměna nástroje a další nutné úkony před samotným používáním stroje.

1.1.5 Manufacturing Execution systems – MES

Zkráceně též MES, je systém, který propojuje shopfloor, tedy jednotlivá pracoviště, či dílny s ERP systémem a může v reálném čase zobrazovat informace o právě probíhající výrobě. Pomáhá udržovat v systému aktuální, realitě odpovídající data, což je jedna z nutných podmínek pro správnost plánovacího procesu. Sběr dat může probíhat ručně, po zadání informací do systému operátorem daného pracoviště, či s využitím technologií spadající do kategorie Průmyslu 4.0. Jedná se o různá čidla, senzory a nástroje podporující plnou automatizaci výrobního procesu, tedy i sběru dat. [10]

Dle mezinárodní asociace MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association), systémy MES pomáhají v následujících oblastech:

- Řízení a přidělování zdrojů
- Sběr, archivace a kompletace dat
- Řízení pracovních sil
- Sledování výroby
- Analýzy a hodnocení výkonnosti

Zpětné hlášení výroby, tedy informace o konkrétních operacích, v jakém stavu se nacházejí a kolik bylo již vyrobeno, je další klíčovou informací nejen pro plánovače, ale i vstupem do MRP algoritmu, který uvažuje otevřené výrobní zakázky při generaci zakázek nových. V případě, že zakázky nejsou aktualizovány o jejich skutečný stav, výroba není odhlášena a nemění se tak skladová zásoba, výsledek MRP je značně zkreslen. Nehledě na plánovače, který nemá přehled o tom, jak výroba probíhá a jaká je míra plnění plánu. Správné zpětné hlášení výroby zajišťuje jednu z částí správnosti dat.

Pro zpětné hlášení výroby není nutné mít implementované samostatné MES systémy. Tuto možnost také podporují systémy generující výrobní zakázky a je možné tuto informaci zanést přímo do nich, tedy například v systému SAP, či jiném ERP. Síla MES systémů je především v jejich zaměření pouze na tuto oblast výroby, sledování plnění plánu, prováděné výpočty, sběr dat, jejich archivace pro budoucí analýzy a další. Tyto systémy jsou často propojené společně s ERP systémy a také APS systémy, které mohou být vstupním zdrojem dat o tom, kde a jak se co vyrábí a lze tímto systémem vizualizovat frontu práce pro daný výrobní úsek. Tato grafická podoba fronty práce může být interaktivní a operátor na lince může s touto zakázkou na příslušném terminálu pracovat a jednoduše vyplňovat odvedené kusy, případně zmetky a zakázky uzavírat a dát jim tak status: hotovo.

Kombinací systému MRP, resp. algoritmu MRP II a MES systému, má nyní plánovač velice silné nástroje, díky kterým má automaticky generovány zakázky na základě zmíněných vstupů, kompletní přehled o vyráběných položkách, z čeho se skládají, kde se mohou vyrábět a jaký je produkční čas. Má však také takřka real-time přehled o probíhající výrobě a plnění prezentovaného plánu díky MES, ale také aktuální a neustále aktualizovaná data, zajišťující správné generování zakázek algoritmem MRP.

I přes sílu těchto nástrojů, jejich funkcí a informace, které poskytují je jejich role spíše základním kamenem celého plánovacího procesu. V tomto bodě stojí plánovač před složitou optimalizační úlohou vytvoření vhodné sekvence výroby dle všech definovaných omezení a respektování logických návazností jednotlivých operací. To vše při splnění dalších

definovaných podmínek, jako minimalizace nastavovacích časů, doby čekání mezi operacemi, vytížení strojů a další. Jak bylo zmíněno, vytváření takové sekvence v MS Excel, či jiných nástrojích, které nejsou k těmto úkonům primárně určeny, není v lidských silách obsáhnout. Pro tyto potřeby a automatizace plánovacího procesu je vhodné používat systémy APS.

1.1.6 Advanced Planning and Scheduling – APS

Advanced planning and scheduling, známé pod zkratkou APS, tedy systémy pokročilého plánování a rozvrhování jsou takové systémy, které využívají pokročilé matematické metody a logiku pro optimalizaci a simulaci konečného kapacitního plánování, jenž je jedním z hlavních rozdílů oproti metodě MRP-II, které generuje výrobní zakázky do takzvaných neomezených kapacity a neuvažuje veškerá omezení plynoucí z reálného výrobního systému. [11] APS charakterizuje synchronizované plánování všech mezi sebou provázaných výrobních procesů s respektováním celé řady omezujících podmínek a pravidel definovaných typem výroby s cílem nalézt optimální variantu řešení. [9]

Dle [11] patří mezi nejznámější a nejpoužívanější APS systémy:

- Acumatica
- AIMMS Prescriptive analytics platform
- Asprova
- Preactor APS

Nutnou podmínkou správného fungování a plánování v APS systémech je existence všech relevantních dat v požadované kvalitě a správnosti a jejich pravidelná aktualizace. Již nezohlednění nového kusovníku, změny ve spotřebě materiálu, produkčního času jednoho z pracovišť definovaného v routingu, či špatně zadaný kalendář, tedy časová dostupnost pracoviště, zapříčiní nepřesnost plánu nejen položky obsahující chybná data, ale všech dalších. Chybně zadaný produkční čas, který bude v routingu pomalejší, než je skutečnost, způsobí nejen špatně vypočtenou délku celé operace, ale tato delší operace zablokuje disponibilní čas tohoto pracoviště a tím pádem pozdější začátek další naplánované operace, která by ve skutečnosti mohla začít dříve. Je však zřejmé, že obdobný dopad na přesnost plánu bude mít jakákoliv diskrepance v datových vstupech, někdy menší, někdy s vážnějšími důsledky.

Datová základna je první polovinou nastavení APS systémů. Tou druhou a neméně důležitou je samotné nastavení logiky plánování, řazení zakázek, generování nastavovacích časů a dalších detailů, které vycházejí ze samotné podstaty výroby. Na základě těchto definovaných nastavení, jako jsou minimální, či maximální časy mezi operacemi, generování nastavovacích časů při změně vyráběného materiálu na jednom stroji a řady dalších nastavení. Společně, se vstupní datovou základnou, vygeneruje APS jednu z možných výrobních sekvencí. Jedná se o takzvané scénáře. Nejen že APS systém automatizuje plánovací proces a uvažuje násobně více možných variant než člověk, ale všechny tyto varianty vyhodnocuje dle nastavených pravidel a vybírá tu kombinaci, které se za daných podmínek jeví jako nejlepší, tedy má nejvyšší bodové ohodnocení. Možnou podobu vyhodnocení lze vidět na obrázku č. 4 níže, jakož i varianty, které jsou v daný moment vyhodnocovány. Pro tyto generované výrobní sekvence lze měnit vyhodnocovací podmínky, či prioritu, čeho chce plánovač sekvencí dosáhnout. Může se jednat

maximální vytížení konkrétních strojů, splnění zákaznických požadavků, minimalizace nastavovacích časů, čekací doby aj.

[-] Operation <Order 6:30>: Assigning <Forward>.
[-] Tentative assignment result (4 of 4 assignment candidates)
[-] Evaluation score: 1,96498 <Order 6:30> [M, MAKA-1], [S1, Operator], [S2, Tool# 34]
[-] Evaluation score: 1,99713 <Order 6:30> [M, MAKA-3], [S1, Operator], [S2, Tool# 34]
[-] Evaluation score: 1,99772 <Order 6:30> [M, MAKA-4], [S1, Operator], [S2, Tool# 34]
[-] Evaluation score: 1,99839 <Order 6:30> [M, MAKA-2], [S1, Operator], [S2, Tool# 34]
[-] Used : 45ph ; master use instructions
[-] Task 1: 2021/05/04 22:20:00 - 2021/05/04 23:20:00 (Setup)
[-] Task 2: 2021/05/04 23:20:00 - 2021/05/04 23:46:40 (Production)
[-] Earliest start time = 04/05/2021 23:20:00
[-] Assignment result
[-] <Order 6:30> [M, MAKA-2], [S1, Operator], [S2, Tool# 34]
[-] Used : 45ph ; master use instructions
[-] Task 1: 2021/05/04 22:20:00 - 2021/05/04 23:20:00 (Setup)
[-] Task 2: 2021/05/04 23:20:00 - 2021/05/04 23:46:40 (Production)
[-] Earliest start time = 04/05/2021 23:20:00

Obrázek 5: Vyhodnocení přiřazení: Vlastní zpracování

Díky této variabilitě je možno generovat právě celou řadu scénářů. Tyto scénáře dále analyzovat, upravovat a vybírat tu, kterou plánovač uzná za vhodnou a prezentuje ji do výroby jako finální plán, dle kterého se bude vyrábět. Nyní, díky systémům MRP, MES a APS plánovač nemusí provádět řadu manuálních vstupů a úkonů, ale plán detailně analyzovat a ladit drobné detaily. Lze říct, že plánovač se transformoval z pozice kontrolora dat, který vyplňuje tabulky a dle uvážení řadí jednotlivé zakázky, na pozici analytika, který musí znát veškeré výrobní procesy a být schopen vyhodnotit drobné detaily a jejich dopad. Možná podoba APS systému a data, která může plánovač nyní analyzovat lze vidět na obrázku č.5. Z toho obrázku je zřejmý výrazný rozdíl oproti podobě plánu v Excelu, jak bylo ukázáno na obrázku č. 2, a to nejen z pohledu vnitřní logiky a funkcionalit, které APS systém nabízí, ale možnost zobrazení aktuální situace v reálném času a mít tak ucelený pohled o výrobě.

1.1.7 Enterprise resource planning – ERP

Enterprise Resource planning, zkráceně ERP jsou finančně orientované informační systémy pro určení a plánování podnikových zdrojů nutných k přijetí, vyhotovení, dodání a zaúčtování zákaznického obchodního požadavku. ERP se vyznačuje svým grafickým uživatelským rozhraním, využitím relační databáze, architekturou client/server a svojí přenositelností [5]. Tyto systémy se nejčastěji skládají z různých modulů a zákazník si tak může definovat pouze ty moduly, které skutečně využije ve svém podniku. Může se jednat o moduly postihující nákup a prodej, řízení dodavatelského řetězce, plánování výroby, finanční moduly, řízení lidských zdrojů a další. ERP systémy tedy zastřešují interní podnikové procesy a jejich řízení, stejně tak ale i vztahy směrem k dodavatelům a odběratelům podniku.

Systémy ERP primárně neslouží k plánování výroby, postupem času však ERP obsahovaly další a další moduly a funkcionality, jako například právě MRP. Proto se dnes firmy bez takového systému neobejdou a potřebují jej k obecnému řízení podniku, nejen z pohledu plánování výroby. Například jeden z nejznámějších ERP systémů, SAP, obsahuje i APS modul, pro pokročilé plánování, a to SAP Advanced Planning and Optimization. Systémy ERP v dnešní době tak neslouží pouze k řízení finanční stránky společnosti, ale zastřešují prakticky všechny zmíněné podpůrné nástroje plánování výroby.

Ve své podstatě lze říct, že za předpokladu využívání všech dostupných modulů, například v rámci systému SAP, jsou ERP virtuálním otiskem daného výrobního podniku a v případě správných dat, tak plně odráží aktuální situaci, nejen z výrobního hlediska, ale také personálního, finančního a dalších oblastí.

Mezi nejznámější ERP systémy patří: [12, 13]

- SAP
- QAD
- Helios
- Oracle
- Microsoft Dynamics

Technologie výroby, rozšiřování výrobního portfolia, růsty objemu produkce, ale také zákaznické požadavky na kvalitu, dostupnost dodávek a jejich customizace, měly za následek zvýšení složitosti plánování takové výroby. Z toho důvodu bylo vytvořeno velké množství metod řízení výroby a s příchodem a rozšířením výpočetních technologií i příchod podpůrných softwarových nástrojů. Tak, jak se vyvíjela výroba a vznikaly nové a nové požadavky na plánování, mnoho z těchto nástrojů doznalo značného vylepšení, jako v případě evoluce MRP – MRP II. Společně s rozšiřováním dostupnosti IT technologií, a především díky postupnému zvyšování výpočetního výkonu, bylo možno řešit i velmi komplexní optimalizační úlohy v rozumném čase. Tento technologický posun otevřel dveře pro existence APS nástrojů pro tvorbu výrobních plánů, a právě díky zvýšenému výpočetnímu výkonu nebylo nutné na výsledek těchto úloh čekat hodiny, ale maximálně minuty.

I přes sílu a sofistikovanost těchto řešení není zaručeno optimálního řízení výroby z několika důvodů. Mezi hlavní důvody patří datová základna, tedy vstupy těchto systémů a specifika výrobních společností. Práce, přesnost a výsledky těchto systémů jsou silně závislé na kvalitě vstupních dat, a tedy nelze očekávat kvalitní výstup v případě nepřesných, či chybějících dat.

Toto lze zcela jistě označit za základní pilíř úspěchu, či neúspěchu využívání ERP, APS, resp. MRP, MES.

Tím druhým je specifická konkrétní výrobního závodu, ač se může jednat o výrobu stejného produktu, celý výrobní proces může být naprosto odlišný, a to nejen z výrobního hlediska, ale také datového, které z výrobního vychází. Ne vždy, je tak možné tyto parametry v daných systémech nastavit a lze narazit na jejich limity. V těchto případech může dojít k nepřesnému plánu, nutnému manuálnímu vstupu, i přes to, že by tyto systémy měly většinu úloh automatizovat a minimalizovat ruční vstupy uživatelů. Či se jedná o výrobní proces natolik složitý, že není možno je dostatečně definovat v těchto systémech a použít je tak pro plánování. Jedním z typů výroby, které je složité plánovat i z důvodu omezení těchto systémů, je výroba, kdy je při jednom výrobním kroku, například úhozu lisu, vstříku do formy, výlisku, či jiného úkonu, výstupem více než 1 položka. To platí jak pro výstupu více než jedné stejné položky, ale také více různých výstupních položek. Pro potřeby této práce lze tento typ definovat jako svázanou výrobu, jelikož položky jsou spolu „svázané“. Popis tohoto typu výroby a demonstrace problémů s tím spjatými popisuje následující kapitola.

2 Svázaná výroba

V předchozí kapitole byla zmíněna omezenost softwarových nástrojů pro podporu řízení výroby, kdy jedním z důvodů je specifická výrobního procesu s přesahem do struktury dat a možné nastavení těchto systémů, především výstup MRP algoritmu při procesu generování zakázek. Tuto specifickou splňuje jakákoliv svázaná výroba. Obecně takový výrobní proces, či operace, jejímž výstupem je více položek v rámci jednoho úkonu a z toho plynoucí problém systémově obsáhnout tento výstup.

Mezi tento typ výroby lze jistě zařadit výrobu plechů, kdy je z jednoho kusu provedeno vyříznutí, či vylisování několika dalších produktů. Dále by se mohlo jednat o nástřihové plány pro výrobu potahů, či využití dýhy pro vystřihávání tvaru finální položky. Dále se lze s tímto typem výroby setkat u výroby pomocí vstřikolisových forem.

2.1 Konkretizace problému

V rámci této práce je problém plánování vícevýstupní výroby demonstrován na příkladu vstřikolisovny s použitím různých druhů forem. V těchto případech nastává problém nastavení systému a práce s těmito daty. V rámci oficiálního SAP fóra, či jiných oficiálních informačních kanálů dalších dodavatelů ERP systémů, je tento problém často diskutován a tato otázka byla vnesena mnohokrát. [14], [15]

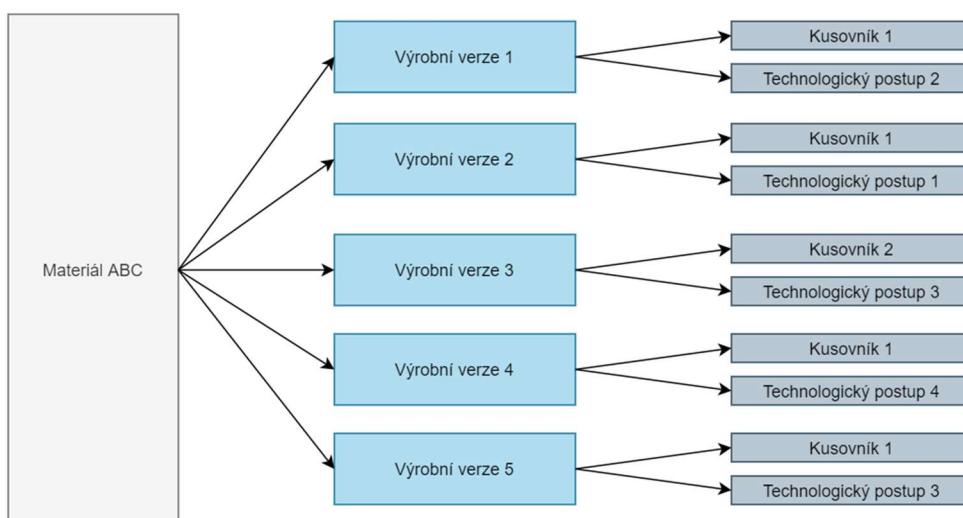
Tuto problematiku lze rozdělit na dva hlavní body, a to výrobní zakázky, které nemají pouze jednu položku, ale uvažují také další výstupní položky, které jsou definované v rámci kusovníku a zohlednění takové vícepoložkové zakázky v rámci MRP rozpadu. Druhým bodem je vyhodnocení všech existujících kombinací na základě výrobních variant a určení té varianty, která je za daných podmínek vhodná, tedy existuje taková množina kombinací daných výrobků, které jsou společně výstupnímu při jedné výrobní operaci. Například při jednom úhozu lisovacího stroje je výstupem položka A, B, F a G.

2.2 Datové hledisko svázané výroby vstřikolisových forem

Jak bylo zmíněno v předchozích kapitolách ERP systémy, APS a další, potřebují ke své správné činnosti nejen správná data odrážející aktuální situaci, ale také vhodný typ dat, popisující specifika výroby, jejich nastavení a další parametry.

2.2.1 Výrobní verze

Výrobní verze vytváří spojení mezi technologickým postupem a kusovníkem materiálu, resp. jeho verzí. Definuje tak, který kusovník je použit, s jakým technologickým postupem a používá se v případě, kdy je možno výrobek vyrábět více než jedním způsobem. Může se jednat o různou velikost výrobní dávky, různou spotřebu materiálu, nebo například časové omezení validity daného kusovníku, či technologického postupu. [16] Výrobní verze je tedy nadřazena technologickému postupu a kusovníku, jak je ukázáno na obrázku č. 7.



Obrázek 7 Výrobní verze

2.2.2 Vícepoložková zakázka

Standardní nastavení ERP systému SAP vždy počítá s výrobní zakázkou, která obsahuje 1 položku o určitém množství, které je nutno vyrobit. Tedy i přes to, že kusovník pro tuto položku obsahuje více výstupů, tato zakázka se bude vždy tvářit jako výroba jedné položky. Ve skutečnosti bude výstup odlišný. Pro tyto účely v systému SAP existují funkce, které se nazývají co-product a by-product.

Jak co-product, tak by-product je pro systém taková položka, která je společně vyráběna s hlavní definovanou položkou. Tedy 1 hlavní položka a n dalších, společně vyráběných. Co-product se od by-productu liší tím, že systém automaticky generuje separátní zakázky. [17] Vždy tedy bude vytvořeno n+1 zakázka, kde n je počet dalších výstupů mimo hlavní položku. Nejen že toto řešení není vhodné pro řešený problém z důvodu generování dalších zakázek, tak jejich záměru. Tyto funkce jsou v systému především z důvodu výpočtu nákladů a nenachází tak využití pro MRP rozpad a také pro vyhodnocování variant.

Jako další možností se jeví využít funkcionality v rámci aktuální verze SAPu a to S/4 HANA, resp. jejího modulu DIMP [18]. DIMP neboli SAP – Discrete Industries and Mill products poskytuje funkcionality specifické pro různá výrobní odvětví, jako je automotive, kosmický průmysl, ale také textilní, zpracování kovu, dřeva a dalších materiálů, obecně nazývané v rámci DIMP jako mill industries. [18] Tedy ty typy výroby, spadají zmíněná specifika, výroba plechů, nástřihové plány, vstřikolisové formy v automotive.

Jedná se o funkcionality Multi item order. Díky multi item order lze opět nastavit vícevýstupní položky v rámci jedné zakázky. Pokud je tato zakázka označeno tímto příznakem, ze své hlavičky obsahující zakázkové množství není počítáno pouze s množstvím jedné položky, ale všemi, které jsou výstupy této zakázky. Následně je přepočítáno množství vstupního materiálu na základě této nové hodnoty. V kontrastu s co-product funkcí jsou zde vstupní materiály přesně kalkulované, a ne pouze doporučeně vůči novému množství. Nutnou podmínkou je nastavení stejných měrných jednotek těchto položek. [19]

Tyto zakázky však opět nejsou uvažovány v rámci MRP a nelze tento typ zakázek použít v rámci APO, SAP modulu pro pokročilé plánování a optimalizaci. [19]

2.2.3 Hodnocení zakázek a kombinací možné výroby

Pro vyhodnocení zakázek, tedy výsledku MRP běhu lze v SAP využít zobrazení dle Evaluating the Planning run – PP-MRP-PE. Tato komponenta uživateli zobrazí všechny vstupní a výstupní elementy pro daný materiál ve formě tabulky a umožní tak rychlý přehled stavu zásob/požadavků pro tento materiál. [20]

Opět se jedná o nevyhovující řešení, jelikož zde dojde k vyhodnocení vstupních/výstupních položek pouze jako statická informace bez návaznosti na případný MRP běh, či vliv na generování nových zakázek. Taktéž je vyhodnocena jedna verze, aktuálního MRP „rozpadu“ provedeného dle první dostupné výrobní verze. Systém SAP vždy automaticky vybere první, aktivní verzi. Pokud by zakázky byly zakládány ručně, pak je uživatel schopen výrobní verzi vybrat. Toto však není řešením vzhledem k množství zakázek, které Magna denně zpracovává a neefektivitu takového řešení a plýtváním kapacitou pracovníka, který by ručně zakládal zakázky.

V SAP systému v současné době není modul, či funkcionality, která by byla vyhovující pro řešení problému nejen z hlediska MRP rozpadu a generování zakázek, ale vyhodnocení variant dle definovaných KPI.

2.3 Příklad MRP rozpadu a důsledky pro vícevýstupní výrobu

Jelikož MRP-II využívá CRP, použije se také technologický postup. Zjednodušeně lze říct, že v rámci algoritmu systém zkontroluje skladové zásoby, zákaznické požadavky, již vygenerované – otevřené výrobní zakázky s využitím informací kusovníku a také technologického postupu, resp. výrobní verze. Ač přes sílu MRP-II algoritmu a výhody plynoucí z jeho použití přes více než 40 let, má i tento algoritmus jistá omezení, a to právě v případě variantního typu výroby s více výstupními položkami. Hlavním omezením je rozpad MRP přes jednu položku bez ohledu na další výstupy – společně vyráběné výrobky a použití první dostupné – aktivní výrobní verze, která je v systému zadána bez jakéhokoliv dalšího rozpadu přes ostatní výrobní verze a jejich případné vyhodnocení a výběr té vhodné za dané situace.

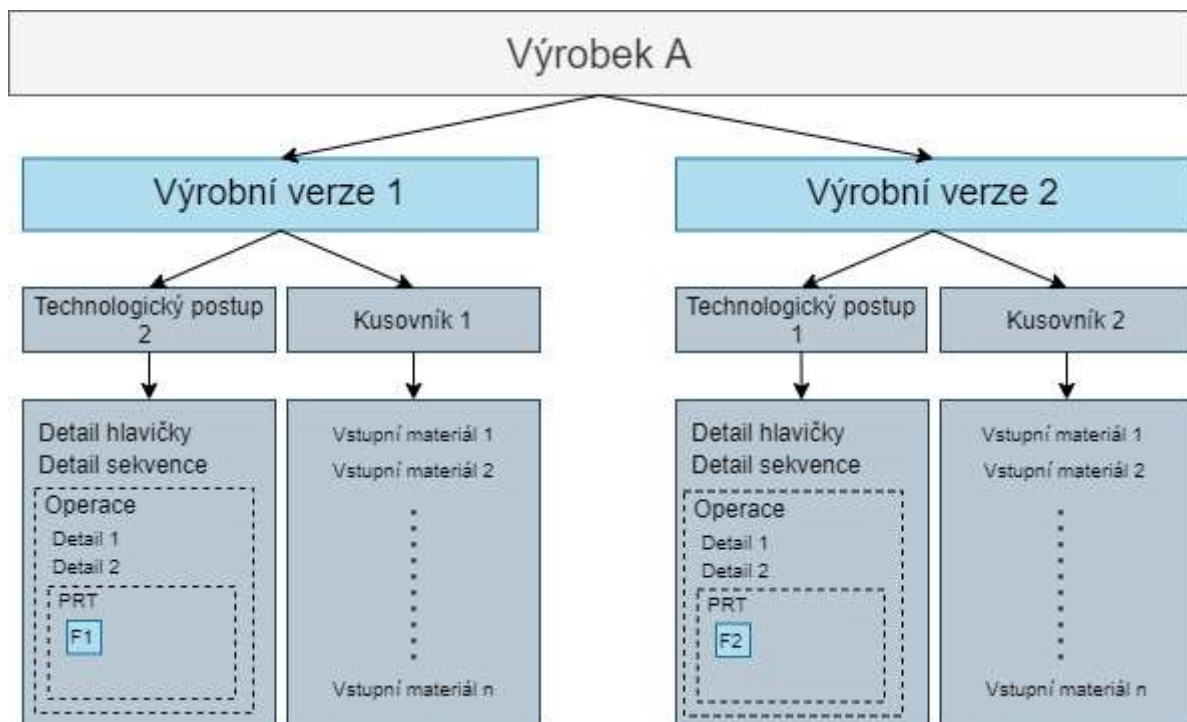
Na následujícím ilustračním příkladě, je popsán MRP rozpad dle definovaných vstupů a aplikován na vícevýstupní typ výroby a demonstrovány zmíněné nedostatky a omezení z toho plynoucí.

Mějme tři vyráběné položky A, B a C. Na tyto položky existují zákaznické požadavky v horizontu 7 dní. V systému existují již otevřené výrobní zakázky a určitá výše skladové zásoby k datu, kdy bude proveden MRP rozpad. Tyto 3 položky lze vyrábět různými způsoby definované výrobními verzemi. Výchozí stav a veškeré informace pro tento příklad shrnuje tabulka níže. Veškeré množstevní jednotky jsou uváděny v kusech.

Název položky	Zákaznický požadavek		Skladová zásoba	Otevřená zakázka
	Datum	Množství		
A	10.04.2021	500	100	300
A	11.04.2021	1000		
A	15.04.2021	500		
B	12.04.2021	300	0	0
B	15.04.2021	200		
B	16.04.2021	100		
C	12.04.2021	50	50	100
C	15.04.2021	150		
C	17.04.2021	150		

Tabulka 1 Vstupní data pro MRP

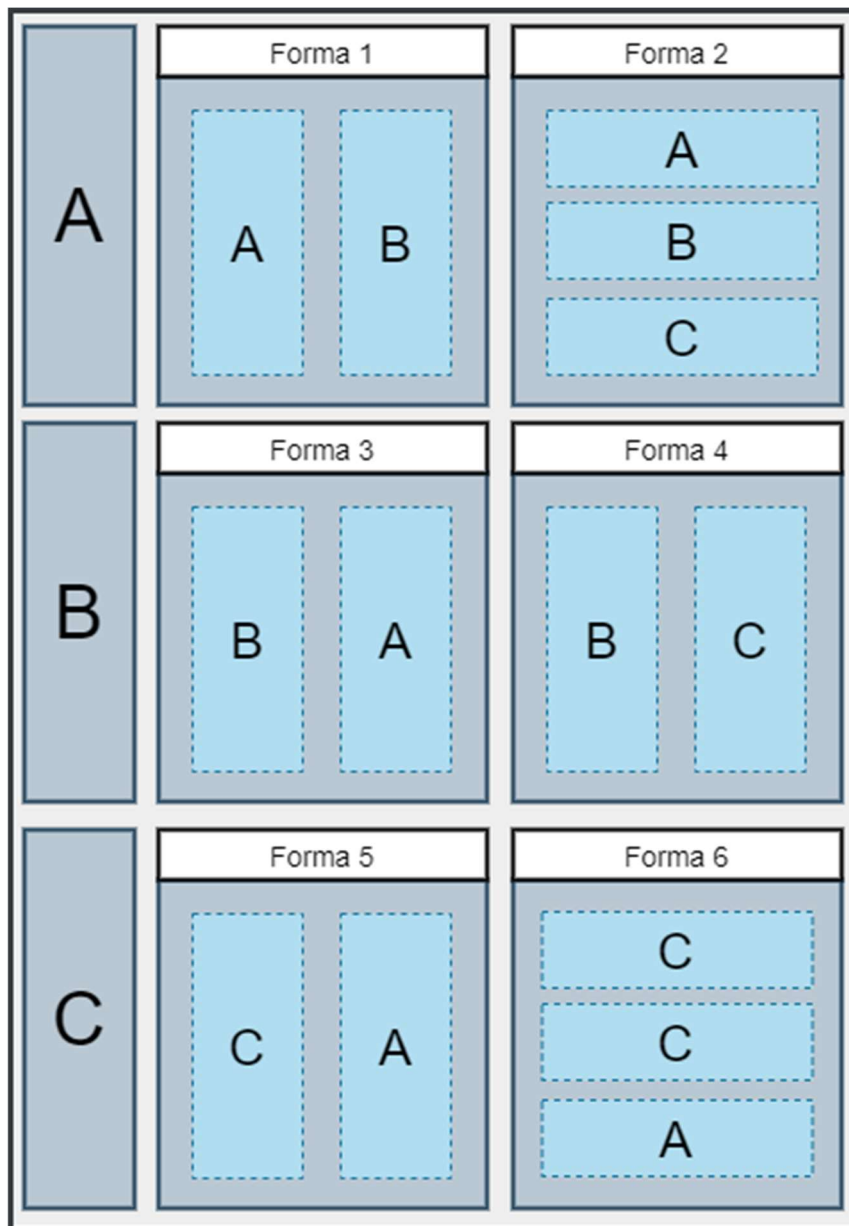
Dále má každá z těchto tří položek určené své výrobní verze dle technologického postupu a kusovníkové verze. Technologický postup obsahuje další dodatečné informace, jak lze vidět na schématu níže. Podstatnou informací je vytvoření Operace v rámci technologického postupu, kdy tato operace obsahuje další podprocesy, jako je kontrola kvality a její nastavení v rámci této operace [16], nebo přiřazení PRT – Production Resources/Tools. V rámci PRT lze nastavit pomocné výrobní prostředky, jako je dodatečný materiál, dokumentace, nástrojové vybavení a další. Ve schématu níže je zvýrazněno především určené vybavení, tedy forma, která se používá v rámci konkrétního technologického postupu. Dále jsou definovány dva různé kusovníky o n vstupních materiálech.



Obrázek 8 Výrobní verze výrobku A

Technologický postup 2 má definovanou formu F1 a postup 1 formu F2. Pro tento modelový příklad je uvažováno pro výrobky B a C taktéž se dvěma výrobními verzemi lišící se pouze použitou formou, a to F3 a F4, resp. F5 a F6 a opět dvě verze kusovníků s n vstupy potřebného

materiálu. Formy se liší svým výstupním rozložením, jak je popsáno na následujícím schématu níže, které ukazuje jednotlivé technologické postupy dle jejich různých PRT.



Obrázek 9 Varianty forem

Dalším krokem je samotný MRP rozpad a vygenerování jednotlivých zakázek. Jak bylo zmíněno, pro potřeby tohoto příkladu budeme uvažovat pouze skladovou zásobu a již otevřené výrobní zakázky, jak lze vidět v tabulce č. 1 Velikost výrobní dávky po položkách je v tomto případě nastavena na 200ks pro výrobek A a B a 100ks u výrobku C. Po prostém výpočtu disponibilního množství, které částečně pokrývá zákaznické požadavky a zbývajícího požadavku jsou vygenerovány jednotlivé zakázky dle velikosti výrobní dávky. Celková potřeba v rámci uvažovaného období pro výrobek A činí 1600ks, pro B 600ks a C 200ks.

Za těchto podmínek je vygenerováno celkem 8 zakázek A, každá po 200ks. Pro výrobek B existují nově 3 zakázky, také po 200ks a konečně, pro výrobek C jsou vytvořené 2 zakázky, každá po 100ks. V tabulce č. 2 lze vidět vygenerované zakázky a výsledné vyrobené množství dle vygenerovaných zakázek a použitých výrobních verzí.

Vygenerovaná zakázka	Množství	Dle zakázek	Vyrobené množství dle verze	Výrobní verze 1	Výrobní verze 2
A1	200	A	A	1600	1600
A2	200		B	1600	1600
A3	200		C	-	1600
A4	200	B	A	600	-
A5	200		B	600	600
A6	200		C	-	600
A7	200	C	A	200	200
A8	200		B	-	-
B1	200		C	200	400
B2	200	Celkem vyrobeno	A	2400	1800
B3	200		B	2200	2200
C1	100		C	200	2600
C2	100	Stav po splnění objednávek	A	800	200
			B	1600	1600
			C	0	2400

Tabulka 2 Souhrn výstupů

Z tabulky výše lze vidět, že všechny požadavky budou splněny a některé položky budou nadvyrobeny a bude je třeba skladovat. Při plnění výroby na základě těchto zakázek by se rovnalo výstupům použitých dle výrobní verze 1, protože SAP nezohlední vedlejší výstupní položky pro MRP rozpad a vybere první aktivní výrobní verzi. Z pohledu na tuto tabulku je zřejmé, že při použití výrobní verze 2 pro všechny položky, by byla skladová zásoba nižší o 600ks u výrobku A a 2400ks více u výrobku C, stav B je neměnný. I za předpokladu, že by MRP vyhodnotilo výsledný stav po využití výrobní verze 2, stále se jedná jen o pouhé hodnoty, které je nutné dát do kontextu, resp. určit metriky, dle kterých budou tyto hodnoty posuzovány a hodnoceny. Na první pohled je nadzásoba 2400ks u výrobku C výrazným rozdílem oproti prvnímu případu.

Může se však jednat o výrobek, jenž má nízkou účetní hodnotu v rámci systému a z výsledných možností může být lepší variantou, jelikož nadvýroba A klesla o 600ks a v případě vyšší finanční hodnoty A může být i takovéto množství C za daných podmínek lepším výsledkem. Jednalo by se tak o první možnou hodnotící metriku/KPI. Dále může být vyšší zásoba C výhodnější nejen z účetního hlediska, ale také z hlediska velikosti balení, kdy 2400ks výrobku C může zaujmout méně skladových pozic, než 800ks výrobku A. Dalším pohledem, který je třeba uvažovat je časový horizont. Pro tento modelový případ je určeno 7 dní, nicméně při zohlednění tohoto parametru může být nyní první varianta lepší, protože devátý den může existovat požadavek na výrobek A. Nemusí se však jednat o zhodnocení pouze výrobní verze 2 pro všechny položky, ale také jejich všechny možné kombinace. Je zřejmé, že těchto parametrů může být celá řada a každý z těchto parametrů může mít menší, či větší váhu, jak bude ukázáno v následující kapitole.

Byla zmíněna chybějící funkcionalita určování výrobních verzí a jejich zhodnocení, nicméně dalším omezením ze strany MRP v tomto případě je samotné vygenerování zakázek, kdy jsou

požadavky rozpadány podle jedné položky a MRP tak neuvažuje situace, kdy se zakázkou A1 vyrábíme také výrobky B, nebo C, v závislosti na zvolené verzi. Pokud by tato funkce existovala, lze vidět, že zakázky A pokryjí nejen požadavek na výrobu A, ale také B.

A bylo by vhodné některé zakázky uzavřít a neuvažovat s nimi pro plánování, případně upravit množství v rámci plánované zakázky, která však může operovat pouze s jednou množstevní hodnotou. V tomto případě by zůstala zásoba položky B, ale nyní by bylo nutné zhodnotit tuto variantu s danou výrobní verzí, jak je zmíněno v předchozím odstavci. Chyběla by však položka C, pro kterou by nyní musel být proveden rozpad a opět vygenerovány zakázky a vyhodnoceny jako v předchozím případě. Mohlo by tak dojít ke kombinaci výrobní zakázky pro položku A a C, ale také A a B, nebo jen B a C, každá varianta ještě se svojí vlastní kombinací výrobní verze. V tomto případě může nastat 23 různých výrobních kombinací, které je třeba vyhodnotit.

Prostou úvahou a ručním výpočtem v excelové tabulce tak lze nalézt jednu z variant, jejíž výsledek je výrazně lepší, než výchozí stav. Jednalo by se o variantu zakázky pro A a C s výrobní verzí č. 1. Tento stav je ukázán v tabulce č. 3 níže.

Zakázka_Výrobníverze	Vyrobené množství dle verze	
A_VV1	A	1600
	B	1600
	C	-
C_VV1	A	200
	B	-
	C	200
Stav po splnění objednávek	A	200
	B	1000
	C	0

Tabulka 3 Kombinace možných výstupů

Lze vidět, že tato kombinace je zcela jistě za daných podmínek lepší než dle zakázek navržených systémem. Stále je viditelná nadvýroba položky B, ale při této kombinaci je požadavek na B splněn a zároveň je zásoba B nižší. Položka A má oproti předchozímu stavu výrobní verze 1 zásobu také nižší, oproti výrobní verzi 2 se zvýšila o 200ks. Lze však uvažovat, že položka A může být highrunner, tedy často objednávaný materiál a 200ks na skladě nebude problémem. Jedná se o zjednodušený demonstrační příklad, kdy v použitelné, navrhované funkcionalitě vyhodnocení bude uvažováno se všemi možnými kombinacemi a každou z nich je třeba vyhodnotit dle definovaných KPI a vypočítat tzv. celkové skóre dle nastavení vyhodnocení, jako jsou zmíněná KPI a váhy těchto parametrů.

V tomto jednoduchém případě lze kombinace vyhodnotit ručně a určit vhodnou variantu, nicméně v reálném prostředí je toto nemožné vzhledem k časové náročnosti, množství zakázek, délce časového období a tím růstu možných kombinací. Negativa pro takový typ výroby není jen časová náročnost, kdy není v lidských silách v rozumném čase vše vyhodnotit, ale také vyšší zásoba, výroba produktů, které nejsou objednány, růst účetní hodnoty zásob, ale také nutnost tyto položky skladovat, a tak omezování skladovacího prostoru. Dále vliv na spotřebu materiálu související s výrobou nepotřebných výrobků, blokování výrobního času stroje při výrobě nepotřebných položek a další negativa plynoucí z nevhodně zvolených kombinací. V tomto ilustračním příkladě se jedná o jednoduchý typ formy, kdy se složitostí takové formy roste i složitost výpočtu všech variant. Reálné varianty forem u společnosti, kde je tento problém řešen je popsán v následující kapitole, včetně ukázky některých z nich.

3 Představení společnosti Magna

Dle úvodní kapitoly, se tato práce nezaobírá pouze popisem nástrojů a problémů svázané výroby, ale také popisem konkrétního výrobního podniku, jehož výrobní proces do této kategorie spadá. Jedná se o společnost Magna Exteriors, jenž je divizí společnosti Magna International. Výrobní společnost s širokým záběrem, komplexními výrobními procesy, zákazníky světových značek a mnohaletou historií, jak je popsáno na následujících řádcích.

3.1 Historie společnosti

Tato společnost byla založena v roce 1957, kdy začala spolupracovat s automobilkou General Motors. K dnešnímu dni Magna vyrábí všechny možné druhy automobilových komponent, ať už se jedná o sedačky, nárazníky, či pohonné jednotky, Magna je jediným automotive dodavatelem, který kompletuje celá auta.

Produkty této společnosti mohou být nalezeny v autech většiny známých značek. Produkty pocházející až ze 342 výrobních závodů a 91 vývojových, konstrukčních a prodejních center v celkem 27 zemích světa. Celá společnost zaměstnává přes 158 000 lidí.

Magna International je tvořena následujícími divizemi, kdy každá divize se zabývá výrobou a případně vývojem různých automobilových komponent. [21]

- Cosma
- Magna Exteriors
- Magna Powertrain
- Magna Electronics
- Mechatronics
- Magna Mirrors
- Magna Lighting
- Magna Seating
- Magna Steyr

Mezi hlavní zákazníky Magny patří Aston Martin, Ford, Daimler, Mazda, Subaru, Volvo, ale také tuzemská automobilka Škoda auto. Magna také vyrábí a dodává díly do společností, které nespádají do automotive industry, jako například BRP, Caterpillar, John Deere a další.

Následující kapitoly popisují danou problematiku při plánování vstřikolisovny v divizi Magna Exteriors. Divize, která má několik výrobních a vývojových poboček v Evropě, mezi něž patří i závody v České republice, a to v Liberci a Nymburku. Tato práce se vztahuje na tyto dva tuzemské závody.

3.2 Výrobní procesy

Divize Magna Exteriors se zabývá výrobou plastových součástí automobilů jako jsou krytky od nádrží, stínítka, přední a zadní nárazníky a další. Hlavními výrobními procesy Magna Exteriors je vstřikolisovna, lakovna a finální montáž.

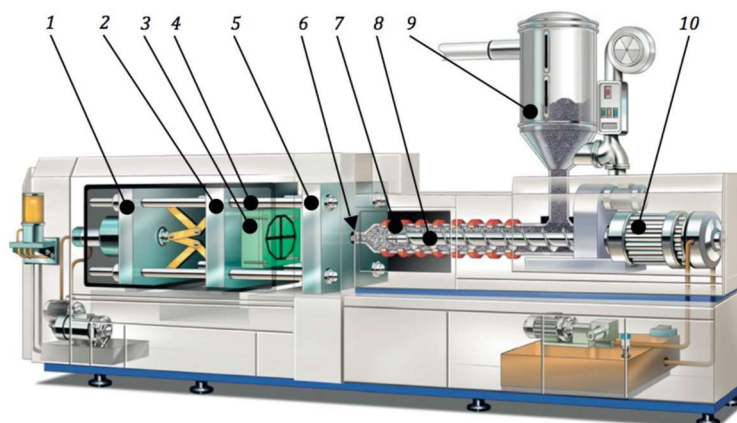
Vstřikolisovna je prvním výrobním procesem, kde fyzicky vznikají díly pro další zpracování na lakovně a finální montáži.

3.2.1 Proces výroby pomocí vstřikolisu

Tato technologie je označována jako tvářecí proces, jelikož roztavený polymer je silou dopravován do dutiny vstřikovací formy, kde ztuhne a zaujme svůj tvar. Vstupní surový materiál, polymer, nejčastěji nazýván granulát, který je roztaven, aby mohly být formy naplněny může nabývat různých vlastností a barev. Vstřikování termoplastů se nejčastěji stává z následujících kroků. [22]

- Plastikace
- Vstřikování (plnění formy)
- Dotlak
- Chlazení
- Pohyb vstřikovací formy

Vstřikolis pomocí forem tak dává tvar finální položce, která může být následně opracována, či jinak upravena. V případě Magny se jedná o nalakování takového dílu a finální montáže, kde jsou na vyráběný díl namontovány komponenty. Značné uplatnění mají vstřikolisy v automotive průmyslu, ale lze se s tímto výrobním procesem setkat prakticky při výrobě jakékoliv plastové součástky, či výrobku. Může se jednat o plastové jídelní nádoby a obalový materiál obecně, ale také mobilní telefony, televize, nebo plastový nábytek.



Obrázek 10 Schéma vstřikolisu [11]

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikolisu, 5 – pevná upínací deska vstřikolisu, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku

Velikost vstřikolisů je odvislá od velikosti finálního produktu, nicméně i pro relativně malý výrobek je vstřikolis značně rozměrný.

3.2.2 Vstřikolisové formy a jejich rozdělení

Vstřikolisové stroje, které ke své činnosti potřebují tzv. formy, jsou specifickým nástrojem vyrobeným na míru, dle technických požadavků na tvar a rozměry finálního výrobku. V případě Magny automobilových dílů, jako jsou nárazníky, krytky nádrže, stínítka a další.

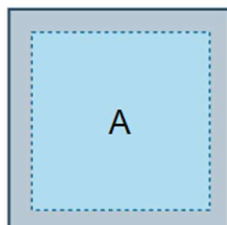


Obrázek 11 Možná podoba vstřikolisové formy

Společnost Magna používá a rozlišuje níže uvedené typy forem:

Single forma

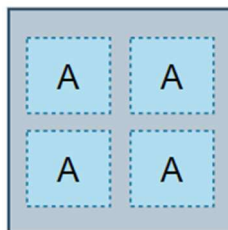
Jedná se o nejjednodušší variantu, s jednou výstupní položkou a neměnným nastavením formy, jak je ukázáno na obrázku níže. Z fyzické podoby formy je zřejmé, že plánování této formy není problémem, a to ani z pohledu MRP a generování zakázek, jedná se o jednovýstupní položku, tedy informace o výstupu, kterou nese plánovaná zakázka se shoduje s realitou a fyzicky vyrobenými díly.



Obrázek 12 Single forma

Multiple forma

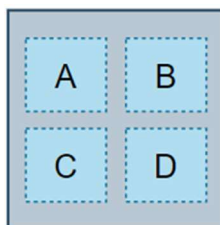
Tzv. vícenásobná forma, jejíž výstupem je více jak jedna stejná výstupní položka a nastavení formy je opět neměnné.



Obrázek 13 Multiple forma

Family forma

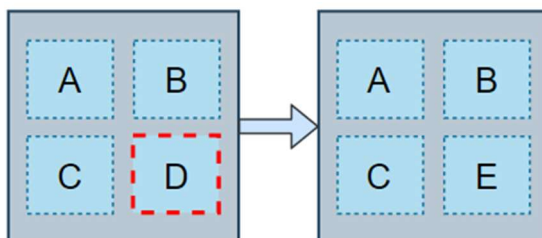
Opět se jedná o formy s více výstupními položkami, ale v tomto případě s různými výstupy a díly se od sebe liší. Nejčastěji se může jednat o celý „set“ výrobků, který je následně montován do jednoho auta.



Obrázek 14 Family forma

Family flexible forma

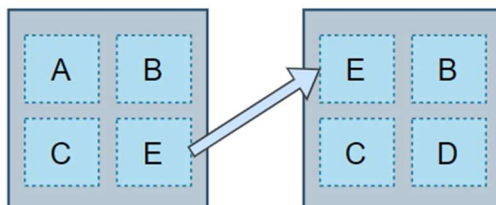
Stejný typ jako family forma s tím rozdílem, že lze jednotlivé kavity upravit a změnit tak výslednou výstupní položku, viz příklad níže. V tomto případě je nastavení formy proměnné právě z důvodu nastavení kavit tzv. a ovlivnění výsledného výstupu.



Obrázek 15 Family flexible forma

Prolínající se formy

Všechny formy vypsane výše se mohou prolínat v jedné z položek, tj. více fyzických forem může vyrábět stejnou položku, jak je ukázáno na obrázku níže ukazující stav, který může nastat. Jedná se o jednoduchý příklad dvou prolínajících se forem. Těchto „prolnutí“ však může být více a 1 díl, tak lze vyrábět i pěti různými formami.



Obrázek 16 Prolínající se formy

3.3 Využívané softwarové nástroje

Divize Magna Exteriors je značně rozsáhlým výrobním komplexem, který zaměstnává stovky pracovníků a v rámci své výroby obsahuje velké množství pracovišť. Pracoviště dělicí se na lakovnu, vstřikolisovnu a finální montáže obsahují velký počet strojů, na nichž se vyrábí, zpracovává a připravuje k finální expedici stovky různých druhů výrobků. Jak bylo zmíněno, tato výroba je specifická z důvodu svázané výroby, tedy použití vícevýstupních vstřikolisových forem. Komplexita tohoto závodu a výroby jako takové potřebuje ke svému efektivnímu řízení velké množství podpůrných nástrojů. Nejedná se pouze o softwarovou podporu pro plánování a řízení výroby a její sledování, ale i nevýrobní činnosti jako expedování vyrobených dílů, řízení dodavatelsko-odběratelských vztahů, personální řízení, finanční řízení a další.

Z těchto důvodů je v této divizi Magny využit ERP systém SAP. Jeden z nejnámějších a nejpoužívanějších ERP systémů. Díky tomuto systému je možno řídit základní odvětví podniku a evidovat veškerá důležitá data, jakož i propojení těchto systémů se zákazníky, či dodavateli díky elektronické výměně dat – EDI. Pro plánování a řízení výroby je především důležité, že tento ERP systém obsahuje funkcionality MRP, resp. MRP-II algoritmu, a tedy možnost evidence všech nutných vstupních informací, jako jsou skladové zásoby, technologické postupy, výrobní verze, kusovníky, nákupní objednávky. Díky těmto vstupům je možno generovat plánované zakázky, tedy to, co se má vyrábět na základě zákaznických požadavků.

Pro sledování výroby, evidenci zakázek a hlášení jejich stavu je využito custom MES systému dle potřeb tohoto závodu. Celý plánovací proces zastrešuje APS systém Asprova, který plánuje celý výrobní proces. Tento systém automatizuje značné množství úkonů a urychluje práci plánovačům a zároveň tvoří lepší výrobní sekvence než při manuálním plánování. Mezi těmito systémy leží databáze-interface, kde jsou data ze systému SAP transformována do podoby, aby bylo možno je použít pro plánování v Asprově, a naopak po zaplánování možno zaslat zpět do SAP systému. Při implementaci tohoto APS systému muselo být provedeno také určitých datových úprav v SAP, úprav, které vyplývají ze specifik svázané výroby. Schéma níže ukazuje datový tok při použití těchto systémů pro plánování výroby a jejich propojení.

3.3.1 Schéma datového toku



Obrázek 17: Schéma datového toku [vlastní zpracování]

Dle schématu výše, dojde nejprve k příjmu zákaznických požadavků do systému SAP pomocí EDI. V systému SAP jsou vytvořeny jednotlivé Sales agreements. Zjednodušeně lze říct, že se jedná o karty materiálu, kde jsou údaje o zákaznických požadavcích, jejich datech, dodavatelských vztazích a další údaje. Vytvořené sales agreements se automaticky spárují se zaslanou EDI odvolávkou a naplní požadovanými zakázkami a datem, kdy má být doručeno. Po pravidelně proběhlém MRP rozpadu jsou vygenerovány plánované zakázky. Každý den, jsou data potřebná pro plánování importována ze systému SAP a informace o zpětném hlášení z MES do existující databáze mezi SAP a APS. Na straně databáze dojde ke kontrole dat a jejich transformaci pro potřeby APS systému. Tato data, jako jsou vygenerované zakázky, kusovníky, routiny, kalendáře, skladové zásoby a zpětné hlášení výroby jsou importovány do APS systému. Následuje přeplánování dle definovaných plánovacích strategií s následnými úpravami ze strany odpovědného plánovače a data jsou posléze zpětně exportována do databáze, resp. systému SAP, a to především informace o výrobních zakázkách, které po přeplánování byly vytvořeny po transformaci z plánovaných zakázek.

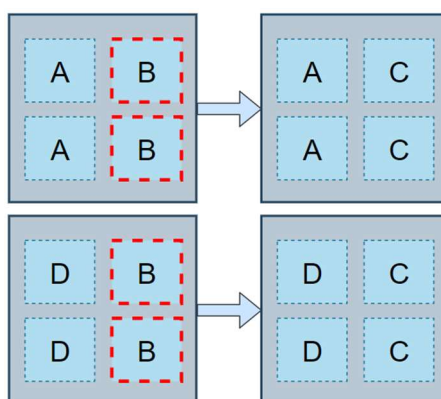
3.4 Formy využívané v Magna Bohemia

Pro výrobu na vstřikolisech společnost Magna využívá značné množství forem různého druhu. Jedná se především o formy přestavbové a prolínající se. Každá z těchto forem může mít ještě různý druh odvádění výroby. Fyzicky se jedná o stále stejný výstupní díl, nicméně ze systémového pohledu je položka jiná a má své vlastní materiálové číslo. Tento způsob nastavení je z důvodu výroby náhradních dílů, které mají svá vlastní materiálová čísla, aby bylo možno je rozlišit. Různý druh odvádění však opět zapříčiní další možné způsoby výroby, resp. existenci více výrobních verzí, a tedy kombinační varianty, jaké výrobky lze s danou formou vyrobit.

3.4.1 Forma přestavbová, nepřestavbová a s různým odváděním

Jak již z názvu této formy vyplývá, jednotlivé výstupy daných kavit lze měnit, přidáním tzv. vložky, kdy dojde ke změně tvaru výstupního dílu. Tyto díly je možné vyrábět ve čtyřech barvách. Výstupy forem a materiálová čísla těchto položek jsou ukázány na obrázku níže.

Pro potřeby nastavení systému a práci s výrobními verzemi, je definována reálná forma **F11490777/007** a taktéž založena forma fiktivní a to **F11490777/007F**. Fiktivní forma je samostatně založený pomocný výrobní prostředek, který reálně neexistuje. Lze říct, že se jedná o fyzicky stejnou formu, pouze s provedenou modifikací díky vložce upravující tvar kavity, a tedy jinou výstupní položku. Důvody pro založení fiktivních forem jsou zmíněné v kapitole aktuálního stavu.



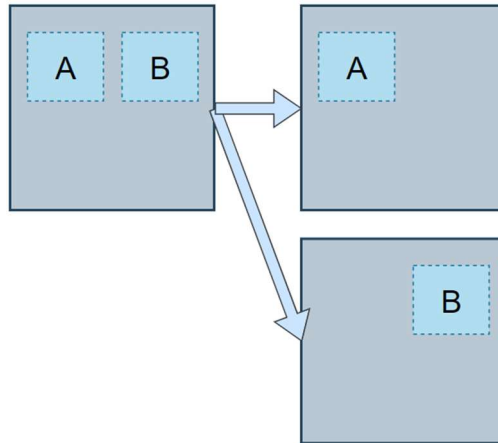
Obrázek 18 Forma přestavbová

Varianta A	Varianta B
114904100871	114904200871
114904100971	114904200971
114904101071	114904201071
114904101171	114904201171
Varianta C	Varianta D
114904110871	114904210871
114904110971	114904210971
114904111071	114904211071
114904111171	114904211171

Obrázek 19 Výstupy přestavbové formy

Z výše uvedených materiálových čísel, lze vidět, že existuje značné množství kombinačních výstupů, které mohou u této formy nastat.

Jednodušší typ přestavbové formy je ukázán na obrázku č. 19. Pro tuto formu není založena fiktivní forma a jsou založeny tři výrobní verze, které jednotlivé výstupy definují. V tomto případě se kavity mohou zaslepit a vyrobit tak pouze jednu položku. Hlavní rozdíl proti předchozí variantě je především v tom, že zaslepením kavity sice vzniká nová výstupní varianta, nicméně položky jsou pořád stejné, a proto není nutné zakládat fiktivní formu pro potřeby APS systému.

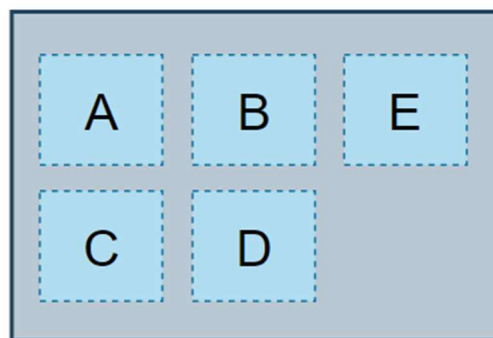


Obrázek 20 Přestavbová forma 2

Varianta A
119130200870
Varianta B
119130300870

Obrázek 21 Výstupy přestavbové formy 2

Nepřestavbová forma je taková forma, jejíž výstup je pevně dán a nedochází k přestavbě s použitím vložky. Zavírání kavit a ovlivnění tak výstupu možné je. V případě níže je tedy založena jedna fyzická forma **F16224741/01**.

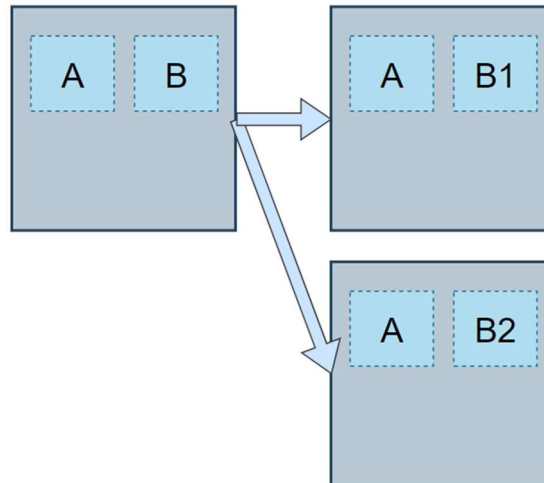


Obrázek 22 Nepřestavbová forma

Varianta A
162231700870
Varianta B
162241300870
Varianta C
162142300870
Varianta D
162242400870
Varianta E
162251100870

Obrázek 23 Výstupy nepřestavbové formy

Další variantou jsou formy přestavbové s různým odváděním, tedy fyzicky se jedná stále o stejné díly, nicméně z pohledu systému a materiálového čísla od odlišné. Tento typ výstupu je dán především výrobou náhradní dílů a nutnost jejich rozlišení v rámci systému SAP. V případě stejného materiálového čísla byla skladová zásoba neodpovídala skutečnosti, ovlivňovala MRP rozpad a generování zakázek, plánování výroby a dalších návazných operací. Fyzicky je tedy založena forma **F12801770/01** a forma fiktivní **F12801770/01F**.



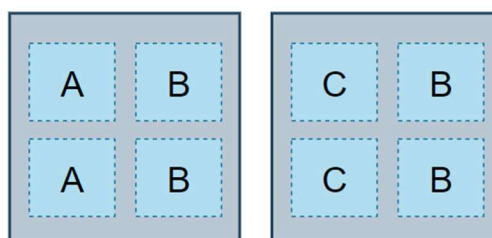
Obrázek 24 Přestavbová forma s různým odváděním

Varianta A
128010100870
Varianta B
128010900871
Varianta B1
128010900881
Varianta B2
128010900921
Varianta E
162251100870

Obrázek 25 Výstupy přestavbové formy s různým odváděním

3.4.2 Prolínající se formy

Jedná se o případ, kdy existují fyzicky 2 různé formy F11871991/01 a F11871772/01 a alespoň jeden z dílů je stejný. Ze systémového pohledu je výroba těchto dílů nastavena pomocí různých výrobních verzí, jak je ukázáno v kapitole Analýza současného stavu.



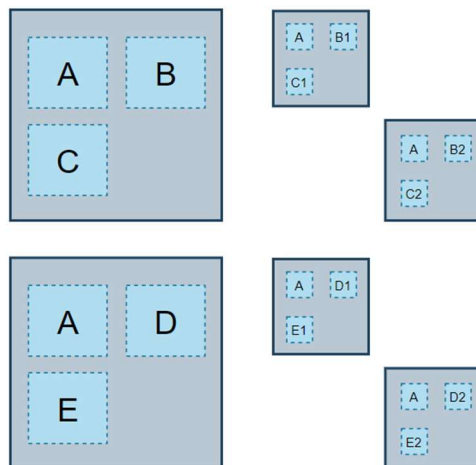
Obrázek 26 Prolínající se forma

Varianta A
118713010870
Varianta B
118713030870
Varianta C
118713020870

Obrázek 27 Výstupy prolínající se formy

Složitější varianta prolínající formy je ukázána níže. Nejen, že jsou zde prolínající se díly, ale taktéž je možno odvádět fyzicky stejné výrobky pod jiným materiálovým číslem. Je to tedy kombinace formy prolínající se a nepřestavbové s různým odváděním. Toto nastavení dává opět značné množství různých výstupů, které je třeba opět řešit založením fiktivních forem, aby bylo možno s touto kombinatorikou při plánování v APS systému vůbec počítat.

Fyzicky existují dvě formy, a to **F12801750/01** a **F12801771/01**, pro ně jsou založeny fiktivní varianty **F12801750/01F** a **F12801771/01F**, **F12801771/01G**. Podobu takové formy a její výstupy shrnují obrázky níže.



Obrázek 28 Prolínající se forma – složitější typ

Varianta A
128010500870
Varianta B
128010700871
Varianta B1
128010700881
Varianta B2
128010700921
Varianta C
128010800871
Varianta C1
128010800881
Varianta C2
128010800921
Varianta D
128010710871
Varianta D1
128010710881
Varianta D2
128010710921
Varianta E
128010810871
Varianta E1
128010810881
Varianta E2
128010810921

Obrázek 29 Výstupy prolínající se formy – složitějšího typu

Zde ukázané formy jsou variantami, které se reálně k výrobě používají a je třeba s nimi uvažovat, jak v aktuálním nastavení s využitím fiktivních forem, tak pro budoucí úpravu dat za účelem generování variant a jejich vyhodnocování. Ve společnosti Magna samozřejmě existuje více fyzických forem, ale ty jsou obdobou zde uvedeného výčtu a liší se materiálovým číslem, ale ne logikou jejich výstupů, resp. způsobu odvádění, či prolínání se. V této kapitole zmíněné formy jsou detailněji popsány z datového hlediska v následující kapitole, kde je řešen současný stav a datové nastavení, jak na straně ERP systémů, tak databázi, resp. propojení tohoto systému s APS systémem. Současný systém, který byl nastavován před několika lety a s rozvojem výroby nepostihuje všechny nové varianty forem a způsoby, jak lze jednotlivé díly vyrábět,

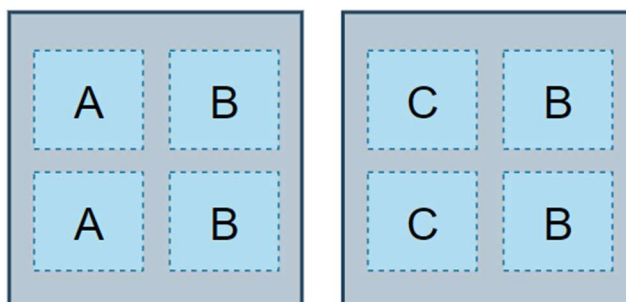
4 Analýza současného stavu

Z předchozích kapitol je zřejmé, že pro fungující plánovací proces je třeba zabezpečit jistou datovou strukturu. Strukturu, která odpovídá výrobnímu procesu, a především fyzickému nastavení vstřikolisových forem. Dále je nutná existence nových datových entit.

Ač se jedná o jednoprocenší výrobní operaci, její složitost je dána především kombinacemi a existencí více výstupů z jedné formy. Tato skutečnost musí být v systému zanesena a správně evidována, a to nejen z hlediska informativního, ale také pro potřeby plánovacího softwaru. Jelikož APS systém potřebuje pro svoji správnou funkcionalitu veškerá výrobní data, je nutné neimportovat pouze kusovníky a technologické postupy, ale i výrobní verze.

4.1 Datový pohled a systémové nastavení pro plánování

V předchozí kapitole popisující varianty forem je zmíněna nutnost existence výrobních verzí pro reálné a fiktivní formy. Obrázek č. 30 ukazuje pohled v SAP transakci C223, díky které lze zobrazit založené výrobní verze pro vybraný materiál. V tomto případě se jedná o pohled z položky 118713xxxx, položky A a jedná se dříve popsanou prolínající formu. Vidíme, že existují dvě výrobní verze, které se liší použitým pracovištěm, resp. vstřikolisem. V tomto příkladu existují dvě odlišné, fyzické formy.



Obrázek 30 Popisovaná Prolínající se forma

Záv.	Materiál	Vý... Text	Bloko...	St...	Séri...	TypPost	Do velk.dávky	Alt...	P...	Skup.d...	Čt...	Sko.plánován...	Linka	Platí od	Platí do	Č., Typ ...	Klč rozdlení	Přijímací ská
0201	1187	0001 CZM	.Jeb...	CC	✓	Séri...	9.999.999,000			500	1	500	I	26.04...	31.12.9...	1	Sér...	0010
0201	1187	0002 CZM	.Jeb...	CC	✓	Séri...	9.999.999,000			500	2	500	I	11...	31.12.9...	2	Sér...	0010

Obrázek 31 Pohled transakce C223

Po rozbalení jednoho z výrobních postupů se již zobrazí karta výrobního postupu, tedy technologického postupu a lze vidět pro tento případ dvě operace. Jedna výrobní a jedna kontrolní.

Přehled operací												
Oper	PodO	Pracov.	Řídi...	D..	Krátký text operace	Zákl...	MJ	P...	St...	Je...	Pracovní čas	Je... Přípravný čas
<input type="checkbox"/>	0010	I		PQ01	<input type="checkbox"/> Vstrikovani	2,000	KS	0	22,	S	0	S 0,000
<input type="checkbox"/>	0200	I-		PP01	<input type="checkbox"/> ZMETKY	2,000	KS	0	0	S	0	S 0,000

Obrázek 32 Výrobní postup

Po označení výrobní operace č. 10 si lze zobrazit kartu pomocných výrobních prostředků, tedy těch nástrojů, které se společně používají s tímto hlavním strojem – vstřikolisem. V tomto případě se jedná o již zmíněné vstřikolisové formy. V poli vybavení je kód formy a níže zobrazeny parametry pro tuto formu. Důležitým parametrem v těchto polích je násobnost formy, zde 2+2 a počet ks ve formě. Toto přesně odpovídá zmíněným parametrům na obrázku č. 29 výše. Další parametry odpovídající řádku n-tý ve formě jsou již dodatečně naprogramované custom SAP pole. Ve standardní verzi SAPu se tyto pole nevyskytují. Tato pole jsou pouze informativní za účelem přehledu, jaké díly jsou pro tuto formu společné. Z pohledu SAPu tato hodnota není nikterak uvažována při MRP rozpadu i z toho důvodu, že se zde standardně nenachází. Nicméně z tohoto přehledu je zřejmé, že se touto formou vyrábí položky A-118713010870 a B-118713030870. Tento pohled opět odpovídá obrázku rozložení výstupů formy výše.

Obrázek 33 Detail výrobního postupu

Na následujícím obrázku lze vidět opět transakci C223 a výčet výrobních verzí, ale nyní při pohledu z položky B. Opět si lze potvrdit pohled výše, díky existenci více výrobních verzí než

při pohledu z položky B, jelikož lze A vyrábět pouze s B, nicméně B s A i C, proto existuje více výrobních verzí na jednotlivé stroje, kde lze formu použít.

Záv.	Materiál	Vy...	Text	Bloko...	St...	Séro...	TypPost	Do velk.dávky	At...	P...	Skup.d...	Čt...	Skp.plánován...	Linka	Platí od	Platí do	Č.	Typ ...	KIK rozdělení	Přijímací sk
0201	118	0001	CZM	I-V.Neb...	OC	✓	Séri...	9.999.999,000			500	1	500	I-	26.04...	31.12.9...	1	Sér...		00
0201	118	0002	CZM	I-V.Neb...	OC	✓	Séri...	9.999.999,000			500	2	500	I-	02.11...	31.12.9...	2	Sér...		00
0201	118	0003	CZM	I-V.Neb...	OC	✓	Séri...	9.999.999,000			500	3	500	I-	09.04...	31.12.9...	3	Sér...		00
0201	118	0004	CZM	I-V.Neb...	OC	✓	Séri...	9.999.999,000			500	4	500	I-	09.04...	31.12.9...	4	Sér...		00

Obrázek 34 Pohled transakce C223

V případě prvních dvou výrobních verzí se jedná o stejný pohled jako v předchozím případě, avšak provedený z položky B. Výsledek je tak stejný, jelikož se jedná o stejnou formu. Tato informace je však viditelná pouze díky custom polí na kartě PVP. Bez tohoto rozšíření by bylo definováno výrobní verze, že tento konkrétní pomocný výrobní prostředek – forma, je použita pro tento díl a lze ji použít na dvou různých vstřikolisech. Zbylé dvě výrobní verze definují druhou fyzicky existující formu, opět použitelnou na dvou vstřikolisech jako v prvních dvou případech. Při detailním zobrazení jejich karty lze však vidět na obrázku č. 34 odlišný výstup, nyní položky B a C. Opět jak bylo ukázáno na obrázku 33 – první/schéma.

Vybavení	F1	Typ	F	Forma													
Označení	Mezikus																
Status	INST																
Platí od	16. 11. 2007	Platí do	31. 12. 9999														
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Všeobecně Stanoviště Organizace Struktura Parametry Odbyt D... > ... </div>																	
Klasifikace <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>ČÍSLO FORMY</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Duplicita</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Násobnost</td> <td>2+2</td> </tr> <tr> <td>ks ve formě celkem</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>1. VE FORMĚ</td> <td>118</td> </tr> <tr> <td>2. VE FORMĚ</td> <td>118</td> </tr> </table>						ČÍSLO FORMY	32	Duplicita		Násobnost	2+2	ks ve formě celkem	4	1. VE FORMĚ	118	2. VE FORMĚ	118
ČÍSLO FORMY	32																
Duplicita																	
Násobnost	2+2																
ks ve formě celkem	4																
1. VE FORMĚ	118																
2. VE FORMĚ	118																

Obrázek 35 Detail výrobního postupu

A konečně pohled z poslední, třetí položky. Dle úvodního obrázku je položku C možno vyrábět pouze s B, a tedy pohled na výrobní verze bude v tomto pohledu obdobný jako u položky A,

kdy existují dvě výrobní verze díky možnosti výroby na dvou vstřikolisech. Dle takto vytvořených výrobních verzí lze v systému SAP evidovat, na kterém stroji se může konkrétní položka vyrábět v kombinaci s kterou formou. Jak bylo zmíněno v kapitole svázané výroby, SAP bohužel neuvažuje více výstupní typ výroby.

Při existenci objednávky na položku A a položku B by byly vygenerovány výrobní zakázky, jak na položku A, tak položku B, a to ještě dle první existující aktivní výrobní verze. Tedy SAP by neuvažoval o možnosti použití této formy na jiném stroji. Výsledkem by mohla být nadvýroba položky B a C, jelikož není u vygenerované zakázky položky A uvažováno také s výstupem položky B. Tato zakázka již částečně, či plně splní i požadavek výrobku B, v závislosti na množství výrobku A. Druhá vytvořená zakázka dle výrobku B by nejen zapříčinila opakovanou výrobu položky B, ale také výrobku C, pro který nemusí existovat zákaznický požadavek. Z tohoto důvodu v současné používané verzi datové struktury a napojení na APS systém, byla vytvořena dodatečná entita, nesoucí hodnotu tzv. hlavní položky.

V kapitole svázané výroby bylo zmíněno, že neexistuje při MRP rozpadu zahrnutí vícevýstupních položek a zjištění, jestli jiné vygenerované zakázky nemají na svém výstupu tutéž položku a nebylo by vhodné je deaktivovat, aby nedošlo k nadvýrobě. Tato hodnota je pevně definována ze strany plánovače, resp. správce kmenových dat, vycházející ze zkušenosti a určuje hlavní položku, jejíž zakázky budou vždy aktivní a všechny ostatní budou deaktivovány, pro opět pevně daný časový úsek.

Na základě popisu tohoto nastavení, pro tuto konkrétní formu, resp. tyto materiály, je možno rozklíčovat celý datový tok a transformace, které probíhají mezi ERP systémem, databází a plánovacím SW Asprovou.

Obrázky níže shrnují existující výrobní verze, a to z databázového pohledu. Podstatné je materiálové číslo, sloupec PLNAL označující výrobní verzi a EQU NR, číslo formy. Z tohoto pohledu je na první pohled zřejmé, jaké jsou společně vyráběné položky.

	MANDT	MATNR	PLNAL	EQU NR
1	700	1187101999		1 F123456
2	700	1187101999		2 F123456

Obrázek 36 SQL výstup pohled 1

	MANDT	MATNR	PLNAL	EQU NR
1	700	1187102999		1 F123457
2	700	1187102999		2 F123457
3	700	1187102999		3 F123456
4	700	1187102999		4 F123456

Obrázek 37 SQL výstup pohled 2

	MANDT	MATNR	PLNAL	EQU NR
1	700	1187103999		1 F123457
2	700	1187103999		2 F123457

Obrázek 38 SQL výstup pohled 3

Zmíněná entita určující hlavní položku je vidět na dalším obrázku, a to hodnota tohoto pole při pohledu z každé z těchto tří položek. Ať by byl pohled z A, B, či C, je zde pevně nastavena položka B, jak je zřejmé z třetího sloupce nesoucí tuto hodnotu.

	MANDT	MATNR	EQUNR
1	700	1187101999	1187103999
2	700	1187103999	1187103999
2	700	1187102999	1187103999

Obrázek 39 SQL výstup – pohled hlavní položky

Na základě této hodnoty jsou zneaktivněny výrobní zakázky, které nejsou pro položku B. Tedy dojde k zneaktivnění zakázek s hlavní položkou A a C v daném časovém rozsahu.

Na základě importovaných dat z ERP systému jsou v databázi data transformována do podoby pro APS systém. Z důvodu množství sloupců, které jsou generovány, jsou zobrazeny pouze ty, které jsou relevantní pro logiku tohoto datového toku. Tento výstup je ukázán níže a jedná se o pohled z položky B.

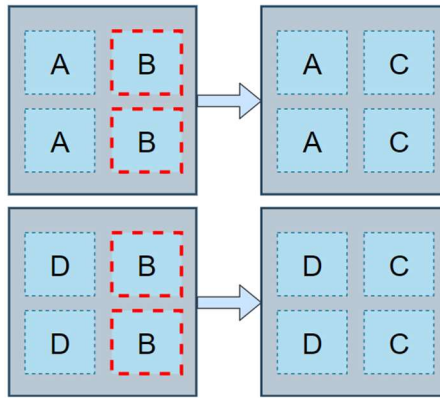
	lmaster_FinalIter	lmaster_Proc	lmaster_C	lmaster_Iter	lmaster_Task2	ValidCondition
1	1187103999	10	10	1187103999	2	NULL
2	1187103999	10	20	1187101999	2	ME.FirstOperations.CurrSelectorBom=='03' ME.FirstOperations.CurrSelectorBom=='04'
3	1187103999	10	30	1187102999	2	ME.FirstOperations.CurrSelectorBom=='01' ME.FirstOperations.CurrSelectorBom=='02'

Obrázek 40 SQL generovaný výstup do APS

Jedná se o pohled datového uspořádání APS systému. V prvním sloupci je definována hlavní položka, které se toto nastavení týká, resp. daný řádek, proto lze v prvním sloupci vidět duplicitní hodnoty. Třetí sloupec již říká, co je výstupem, v prvním sloupci se jedná o tu samou položku tedy B, stav, který bude vždy. Na druhém a třetím řádku si lze všimnout jiné výstupní položky. Toto opět odpovídá stavům, které mohou nastat, a to společné výroby B s A, či B s C. Čtvrtý sloupec definuje násobnost výstupu, v tomto případě 2. To přesně odpovídá počtu kavit dané formy.

Poslední, klíčový sloupec definuje podmínku výběru výrobní verze. Tedy hodnota PLNAL, která je ukázána na obrázcích výše. Z variant výrobních verzí pro položku mohou nastat stavy 01, 02, 03 a 04. Pokud je splněna tato podmínka, na společném výstupu bude buď položka A, v případě řádku 2 a splnění této podmínky, nebo položka C zapsána v řádku třetím. Jelikož podmínka v prvním řádku u položky není, bude B vyráběno vždy, přesně dle reálné formy, kdy B je vyrobeno vždy. Dle popsané logiky práce MRP s výrobními verzemi v první části této práce, je zřejmé, že bude při generování zakázek volena verze 01. Tím pádem, lze očekávat určení formy s výstupy [B, B]; [C, C] dle definované logiky. V APS systému lze ručně přepnout na druhou variantu.

Na druhém příkladě lze vidět více výrobních verzí z důvodu více výstupů a existence možnosti přestavby pomocí vložky. V tomto případě se jedná o první zmiňovanou přestavbovou formu.



Obrázek 41 Přestavbová forma

Opět lze přes transakci C223 dohledat výčet založených výrobních verzí. Tyto výrobní verze se liší tím, na jakém vstříkolisu je možno formu použít a také tím, jestli se jedná o formu reálnou, či fiktivní. Znak zavináče v textovém řetězci, názvu výrobní verze, je pouze určujícím znakem pro databázovou transformaci za účelem určování priority stroje v rámci APS systému, resp. výrobní verze. Tak jako je v prvním příkladě podmínka určování dle výrobní verze, je zde ještě dodatečná podmínka v APS systému zjišťující výskyt tohoto znaku a určení, který stroj, resp. forma má prioritu.

Podmínky výběru

Závod: Magna Exteriors

Materiál: 114

Disponent:

Rozhodný den:

Výrobní linka:

Typ postupu:

Skupina postupů:

Detail.plán.:

Plánování kvót:

Hrubé plán.:

Výrobní verze

Záv.	Materiál	Výr...	Text	Bloko...	Sta...	Sério...	TypPost	Do velik.dávky	Alt...	P...	Skup.de...	Čit...	Skp.plánován...	Linka	Platí od	Platí do	Č.	Typ p...
<input type="checkbox"/>	0701 11	0001	@N	Neb_	00	✓	Séri_				50	10	50	N	09.01.	31.12.9	10	Sér_
<input type="checkbox"/>	0701 11	0002	N-	Neb_	00	✓	Séri_				50	4	50	N	02.03.	31.12.9	4	Sér_
<input type="checkbox"/>	0701 11	0003	N	Neb_	00	✓	Séri_	9.999.999,000			50	1	50	N	10.10.	31.12.9	1	Sér_
<input type="checkbox"/>	0701 11	0004	N-	Neb_	00	✓	Séri_				50	3	50	N	02.03.	31.12.9	3	Sér_
<input type="checkbox"/>	0701 11	0005	N	Neb_	00	✓	Séri_	9.999.999,000			50	2	50	N	10.10.	31.12.9	2	Sér_
<input type="checkbox"/>	0701 11	0006	N	Neb_	00	✓	Séri_				50	19	50	N	09.01.	31.12.9	19	Sér_
<input type="checkbox"/>	0701 11	0007	N	Neb_	00	✓	Séri_	9.999.999,000			50	11	50	N	09.01.	31.12.9	11	Sér_
<input type="checkbox"/>	0701 11	0008	N-	Neb_	00	✓	Séri_				50	20	50	N	09.01.	31.12.9	20	Sér_

Obrázek 42 Transakce C223

Vybavení	F11	Typ	F	Forma
Označení	1			
Status	NZPŘ			
Platí od	04.01.2021	Platí do	31.12.9999	

Všeobecně Stanoviště Organizace Struktura **Parametry** Od... > ...

Klasifikace

ČÍSLO FORMY	11
Duplicita	1
Násobnost	2 + 2
ks ve formě celkem	4
1. VE FORMĚ	114
2. VE FORMĚ	114
3. VE FORMĚ	
4. VE FORMĚ	
5. VE FORMĚ	
6. VE FORMĚ	
7. VE FORMĚ	
8. VE FORMĚ	

Obrázek 43 Detail výrobní postup pohled 1

Vybavení	F11	Typ	F	Forma
Označení	Kryt			
Status	INST			
Platí od	04.01.2021	Platí do	31.12.9999	

Všeobecně Stanoviště Organizace Struktura **Parametry** Od... > ...

Klasifikace

ČÍSLO FORMY	114
Duplicita	1
Násobnost	2 + 2
ks ve formě celkem	
1. VE FORMĚ	
2. VE FORMĚ	
3. VE FORMĚ	
4. VE FORMĚ	
5. VE FORMĚ	
6. VE FORMĚ	
7. VE FORMĚ	
8. VE FORMĚ	

Obrázek 44 Detail výrobní postup pohled 2

Analogicky jako v prvním příkladě prolínající se formy, je na kartě pomocného výrobního prostředku zobrazena informace o násobnosti formy, tedy počtu výstupů a jaké díly mohou být na výstupu. Stále se jedná o informativní hodnoty, které nelze dále využít v rámci MRP rozpadu, či pro budoucí vyhodnocení.

4.2 Nedostatky vyplývající ze současného nastavení

Z popisu současného stavu, resp. datového toku ERP – DB – APS je zřejmé, že s určitým řešením je uvažováno. Jedná se o zneaktivnění plánovaných zakázek, dle hodnoty hlavní

položky. Určení této hodnoty je však statické, a i když se jedná o určité zlepšení vycházející se zkušenosti a vyšší četnosti objednávky pro danou položku, může nastat situace, kdy tato varianta nebude vhodná a bylo by zcela jistě vhodné ji nemít pevně danou, ale určenou na základě vyhodnocení. Není tak v databázi možné podívat se rozpadem přes všechny společně vyráběné položky, ale směr pohledu je tak přesně dán.

Toto nastavení a práce se zakázkami vychází z historického nastavení systému. V době, kdy neexistovalo takové množství forem, především přestavbových a s různým odváděním. Rozšiřování výroby a nutnost použití nových forem pro tato specifika zapříčinilo nutnost založení fiktivních verzí forem, aby původní funkcionality mohla fungovat i pro tyto případy. Nicméně s dalšími formami a složitějšími variantami toto řešení nebylo dostatečné a některé výsledky nebyly použitelné, či nebylo možno takto pevně definovat hlavní položku. Správa těchto dat s fiktivními formami byly časově náročné a struktura se stávala nepřehlednou. Některé výrobky, resp. formy nebylo tak možno dle stávající logiky transformovat a automaticky plánovat v APS systému a byl nutný ruční zásah. Směr, který jde proti logice těchto nástrojů. U těch položek, které do APS bylo možno importovat byl opět nutný ruční zásah plánovače, a to při přepínání výrobních verzí, resp. podoby výstupy, tak jak je zmíněno v prvním popsaném příkladu této kapitoly.

Ač toto nastavení generuje lepší výstup než základní MRP běh, s tím, jak se výroba vyvíjela, bylo nutno dodatečně upravovat data a ručního zásahu plánovače. Data začínala být nepřehledná a některé položky nebylo možno vůbec plánovat. Pevně definované hlavní položky omezily pohled pouze jedním směrem a zohlednily rozpad pouze té určené a zneaktivnily dle této hodnoty ostatní zakázky. Zcela jistě se jedná o výrazný posun oproti standardnímu MRP, nicméně se nejedná o kompletní pohled přes všechny položky. Z těchto důvodů bylo nutné přijít s novým řešením, které zpřehlední data, usnadní práci s nimi a umožní pohled přes všechny položky až k finálnímu vyhodnocení variant.

5 Návrh řešení

Z popisu problematiky plánování vícevýstupní výroby na základě výstupu MRP a popisu současného stavu vyplývá, že je třeba řešit dva problémy. Jak bylo v předchozích kapitolách zmíněno, jedná se o změnu datové struktury a poté způsob vyhodnocení a výběru vhodné varianty. Obecně lze tento problém definovat jako úlohu lineárního programování (LP). Bylo by tedy nutné definovat jasnou kritériální funkci, včetně všech omezujících podmínek, a to takovým způsobem, aby tento zápis platil pro všechny možné nastávající stavy a byl tak obecně použitelným. Avšak vzhledem k množství vstupních dat, existujících proměnných a kombinací, které nastávají je složitost takového řešení enormní, nejen z hlediska zápisu takové funkce, ale taktéž samotného výpočtu, resp. doby běhu. Další důvod složitosti této úlohy, je podmínka celočíselnosti, tedy transformace úlohy LP na úlohu celočíselného programování, kdy poté vzrůstá složitost algoritmu. Pro tyto úlohy se využívá například metoda větví a hranic. U této metody, ač je jedna z nejpoužívanějších, je při každém dalším kroku výpočtu vytvořena nová úloha LP mající o jedno vlastní omezení více a složitost algoritmu tak velmi rychle narůstá. Řešení úloh celočíselného programování patří mezi nejsložitější úlohy lineárního programování. [23]

Složitost a časová náročnost tvorby takové funkce, doba potřebná pro výpočet je vzhledem k tomuto projektu neefektivní z důvodu implementace v očekávaném čase a prakticky nelze tuto funkci zobecnit na řešený problém u zákazníka.

Zákazník taktéž musí být schopen tyto výsledky vyhodnotit ze svého pohledu a být schopen rozklíčovat, jakým způsobem a jakými kroky algoritmus vyhodnotil právě danou variantu jako tu nejlepší vhodnou za dané situace. Z výše uvedených důvodů byla zvolena cesta heuristického přístupu, kterým nemusí být nalezeno optimální řešení, ale však dostačující a výrazně lepší než výsledky současného stavu. Úloha tak bude definována dle základních parametrů (KPI), které jsou úlohou řešené. Tyto parametry mají za cíl sledovat nejen exaktnost řešení, ale dávají do souvislosti výrobní ukazatele a nastavené výroby v konkrétním podniku.

Návrh takového vyhodnocení sleduje určité množství KPI, které určují způsob vyhodnocení a jsou v rámci tohoto výpočtu vyhodnocovány. Tyto KPI souvisí právě s nastavením výroby a sledovanými výrobními ukazateli, jako je pokrytí zákaznických požadavků na určitý počet dní, velikost zásoby aj. Tento výpočet, po samotném MRP rozpadu, a tedy jakousi vyhodnocovací nadstavbou MRP algoritmu, probíhá pro přibližně třetinu výroby, tedy takového objemu zákaznických požadavků spadající do kategorie prolínajících se, přestavbových a jiných typů forem. Obecně těch forem, které mají různé výstupní, či vícenásobné položky, jak bylo popsáno v předchozích kapitolách. Všechny ostatní zakázky jsou generovány standardní cestou MRP a nejsou nikterak upravovány, pouze plánovaný kapacitně v daném APS systému. Aby bylo možno definované KPI sledovat a vyhodnotit, a tedy vidět veškeré kombinace výstupů daných zakázek, resp. forem, je nutná úprava datové struktury, jak bylo napsáno v úvodu této kapitoly.

5.1 Úprava datové struktury

Aktuální nastavení, tedy pevně určená hlavní položka, dle které se zneaktivní některé zakázky je nevyhovující, protože je omezen pohled rozpadu. Dále i přes použití entity fiktivních forem, z důvodu složitosti není možné některé formy plánovat v APS systému. Tato logika není dostačující na aktuální situace. Toto řešení bylo navrženo a uvedeno do provozu v situaci existence jednodušších verzí forem a jiné kombinatoriky. Správa těchto dat je taktéž časově náročná, jelikož je nutné spravovat výrobní verze, resp. jejich vazbu na PVP a udržovat ještě custom data pro obsah formy, zmiňované informativní pole.

Aby nemusel být pohled omezen pouze přes jednu položku a nemuselo být uvažováno s fiktivními formami a tato struktura by vyhovovala pro generování vstupu pro algoritmus vyhodnocení, bylo nutno v kooperaci se zákazníkem vytvoření nové entity. I přes to, že se jedná pouze o informativní pole – textový řetězec, jedná se o klíč, dle kterého lze spojit dohromady několik datových podkladů a získat tak pohled nejen přes jednu položku, ale i přes všechny další, pokud jsou sdílenými. Jde o případy prolínajících se forem.

5.1.1 Vytvoření nové entity

Vytvoření takové entity nebylo pouze jedinou možnou variantou řešení. Jelikož výrobní verze nesou, pouze informativně, v dodatečném poli možné výstupy formy, nebylo možno s tímto pracovat. Jednou z variant, jak toto vyřešit mohlo být vytvoření separátní matice obsahující všechny existující formy, jejich nastavení a další nutné parametry. Toto řešení by bylo zdlouhavé a nelehké na správu dat z pohledu správců kmenových dat. Dalším problémem bylo vyřešení přechodu na novou podobu dat, jelikož tato změna probíhala za běžící produkce a musela být zajištěna konzistence dat. Data taktéž nebylo možno měnit hromadě.

Bylo tedy na úrovni výrobní verze definováno nové pole. Z pohledu APS systému se jedná o pole skupiny technologických postupů. Dle obrázků níže je vidět, že je možno spojit různá materiálová čísla a jejich technologické postupy.

Detailní údržba výrobní verze

Závod: Magna Exteriors
Materiál: 106 DRZAK LEVY
Výrobní verze: 0001 2 Kontrola
26.01.2021

Výrobní verze

Blokování	pro kaž...	Přířazené čís.změny	
Od velikosti dávky		Do velikosti dávky	9.999.999,000 KS
Platí od	25.10.2014	Platí do	31.12.9999

Postupy

	Typ postupu	Skupina postupů	Čítač sk.post.	Stat.kont.
Detail.plánování	Sériový postup	50	2	○○■
Plánování kvót	Sériový postup	50	2	○○■
Hrubé plánování				

Obrázek 45 Pohled na kartu výrobní verze s novým polem

Tato data musela být revidována a doplněno nové textové pole ze strany správce kmenových dat. Jelikož tato změna probíhala za produkce, postupně budou výrobní verze obsahující fiktivní formy mazány, či zneaktivněny.

Struktura tohoto řetězce **277" F-S-T30" F1 "19-29-30-40_00-80" 7** je následující:

- **277**
 - Jedná se o unikátní číslo formy vedené v systému Magny
- **F-S-T30**
 - Konkrétní pracoviště/vstříkolis, na kterém je možno výrobek v kombinaci s touto formou vyrábět
- **F1**
 - Označení formy
- **19-29-30-40_00-80**
 - Materiálová čísla – 19, 29, 30 a 40 – koncová materiálová čísla, viz následující obrázky
 - Varianta a barva
- **7**
 - Výrobní verze

Závod	<input type="text"/>	Magna Exteriors
Materiál	<input type="text"/>	1C
Disponent	<input type="text"/>	Typ postup
Rozhodný den	<input type="text"/>	Detail.plán.
Výrobní linka	<input type="text"/>	Plánování kvót
		Hrubé plán.

Výrobní verze			
Záv.	Materiál	Vý...	Text
0201	106	0001	2 30-40_00-40
0201	106	0002	27
0201	106	0003	27 _00-80
0201	106	0004	27 _00-40
0201	10	0005	275 _ 40
0201	10	0006	26 00-80
0201	106	0007	26 _00-80
0201	106	0008	35)
0201	10	0009	35 00
0201	10	0010	35! _ 0
0201	106	0011	35 _ 0
0201	10	0012	27 0-80

Obrázek 46 Transakce C223 s novou entitou

Podmínky výběru		
Závod	<input type="text"/>	Magna Exteriors
Materiál	<input type="text"/>	106
Disponent	<input type="text"/>	Typ postup
Rozhodný den	<input type="text"/>	Detail.plán.
Výrobní linka	<input type="text"/>	Plánování kvót
		Hrubé plán.

Výrobní verze			
Záv.	Materiál	Vý...	Text
0201	106	0001	26 40
0201	106	0002	26 _ 40
0201	106	0003	27 30
0201	106	0004	27 40
0201	10	0005	27 _ 40
0201	10	0006	26
0201	10	0007	263
0201	10	0008	35
0201	10	0009	35 29_00
0201	10	0010	35
0201	106	0011	27 F2 19 _00-80
0201	106	0012	35 19-29_00

Obrázek 47 Transakce C223 s novou entitou

Podmínky výběru			
Závod	<input type="text"/>	Magna Exteriors	
Materiál	<input type="text" value="10"/>		
			Typ postu
Disponent	<input type="text"/>	Detail.plán.	<input type="text"/>
Rozhodný den	<input type="text"/>	Plánování kvót	<input type="text"/>
Výrobní linka	<input type="text"/>	Hrubé plán.	<input type="text"/>

Výrobní verze			
Záv.	Materiál	Vý...	Text
0201	106	0001	2€ I-40_00-80
0201	106	0002	2633
0201	10	0003	29-30-40_00-80
0201	10	0004	2 40_00-80
0201	10	0005	3 _80
0201	10	0006	3 30
0201	106	0007	3 _80
0201	106	0008	3 _80

Obrázek 48 Transakce C223 s novou entitou

Podmínky výběru			
Závod	<input type="text"/>	Magna Exteriors	
Materiál	<input type="text" value="11"/>		
			Typ postu
Disponent	<input type="text"/>	Detail.plán.	<input type="text"/>
Rozhodný den	<input type="text"/>	Plánování kvót	<input type="text"/>
Výrobní linka	<input type="text"/>	Hrubé plán.	<input type="text"/>

Výrobní verze			
Záv.	Materiál	Vý...	Text
0201	106	0001	-40_00-80
0201	106	0002	-40_00-80
0201	106	0003	2 I-80
0201	106	0004	2 -80
0201	106	0005	35
0201	106	0006	35
0201	106	0007	360
0201	106	0008	36

Obrázek 49 Transakce C223 s novou entitou

5.1.2 Starý vs nový datový pohled

Starý datový pohled ke své funkčnosti a vygenerování možných výstupů pole využíval entitu hlavní položky, jak bylo ukázáno v předchozí kapitole. Tato hodnota zneaktivnila všechny ostatní plánované zakázky a byla tedy fixním vstupem bez jakéhokoliv zhodnocení, jestli je za daných podmínek vhodné zneaktivnit tyto zakázky, a ne ty ostatní, dle společně vyráběných položek. Pokud by však tato entita neexistovala, nebylo by možné mít generovaný pohled zobrazený na obrázku č. 36 v předchozí kapitole.

5.1.3 Algoritmus vyhodnocení

Z důvodu nejen neexistence pohledu algoritmu MRP na všechny varianty vícevýstupní výroby pomocí vstříkolisových forem, ale také neexistující mechanismus hodnocení těchto parametrů, je třeba navrhnout výpočetní kroky, jak tyto varianty vyhodnotit. Historicky byly vyvinuty určité nadstavby a možné řešení, jež jsou zmíněné v kapitole č. 3, které však nejsou vhodné nejen pro generování požadavků, ale především v pohledu vyhodnocení.

Z dat ukázaných výše a kombinací, které mohou s jednotlivými formami nastat je zřejmé, že se jedná o značné množství kombinací. Kombinací, které je třeba vyhodnotit z více hledisek, a nejen z jednoho pohledu, jak je ukázáno na schématu pseudoalgoritmu níže. Ve své podstatě se jedná o velmi složitou optimalizační úlohu, jejíž složitost exponenciálně roste, jak bylo popsáno v úvodní části této kapitoly. Postup algoritmu je popsán v následujících kapitolách a demonstrován na ilustračním příkladu.

5.1.4 Schéma algoritmu

Schéma níže je rozděleno do několika kroků a následný popis ukazuje průběh jednoho cyklu tohoto výpočtu, který se postupně opakuje, až je dosaženo podmínky pro ukončení, jak bude zmíněno níže. Toto schéma bude nejprve popsáno obecně a poté demonstrováno na jednoduchém příkladě vzhledem k minimalizaci počtu provedených cyklů výpočtu.

Stejně jako v případě MRP algoritmu, jsou hlavním zdrojem zákaznické požadavky. V tomto případě se jedná již o výstup MRP výpočtu, tedy jednotlivé plánované zakázky o určitém generovaném množství dle definovaných velikostí dávek v ERP systému (1). Toto je zdroj dat určující pro další výpočty. Tato data jsou transformována a přepočtena dle aktuální situace, resp. ponížena o případné vygenerované zakázky po konci prvního cyklu běhu (2). V první cyklu jsou hodnoty zakázek vždy stejné, jako je vstupní tabulce. Tyto hodnoty jsou následně vstupem jednotlivých KPI.

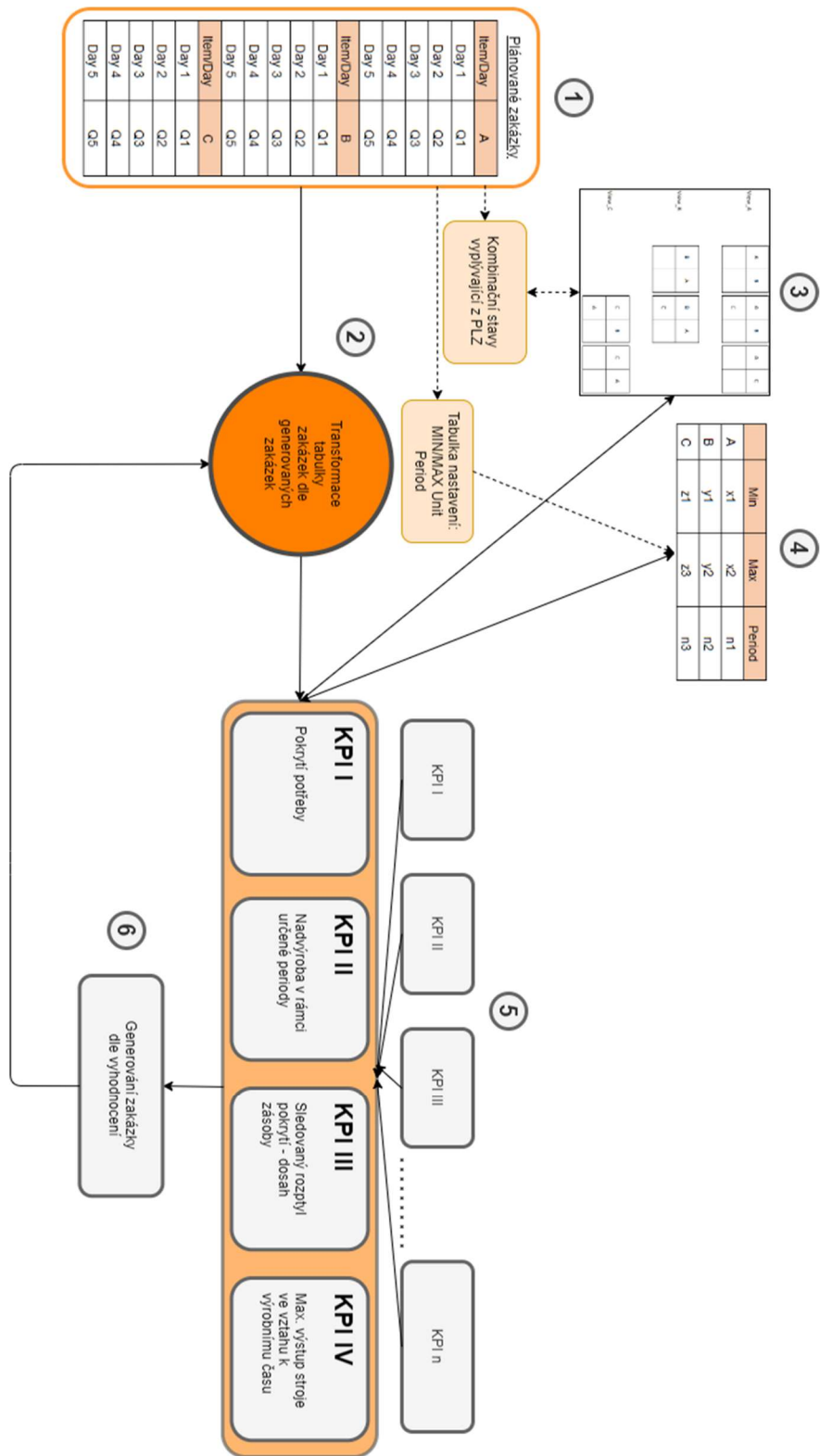
Dále dle vstupujících plánovaných zakázek, resp. potřebných položkách je zjištěna informace vygenerována díky nové datové entitě, a to všechny varianty, které pro tyto položky mohou nastat a které je třeba v rámci výpočtu zohlednit (3). Taktéž jsou na základě vstupních položek zjištěny hodnoty MIN a MAX dávky a Period (4), hodnota pro výpočet průměrného denní odběru. Hodnota, která bude využita v rámci výpočtu některého z KPI. Poté již probíhá samotný výpočet (5) a hodnocení, dle zvoleného KPI z pohledu první položky, určené dle pořadí, kdy má být výrobek hotov. V této části proběhne vyhodnocení dle vstupních kritérií. Jednotlivá KPI jsou v daném běhu pro existující varianty vyhodnocena a poté spolu tyto výsledné hodnoty vynásobeny mezi sebou, jelikož se jedná o relativní čísla, je možno je takto zkombinovat. Na základě té varianty, která má nejlepší výsledné skóre, je vygenerována plánovaná výrobní zakázka (6), které je poté importována do APS systému. Pokud má tato zakázka více výrobních verzí, tj. je možno ji přiřadit na stroj X, či Y je tato volba plně v režii APS systému. Informace o plánované zakázce je také promítnuta zpět v kroku (2) a zbývající množství na pokrytí těchto požadavků, dle periody výhledu, aktualizováno. Algoritmus ukončí svůj běh v momentě, kdy jsou tyto potřeby uspokojeny.

Hodnotící KPI jsou po diskusi se zákazníkem taková, aby byla relevantní k hodnocení forem a zároveň odrážela business stránku firmy, tedy ukazatele, které jsou pro společnost klíčové. Tyto ukazatele shrnuje obrázek níže.



Obrázek 50 Volená hodnotící kritéria

Postup výpočtu každého KPI je ilustrován na příkladě níže v další části této kapitoly.



Obrázek 51 Schéma hodnotícího algoritmu

5.1.5 Démonstrační příklad výpočtu

Pro ukázkou postupu výpočtu jednotlivých kroků je definováno následující vstupní zadání plánovaných zakázek v daném časovém období, které ukazuje tabulka níže a taktéž varianta formy. Pro tento případ je vybrána představbová forma, kde je možno zavírat jednotlivé kavity a ovlivnit tak výsledný výstup. Jedná se tedy o typ formy, který je reálně používán. Údaje pro tento případ jsou ilustrační a neodráží skutečné hodnoty výše plánované zakázky, ani rychlosti stroje uvažovaného ve výpočtu čtvrtého KPI.

Day	Item	QTY
1	A	5
2	A	15
3	A	5
4	A	0
5	A	5
1	B	3
2	B	5
3	B	0
4	B	15
5	B	10
1	C	0
2	C	0
3	C	2
4	C	4
5	C	8

Tabulka 4 Vstupy pro výpočet

Dále je definována varianta formy, jejíž výstupy jsou A, B a C s možností zavírání kavit všechny položky, kromě A. Tato forma a varianta, které je třeba hodnotit shrnuje tabulka č. 5. Tyto varianty jsou standardně generovány na straně databáze, kde kompletní výpočet probíhá.

Varianta formy			
F_1	A	B	C
F_1_B	A	C	
F_1_C	A	B	
Pohled z položky A			
A_1	A	B	
A_2	A	B	C
A_3	A	C	
Pohled z položky B			
B_1	B	A	
B_2	B	A	C
Pohled z položky C			
C_1	C	B	A
C_2	C	A	

Tabulka 5 Výstupy formy

Nejdříve probíhá výpočet z pohledu položky A, která je brána dle pořadí, kdy položka A je na prvním místě. Pohledy z každé položky jsou nutné z důvodu rozdílných velikostí dávek těchto položek. Tyto dávky a určující časovou periodu shrnuje tabulka č. 6. Pro položku A bude výsledná dávka 20, jelikož má definovanou periodu 2 dny, minimální velikost dávky je 5 a maximální 10 s unit hodnotou 5. Velikosti dávek mohou tak nabývat pro A pouze hodnot 10, 15 a 20. Z tabulky 4 je zřejmé, že suma požadavků s výhledem dvou dnů u položky A je rovna 20 a tak je pro další výpočty použita tato hodnota, tedy 20. Analogicky je proveden výpočet dávky pro zbývající položky, jejichž velikosti dávek budou 8 ks, resp. 2 ks.

	Unit	Min	Max	Period
A	5	10	20	2
B	1	5	10	2
C	2	2	8	3

Tabulka 6 Tabulka nastavení

Následně jsou vygenerovány jednotlivé varianty, které mohou na základě těchto objednávek nastat, při pohledu z každé položky v závislosti na formě.

Varianta formy			
F_1	A	B	C
F_1_B	A	C	
F_1_C	A	B	
Pohled z položky A			
A_1	A	B	C
A_2	A	B	
A_3	A	C	
Pohled z položky B			
B_1	B	A	C
B_2	B	A	
Pohled z položky C			
C_1	C	B	A
C_2	C	A	

Tabulka 7 Vygenerované výstupy

Poslední hodnotou využitou pro výpočty dle **KPI1** je hodnota průměrného denního odběru z týdenního výhledu. Tedy sumace jednotlivých hodnot požadovaného množství a vyděleno počtem dní pracovního týdne, tedy 5. Pro položku A je tato hodnota rovna 6 ks denně, resp. 7 a 3 pro B a C. Tato hodnota je taktéž vždy přepočtena v každém cyklu a bude se měnit.

V tomto momentě jsou známy a definovány nutné hodnoty pro začátek výpočtu dle **KPI 1**. Toto KPI uvažuje s pokrytím potřeb, dle velikosti dávky a časového výhledu – definované periody v tabulce 6. Nyní lze začít samotný výpočet. Jako první probíhá výpočet pro formu **ABC**, kde je nutno vyhodnotit každou položku ve formě. Nejprve tedy pro položku A, z pohledu A. V tomto kroku bude zjištěno pokrytí položky A se sumací průměrného odběru dle délky periody ve vztahu k velikosti dávky z pohledové položky. Pro A máme tedy velikost dávky 20ks a periodu 2 dnů. Průměrný odběr je 6ks. Poté je tedy podělena velikost dávky průměrným denním odběrem, vynásobeného délkou periody, tj. $20/2*6$. Dostáváme výsledek 1,66667. Výsledné hodnoty u pokrytí potřeb mohou nabývat maximálně hodnoty 1 a nadvýroba není v tomto kroku uvažována, jelikož je počítána separátně v **KPI 2**. V případě, že je hodnota větší než 1, automaticky je zadána hodnota 1. Pokud je nižší než 1, je zapsána tato hodnota. V tomto případě je hodnota 1 u všech variant, jelikož velikost dávky 20ks pokryje ve sledované časové periodě

tyto potřeby 100%, jak je viditelné na první pohled v tabulce č. 4. Následně by výpočet proběhl analogicky pro ostatní existující varianty, jehož podobu shrnuje tabulka níže. Výsledné hodnoty pro každé položky spadající pod danou variantu jsou mezi sebou vynásobeny a tato hodnota je uložena do tabulky shrnující všechny výsledné hodnoty jednotlivých KPI. Nyní proběhl běh prvního KPI, prvního cyklu kroku 5 znázorněného na obrázku č 50.

ABC		BAC		CBA	
A	1	B	0.571429	C	0.222222
B	1	A	0.666667	B	0.142857
C	1	C	0.888889	A	0.166667
	1		0.338624		0.0053
AB		BA		CA	
A	1	B	0.571429	C	0.222222
B	1	A	0.666667	A	0.166667
	1		0.380952		0.037037
AC					
A	1				
C	1				
	1				

Tabulka 8: Výsledky KPI 1

Nyní je možno přejít k dalšímu běhu pro výpočet **KPI 2**. Toto KPI vyhodnocuje velikost nadvýroby a je tedy počítáno pouze v případě, kdy je výsledná hodnota u **KPI 1** vyšší než 1. Výpočet je obdobný jako v předchozím případě. Dávka dílu, z kterého výpočet začíná, v tomto případě opět A, poníženo o součin periody a průměrného denního odběru, to vše děleno velikostí dávky. Tato hodnota je „převrácena“. Pro první hodnotu tedy $1 - (20 - 2 * 6) / 20$. Výsledná hodnota 0.6. Analogicky jsou opět vypočítány ostatní položky v rámci varianty a jednotlivé výsledky opět vynásobeny mezi sebou pro koncové **KPI 2**. Výsledné hodnoty shrnuje tabulka č. 9. Pro hodnoty, které nebudou počítány, tj. s danou dávkou nevzniká nadzásoba, je propsána hodnota 1.

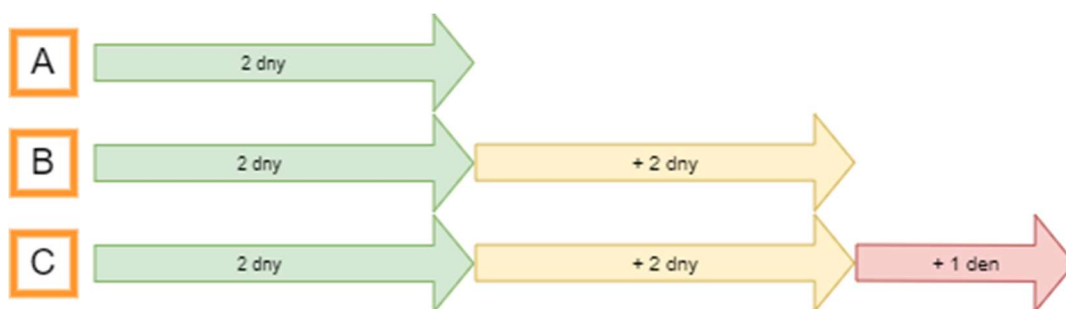
ABC		BAC		CBA	
A	0.6	B	1	C	1
B	0.7	A	1	B	1
C	0.45	C	1	A	1
	0.189		1		1.0000
AB		BA		CA	
A	0.6	B	1	C	1
B	0.7	A	1	A	1
	0.42		1		1
AC					
A	0.6				
C	0.3				
	0.18				

Tabulka 9: Výsledky KPI 2

Tyto hodnoty jsou propsány do tabulky shrnující jednotlivá KPI, jak bude ukázáno po konci výpočtů prvního běhu. Třetím počítaným KPI je rozptyl. Tato hodnota sleduje časový rozptyl spotřeby společně vyráběných položek. Opět je uvažována hodnota rozptylu z pohledové položky a dělena počtem dní na jak dlouho je pokryta položka, která je vyhodnocována, díky velikosti dávky pohledové položky. Tato hodnota opět může nabývat maximální hodnoty rovnu 1, v případě, že je výsledek větší, je zapsána hodnota 1. opět z pohledu první položky je perioda výhledu 2 dny a velikost dávky 20ks, v tomto případě je pokrytí přesně na 2 dny, tj. výsledná hodnota KPI 3 je rovna 1. Stejným postupem výpočtu je výsledek u položky B roven 0.5. Velikost dávky 20ks pokryje požadavek u B na první den roven 3, dále druhý den roven 5, třetí

den, jelikož nemá požadavek a částečně i požadavek čtvrtého dne, který je roven 15ks. Proto je v tomto případě výsledná hodnota rovna $2/4$, tj. 0.5. Pro položku C je to obdobné, kdy za celkové sledované období položky C je kumulovaný požadavek roven 14 ks, tj. dávka 20ks pokryje celé týdenní období, odtud $2/5$, tj. 0.4.

Jak je z obrázku níže zřejmé, ideální je tedy takový stav, kdy dle velikosti dávky z pohledové položky dojde ke spotřebě ve stejném časovém úseku, v tomto případě 2 dnů. Čím dále „zasahuje“ velikost dávky do budoucna, tím déle se ostatní položky, v tomto případě B a C nacházejí na skladě. Z toho KPI lze tedy konstatovat, že v případě výroby dle této varianty, resp. zakázky s velikostí dávky 20ks bude položka B na skladě 4 dny, než dojde k její plné spotřebě/expedici, resp. 5 dní v případě výrobku C.



Obrázek 52 Schéma rozptylu

Výsledné hodnoty shrnuje následující tabulka.

ABC		BAC		CBA	
A	1	B	1	C	1
B	0.5	A	1	B	1
C	0.4	C	0.4	A	1
	0.2		0.4		1
AB		BA		CA	
A	1	B	1	C	1
B	0.5	A	1	A	1
	0.5		1		1
AC					
A	1				
C	0.4				
	0.4				

Tabulka 10: Výsledky KPI 3

Posledním KPI je zhodnocení rychlosti stroje s danou formou v poměru k množství výstupu. Forma, jenž má na výstupu více položek může být pomalejší, jelikož každá z kavit musí být například separátně očištěna, nahřáta apod. Jde zde tedy pro jednotlivé varianty, dle forem v poměru rychlost sledované varianty a nejrychlejší varianta. Dále je v tomto kroku vypočten poměr výstupu, tedy celkové množství kusů, které bude vyrobeno s danou variantou v poměru s nejvyšším možným kusovým výstupem. Pro tento příklad formy ABC s uzavíratelnými kavitami jsou definovány tyto hodnoty. Rychlost pro všechny otevřené kavitě je rovna 120s a pro zavřenou kavitě B, resp. C je rovna 100s. Čas je nižší, jelikož je otevřen menší počet kavit. Celkový výstup za tuto dobu je 20ks u AB, resp. AC a 30ks u ABC. Následně dojde k výpočtům popsanými výše. Tyto mezivýsledky opět vynásobeny mezi sebou a zapsány do tabulky celkových KPI. Výsledek pro ABC je roven 0.83, resp. 0.67 pro AB a AC.

Tato KPI jsou udržována v separátní tabulce a následně vynásobeny mezi sebou pro jednotlivé varianty za účelem získání jedné, finální hodnoty, která určí, pro jakou variantu má být zakázka vygenerována s velikostí dávky příslušící dané variantě. Tento pohled shrnuje tabulka 11 a je tak výsledkem prvního cyklu.

Variant	KPI_1	KPI_2	KPI_3	KPI_4	FINAL
A_1	1.000	0.189	0.2	0.833	0.032
A_2	1.000	0.420	0.5	0.667	0.140
A_3	1.000	0.180	0.4	0.667	0.048
B_1	0.339	1.000	0.4	0.833	0.113
B_2	0.381	1.000	1.000	0.667	0.254
C_1	0.005	1.000	1.000	0.833	0.004
C_2	0.037	1.000	1.000	0.667	0.025

Tabulka 11 Výsledek prvního cyklu

Na základě výsledku této tabulky je vygenerována zakázka na 8ks. Tato hodnota je následně využita pro ponížení tabulky požadavků a dojde tak ke kroku číslo 2 zmíněného na schématu algoritmu na obrázku č. 50. Tato transformovaná tabulka vypadá následovně a stejně tak lze vidět přepočtené průměrné denní odběry, které se samozřejmě také změnily.

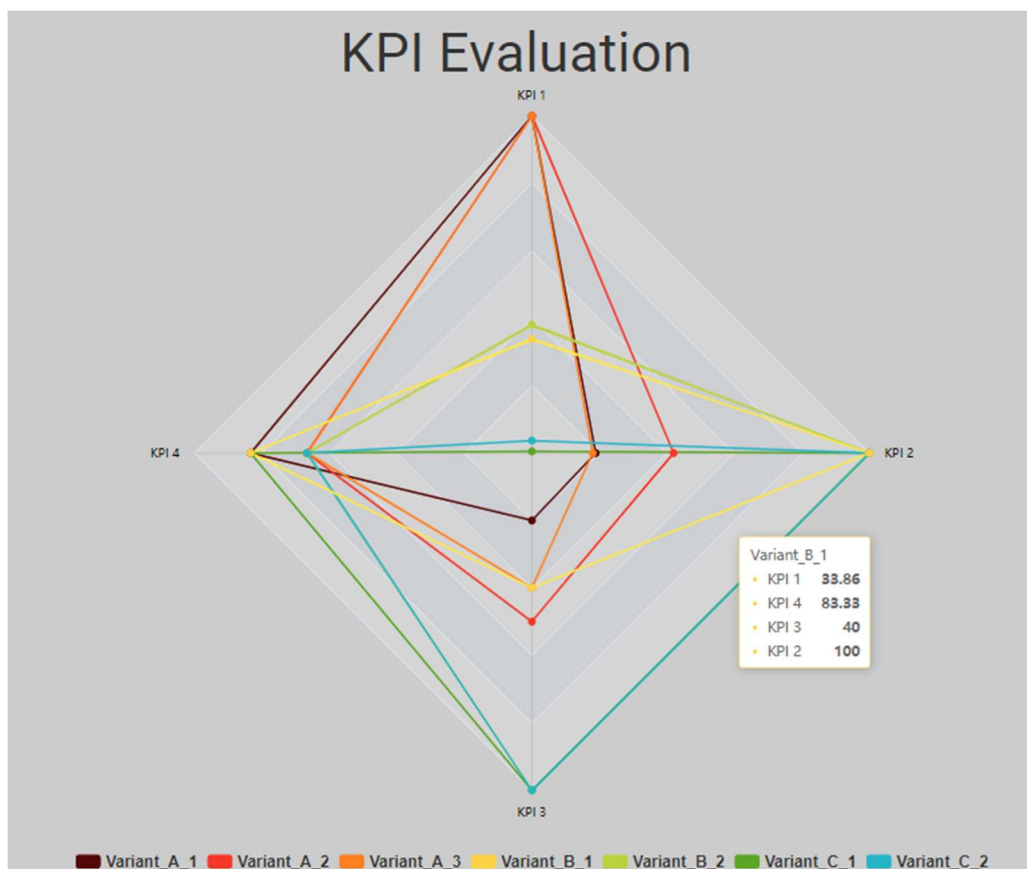
Day	Item	QTY
1	A	0
2	A	7
3	A	5
4	A	0
5	A	5
1	B	0
2	B	0
3	B	0
4	B	15
5	B	10
1	C	0
2	C	0
3	C	0
4	C	0
5	C	6

AvgOdber	
A	3
B	5
C	1

Tabulka 12: Vstup druhého cyklu

Tento postup výpočtu jednotlivých KPI, jak je ukázáno na tomto ilustračním příkladě, byl proveden na větším vzorku dat, jenž shrnuje tabulka 13.

Jelikož je nutné, aby bylo dobře rozpoznat, které KPI má největší dopad, je možno výsledné hodnoty vizualizovat například pomocí radarového grafu. Dle viditelnosti tohoto dopadu jednotlivých KPI budou v součinnosti se zákazníkem definovány váhy jednotlivým KPI, dle jejich důležitosti a aktuální situace.



Obrázek 53 Celkové vyhodnocení pomocí radarového grafu [visual paradigm online]

5.1.6 Přínosy navrženého řešení

Prvním přínosem tohoto řešení pro společnost Magna je již vyřešení prvního problému, a to nutnost existence nové datové entity, která shrnuje výrobní verze a je klíčem pro generování kombinačních stavů, které jsou následně vyhodnocovány. Existence této entity byla podmíněna vyčištěním dat a přiřazením této hodnoty ke správným výrobním verzím. Nejen, že byl zákazník nucen svá data revidovat a zkontrolovat, ale také byly nahrazeny fiktivní formy v rámci výrobních verzí. To má jednoznačný přínos v přesnosti systémového nastavení, které nyní datově odráží realitu. Společně s eliminací fiktivních forem odpadá původní funkcionalita určování hlavní položky, a tedy omezeného pohledu na ostatní kombinačních varianty, které byly původně pevně dány.

Druhým přínosem, vyplývajícím již ze samotného výpočtu vhodných variant, je urychlení práce plánovače, nejen z hlediska volby těchto variant, ale také ručního výběru výrobních verzí, včetně fiktivních forem. Po konzultaci s plánovači, při testování a tohoto vyhodnocování byla zjištěna úspora času práce v řádu třiceti až čtyřiceti minut denně v rámci probíhající implementační fáze, jejíž výsledky budou v následujících týdnech vyhodnoceny, kde lze očekávat úsporu času, materiálu, snížení skladové zásoby a jiné očekávané přínosy tohoto řešení.

Jako výhodu lze považovat i tento heuristický přístup, který nemusí generovat lepší výsledky než v případě matematického přístupu, nicméně vzhledem k náročnosti je toto řešení vhodnější. Hlavní výhodou tohoto přístupu je jistě uchopitelnost ze strany zákazníka a zpětné rozklíčování důvodů, proč byla algoritmem zvolena daná konkrétní varianta a lze tyto výsledky ladit nejen zvolením dalších hodnotících KPI, ale především změnou uvažovaných vah. Tedy uživatelská přístupnost, kdy i přes složitost řešeného problému, je významným přínosem než v případě generování výsledků složitým optimalizačním algoritmem, který ale nelze ze strany zákazníka rozklíčovat a musí tak výsledkům plně důvěřovat.

6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo nejen ukázat možné problémy spojené s plánováním vícevýstupní výroby a navržení možného řešení, ale také shrnout historický vývoj a v dnešní době nejčastěji používané softwarové nástroje, které toto odvětví značně ulehčují a nelze si bez nich představit fungování ani v případě malých podniků.

V první části práce je definován pojem plánování výroby a historický vývoj podpůrných nástrojů. Pojem, který je známý, ale ne každý ví, o jakou komplexní záležitost a složitý proces se jedná. Nejen z pozice plánovače výroby, ale také ze strany systému, respektive datového podkladu. Proto je tato část zaměřena na popis situace, která by nastala bez využití těchto nástrojů a následně popsán přínos, v případě zavedení takového systému, jakož i jejich synergie a přímý dopad na plánování výroby, resp. řízení firmy. Jak je však v první kapitole práce zmíněno, komplexita a některé typy výrobních postupů nelze stoprocentně obsáhnout datovým popisem v rámci těchto systémů a lze se setkat s možnými omezeními. Proto byl v této části definován pojem svázaná výroba, jako jedno z omezení a konkretizován pro výrobu pomocí vstříkolisových forem.

V druhé části již byla popsána společnost, která vyrábí tímto způsobem a naráží na zmíněná omezení. Po představení společnosti jsou popsány využívané nástroje pro plánování a řízení a jejich datový podklad s vazbou na svázanou výrobu. Díky znalosti datových podkladů této společnosti, bylo možno ukázat výčet vstříkolisových forem a konkrétně ukázat varianty, které při výrobě nastávají, jako i jejich způsob evidování v ERP systému. Po tomto popisu a ukázce konkrétních příklad byl popsán současný stav a jakým způsobem jsou tato omezení řešena a vypsány důvody pro potřebu implementace řešení nového. Jak z pohledu datového, tak pohledu vyhodnocovacího.

Ve třetí, hlavní části práce, je navrženo řešení dvou hlavních problémů vyplývajících ze současného stavu. Řešení prvního problému, a to generování kombinačních variant výstupů vstříkolisových forem, bylo nutnou podmínkou pro možnost návrhu řešení druhého problému – vyhodnocení těchto existujících variant. První problém byl řešen pomocí nové datové entity, klíče, který v rámci databáze spojuje výrobní verze jednotlivých materiálů a zároveň odstraňuje vedlejší omezení současného nastavení, jak je v této kapitole popsáno. Po splnění této části bylo možno přistoupit k řešení vyhodnocení těchto variant. Problém, který lze řešit více způsoby, a to čistě matematickým způsobem, či přístupem více uchopitelným nejen z hlediska návrhu, ale také srozumitelnosti a čitelnosti pro koncového zákazníka, tedy společnost Magna.

Z důvodů enormní složitosti matematického přístupu k řešení tohoto problému, byl zvolen přístup heuristický a definovány výpočetní postupy, které hodnotí jednotlivé varianty z několika pohledů. Pohledů, které jsou pro společnost klíčové a mají zásadní dopad na úspěšné a efektivní řízení výroby. Navržený postup byl nejprve popsán v rámci schématu, kde jsou ukázány jednotlivé kroky výpočtu a vazby mezi těmito kroky. Tyto výpočty byly následně provedeny na ilustračním příkladě a detailně popsány jednotlivé výpočetní kroky vycházející z daného schématu, resp. návrhu algoritmu.

V aktuální podobě algoritmus generuje výsledky na základě zákaznických vstupů a je testován a hodnocen a připomínkován ze strany zákazníka, který je jediný schopen vyhodnotit správnost generované varianty. Přínos navrhovaného řešení se odráží nejen v automatizovaném vyhodnocení všech variant a zvolení té vhodné, pro konkrétní situaci, ale taktéž přínosy vedlejší, kdy došlo k vyčištění starých dat v systému a celková revize datového podkladu.

Vzhledem k důležitosti této problematiky a možnosti využití v budoucích projektech, by bylo vhodné na této problematice dále pracovat, rozvést ji a použít ji jako vstupní bod, pro rozšíření tohoto algoritmu a otestování na více druzích svázané výroby, jak bylo popsáno v druhé kapitole této práce. Možnými následujícími kroky by mohla být samostatná aplikace, mimo SQL databázi, která by nebyla definována pouze pro výrobu pomocí vstříkolisových forem, ale dostatečným zobecněním, při zadání vstupních parametrů a hodnotících KPI, a tedy vývoj stand-alone nástroje řešící tuto problematiku.

Seznam použitých zdrojů

- [1] PROUTY, Kevin a Nick CASTELLINA. To ERP or NOT to ERP. *Aberdeen group* [online]. 2011, 2011, **2011**(1), 13 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://ellipsesolutions.com/wp-content/uploads/2017/02/To-ERP-or-Not-to-ERP-White-Paper.pdf>
- [2] PERRY, Courtney. 5 Reasons Why Your Manufacturing Company Needs ERP. *Workwise* [online]. Millwaukee: Workwise, 2018 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.workwisellc.com/blog/5-reasons-why-your-manufacturing-company-needs-erp/>
- [3] JUNEJA, Prachi. Enterprise resource planning. Management study guide [online]. Management Study, 2015 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.managementstudyguide.com/enterprise-resource-planning.htm>
- [4] DOE, John. 7 disadvantages of scheduling in Excel. *Shiftbase* [online]. Shiftbase, 2018 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.shiftbase.com/blog/7-disadvantages-of-scheduling-in-excel/>
- [5] KARLOWITSCH, Elmar. Operational Production Scheduling With Excel: Chances And Limitations. *Shiftbase* [online]. JustPlanIt, 2016 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.just-plan-it.com/smb-production-scheduling-blog/operational-production-scheduling-with-excel-chances-and-limitations>
- [6] LUPEIKIENE, Audrone, Gintautas DZEMYDA, Ferenc KISS a Albertas CAPLINSKAS. Advanced Planning and Scheduling Systems: Modeling and Implementation Challenges [online]. In: . 2014, s. 35 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: doi:10.15388/Informatica.2014.31D
- [7] LITTERAL, Lewis A. a Patrick J. RONDEAU. Evolution of Manufacturing Planning and Control Systems: From Reorder Point to Enterprise Resource Planning. *Production and Inventory Management Journal* [online]. 2001, 2001, 1-8 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/43918196D>
- [8] KEMP, Alex. Joseph Orlicky: Hero of Material Requirements Planning. *QAD Blog* [online]. 2020, 17.5.2018 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.qad.com/blog/2018/05/joseph-orlicky-hero-materials-requirements-planningD>
- [9] BASL, J., BLAŽÍČEK, R. Podnikové informační systémy: podnik v informační společnosti. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4307-3D
- [10] MESA Model [online]. [Cit. 3.12.2020]. Dostupné z <https://www.mesa.org/en/modelstrategicinitiatives/MESAModel.asp> D
- [11] KJELSDOTTER IVERT, LINEA. Use of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems to support manufacturing planning and control processes. Göteborg, Sweden, 2012. Disertation. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- [12] COLUMBUS, Louis. Which ERP Systems Are The Most Popular With Their Users In 2020? *Forbes* [online]. 2020, 28.4.2020 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2020/04/28/which-erp-systems-are-the-most-popular-with-their-users-in-2020/?sh=20a9bb3279c9>
- [13] Best ERP Systems [online]. [Cit. 3.12.2020]. Dostupné z <https://www.g2.com/categories/erp-systems>
- [14] Answers SAP [online]. 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://answers.sap.com/questions/10217315/multiple-finished-goods-in-a-single-production-ord.html>
- [15] OdoO [online]. 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.odoo.com/forum/help-1/creating-multiple-finished-products-from-one-manufacturing-order-v11-127093>

- [16] VELMURUGAN, Saravanavelu. SAP PP Routing. ERProof [online]. 2017, 2017, 2017, 1 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://erproof.com/pp/sap-pp-training/sap-pp-routing/D>
- [17] Help SAP [online]. 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://help.sap.com/viewer/c06d6cb63eb244dfa60d606db2cae9fa/6.00.31/en-US/af04b753128eb44ce10000000a174cb4.html>
- [18] Help SAP [online]. 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://help.sap.com/doc/95e8c353b677b44ce10000000a174cb4/3.6/en-US/frameset.htm>
- [19] Help SAP [online]. 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://help.sap.com/doc/7205b753128eb44ce10000000a174cb4/1610%20002/en-US/d7cec353b677b44ce10000000a174cb4.html>
- [20] Help SAP [online]. 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://help.sap.com/viewer/85d3fce10e264972a0155c8b46ecf93b/6.17.17/en-US/6c24c55368511f4be10000000a174cb4.html>
- [21] Magna [online]. 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: www.magna.com
- [22] BOBEK, Jiří. Vstříkovací formy pro zpracování termoplastů [online]. 2016. Střední odborné učiliště Svitavy: Publi, 2016 [cit. 2020-12-05]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
- [23] KUBIŠOVÁ, Andrea. Podpora výuky předmětu Operační výzkum pro bakalářské studium s ekonomickým zaměřením. Brno, 2016. Disertace. Masarykova univerzita Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Zdeněk Karpíšek.