

Simulační modely efektivního řízení toku materiálu pomocí systému KANBAN

Martin Vybíral

Bakalářská práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav informatiky a umělé inteligence

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin Vybíral**
Osobní číslo: **A18241**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Inteligentní systémy s roboty**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Simulační modely efektivního řízení toku materiálu pomocí systému KANBAN**
Téma práce anglicky: **Simulation Models of Effective Material Flow Control Using the Kanban System**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Popište vybrané typy (principy) řízení výroby pomocí nástroje KANBAN. Uvedte příklady využití v praxi.
3. Sestavte počítačové modely vybraných typů (principů) řízení výrobních procesů s pomocí KANBAN systému.
4. Navrhněte plán vhodných simulačních experimentů. Provedte simulační experimenty na sestavených modelech.
5. Zhodnoťte výsledky simulačních experimentů.
6. Definujte závěry, požadavky a doporučení pro reálné nasazení systému KANBAN v reálné praxi.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. GROSS, John M. a MCINNIS, Kenneth R. Kanban made simple: demystifying and applying Toyota's legendary manufacturing process. New York: AMACOM, 2003, 259 s. ISBN 0-8144-0763-3.
2. BILÍK, Tomáš. Řízení materiálového toku pomocí elektronické podoby metody Kanban. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, 38 s. Doctoral thesis summary. ISBN 978-80-7454-050-9.
3. DLOUHÝ, Martin. Simulace podnikových procesů. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1649-4.
4. ŘEPA, Václav. Podnikové procesy: procesní řízení a modelování. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007, 281 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-2252-8.
5. TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci. Praha: Grada, 2014, 366 s. Expert. ISBN 978-80-247-4486-5.
6. Lenort, R. Průmyslová logistika. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2584-7
7. LIKER, Jeffrey K. Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008, 390 s. ISBN 978-80-7261-173-7
8. JUROVÁ, Marie. Výrobní a logistické procesy v podnikání. Praha: Grada Publishing, 2016, 254 s. Expert. ISBN 978-80-247-5717-9.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bc. Bronislav Chramcov, Ph.D.**
Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
garant oboru

Ve Zlíně dne 15. ledna 2022

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 18. května 2022

Martin Vybíral, v. r.

ABSTRAKT

Obsahem bakalářské práce je obecný popis metody řízení toku materiálu kanban a popis vybraných typů této metody. V rámci práce byly vytvořeny jednoduché simulační modely pro vybrané typy metody kanban. Součástí této práce jsou příklady experimentů na vytvořených modelech. Vlastní modely jsou sestaveny v software Witness.

Klíčová slova: kanban, Witness, počítačová simulace, simulační model

ABSTRACT

The content of the bachelor thesis is a general description of the kanban material flow control system and a description of selected types of this system. Simple simulation models for selected types of kanban system were created within the thesis. Part of this thesis are examples of experiments on created models. Custom models are compiled in Witness software.

Keywords: kanban, Witness, computer simulation, simulation model,

Poděkování

Zde bych chtěl poděkovat doc. Ing. Bc. Bronislavu Chramcovovi, Ph.D. za trpělivost, odborné rady a podnětné připomínky, které mi pomohly při vypracování této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1 ŠTÍHLÁ VÝROBA.....	10
1.1 ZTRÁTY.....	10
1.2 ELIMINACE ZTRÁT.....	11
2 KANBAN.....	12
2.1 POPIS METODY.....	12
2.1.1 Pohyb materiálu a oběh karet v kanbanovém okruhu.....	14
2.1.2 Pravidla kanbanu.....	14
2.1.3 Dodavatelské a odběratelské pracoviště.....	14
2.1.4 Kanbanová karta.....	15
2.1.5 Varianty autorizačních signálů.....	16
2.1.6 Vzorce pro výpočet počtu karet v kanbanovém okruhu.....	17
2.1.7 Přpravka.....	19
2.1.8 Výhody a nevýhody.....	20
2.2 TYPY METODY KANBAN.....	21
2.2.1 Jednokartový kanbanový okruh.....	21
2.2.2 Duální kanbanový okruh.....	22
2.2.3 Dvou košový kanban.....	24
2.2.4 Transportní kanban.....	24
2.2.5 Výrobní kanban.....	24
2.2.6 Elektronický kanban.....	29
2.3 NASAZENÍ KANBANU.....	29
2.4 HISTORIE.....	31
3 SOFTWARE WITNESS.....	32
3.1 PŘEHLED ELEMENTŮ PROGRAMU WITNESS.....	33
3.1.1 Základní elementy.....	33
3.1.2 Elementy pro přesun součástí.....	35
3.1.3 Podpůrné a ostatní Elementy.....	35
3.2 PRAVIDLA (RULES).....	36
3.3 NĚKTERÉ DALŠÍ VÝHODY PROGRAMU WITNESS.....	38
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	39
4 SIMULAČNÍ MODEL Y KANBANOVÝ OKRUHŮ.....	40
4.1 JEDNOKARTOVÝ KANBANOVÝ OKRUH.....	41
4.1.1 Popis sestavení modelu.....	46
4.2 JEDNOKARTOVÝ KANBANOVÝ OKRUH S DÁVKOVÝM ZPRACOVÁNÍM KARET.....	47
4.2.1 Popis sestavení modelu.....	49
4.3 DUÁLNÍ KANBANOVÝ OKRUH.....	50
4.3.1 Popis sestavení modelu.....	53
5 SIMULAČNÍ EXPERIMENT Y.....	55
5.1 DÁVKOVÉ ZPRACOVÁNÍ.....	55
5.1.1 Cíl simulace.....	55

5.1.2	Popis provedení simulačního experimentu	55
5.1.3	Vyhodnocení experimentu	58
5.2	SNÍŽENÍ ZÁTĚŽE SKLADU	58
5.2.1	Cíl simulace.....	58
5.2.2	Popis provedení simulačního experimentu	58
5.2.3	Vyhodnocení experimentu	60
5.3	URČENÍ POČTU KARET VE STOCHASTICKÉM MODELU DUÁLNÍHO KANBANOVÉHO OKRUHU	61
5.3.1	Cíl simulace.....	61
5.3.2	Popis provedení simulačního experimentu	61
5.3.3	Vyhodnocení experimentu	67
6	DOPORUČENÍ PRO REÁLNÉ NAsAZENÍ KANBANU.....	68
	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	71
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	74
	SEZNAM OBRÁZKŮ	75
	SEZNAM TABULEK.....	76

ÚVOD

Efektivní řízení výroby a eliminace ztrát dle konceptu štíhlé výroby může v dnešním tržním hospodářství znamenat výhodu oproti konkurenci. Jedním ze způsobů, jak toho lze dosáhnout, je zavedení řízení materiálových toků metodou kanban.

Cílem této práce je popsat princip fungování metody kanban a jejích typů. Dále určit, jaké jsou praktické možnosti nasazení daných metod a jak se bude chovat výrobní proces řízený danou metodou.

Druhým cílem je vytvoření simulačních modelů, na kterých by se dalo simulovat reálné nasazení metody kanban. Za tímto účelem jsou v rámci praktické části práce sestavovány diskrétní simulační modely, které umožňují simulovat fungování základních okruhů několika typů metody kanban. Při sestavování modelů je kladen důraz na jejich rychlé a snadné nastavení a na rychlé a přehledné zobrazení výsledků simulací, dále na možnost ukládání výsledků pro pozdější vyhodnocení.

Protože výše zmíněné modely jsou sestavované v simulačním programu Witness, je v rámci teoretické části práce kapitola, které se věnuje tomuto programu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ŠTÍHLÁ VÝROBA

1.1 Ztráty

Výrobní podniky jsou zakládány za účelem vytváření zisku, vytváření zisku je též podmínka k dlouhodobému přežití podniku. Zisk je rozdíl mezi výdaji a náklady, přičemž nákladů může být vícero druhů. Na jedné straně jsou zjevné náklady, jako například mzdové náklady, ceny surovin a energií, náklady na pronájem budov apod. K dalšímu druhu nákladů patří různé druhy plýtvání a ztrát. Právě plýtvání a ztrátám se snaží zabránit výrobní metodika štíhlá výroba. Dle této metodiky, je ve výrobním procesu ztráta jakákoliv činnost, která nezvyšuje hodnotu výrobku. [1]

Přesněji lze dané ztráty specifikovat následně:[1]

Nadvýroba: Výroba, která není podložena objednávkami, vyvolává ztráty v podobě přezaměstnanosti, dopravních a skladovacích nákladů nadměrných zásob.

Čekání (disponibilní čas) – Nevyužití pracovní doby v důsledku vyčerpání zásob, zpoždění procesů, prostojů, poruch, případně kapacitních problémů.

Doprava a přemístování, které nejsou nutné: Špatné zorganizování výrobních procesů, které způsobuje nadměrné přemístování materiálu, případně využívání různých meziskladů mezi procesy.

nadměrné či nepřesné zpracování: Ztráty způsobené neefektivní technologií výrobního procesu. Ztrátou je i výroba na vyšší jakost, než je nezbytně nutné.

nadbytečné zásoby: Nadbytečné zásoby surovin, rozpracované výroby i hotového zboží.

zbytečné pohyby: Špatná organizace práce, např. neustálé dohledávání náradí, zaskládání potřebného materiálu apod.

vady: Přímé ztráty ve formě vyřazených zmetků, ale též ztráty v důsledku oprav, náhradní výroby, prostojů kvůli vyřazeným polotovarům.

nevyužitá tvořivost zaměstnanců

Pokud se podaří dané ztráty omezit, či odstranit, je poté možno i s menší výrobní kapacitou zvětšit objem výroby. Dalším benefitem, je zkrácení doby od vystavení objednávky po realizaci zakázky neboli rychleji se zaplatí výrobní náklady. [2]

To vše se dá shrnout jako zlepšení produktivity práce, což může představovat významnou konkurenční výhodou.

1.2 Eliminace ztrát

Výše uvedený koncept možných ztrát uceleně specifikovala firma Toyota. Firma Toyota též v rámci svého výrobního systému TSP (Toyota production system) vyvinula a úspěšně nasadila systémy tyto ztráty řešící.

Z hlediska výroby se jedná o koncepci Just in Time (JIT), což je soubor zásad, nástrojů a technik, které mají zaručit dodání výrobku o správné kvalitě, ve správném množství, ve správném čase, na správné místo. [1]

Všechny výrobní systémy firmy Toyota vycházejí z principu výroby tahem, což zjednodušeně řečeno, znamená vyrábět jen takové množství, na které je zajištěný odbyt. Tímto pravidlem může být řízená nejen prodejní strategie firmy, ale i jednotlivé sub procesy v rámci firmy [3]

Za ideální systém výroby je považován systém jednokusového výrobního toku, což znamená, že při plynulé nepřetržité výrobě, se mezi jednotlivými operacemi, přesunuje výrobní dávka o velikosti jednoho kusu. Ke klíčovým výhodám toho systému patří: Omezuje rozpracovanou výrobu (tím náklady s ní spojené) na minimum, minimalizuje prostor nutný pro skladování rozpracované výroby a zkracuje celkový čas na výrobu jednoho výrobku. [2]

Při jednokusovém výrobním toku musí být k sobě na jedno pracoviště seskupena zařízení, na kterých se postupně vykonávají jednotlivé výrobní operace. Opakem jednokusového výrobního toku je dávkové zpracování, kde bývají zařízení většinou řazena na pracoviště dle výrobních operací a následně se mezi pracovišti přesouvají dávky materiálu. [1]

Zdánlivou nevýhodou je, že pokud při jednokusovém výrobním toku dojde k poruše zařízení, nebo k výskytu zmetků, dojde k přerušení celého toku a tím pádem k prostojům. Tato nevýhoda je ale jen zdánlivá, tyto přerušení totiž jen velmi rychle odhalí případné výrobní problémy, jako je špatně navržená technologie výroby, nedostatečný zácvik personálu, nekvalitní suroviny, nedostatečná údržba apod. Neboli jsou rychle odhaleny ztráty a může dojít k jejich odstranění. [1]

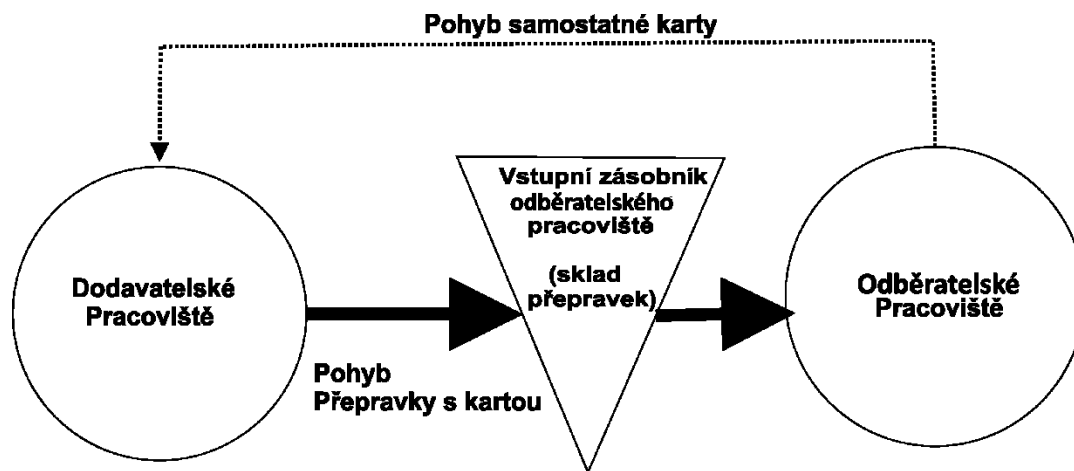
Je však hodně případů, kde nelze jednokusových toků dosáhnout, např. kvůli vzdálenosti pracovišť, nebo kvůli rozdílným operačním časům jednotlivých zařízení. Pro takové případy byla vyvinuta metoda řízení toku materiálu kanban. [1]

2 KANBAN

Kanban je jednoduchá, efektivní a nenákladná metoda řízení výroby a kontroly zásob.

KANBAN – Japonské slovo, jehož přibližný je význam signál kartou [1], což poměrně dobře vystihuje podstatu celé metody.

2.1 popis metody



Obrázek 1. Jednokartový kanbanový okruh. Vlastní tvorba na základě [4]

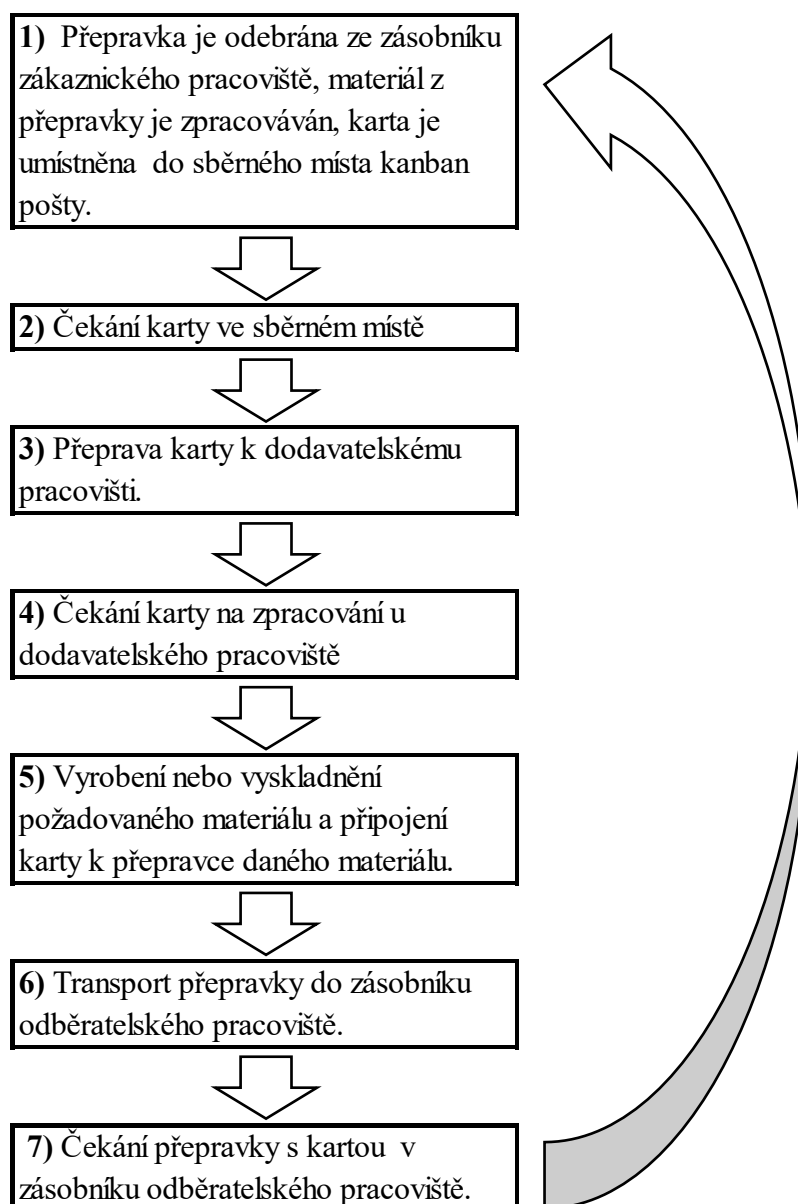
Aplikace metody kanban spočívá ve vytvoření takzvaného kanbanového okruhu mezi dvěma pracovišti, jak je znázorněno na obrázku číslo 1. Jedno pracoviště je definováno jako dodavatelské, druhé jako odběratelské. Pokud odběratelské pracoviště spotřebuje materiál, odešle dodavatelskému pracovišti signál k doplnění spotřebovaného materiálu. Dodavatelské pracoviště následně dodá na odběratelské pracoviště stejné množství materiálu, jaké se spotřebovalo, tím se zajistí, že množství materiálu v daném okruhu nikdy nepřesáhne stanovenou maximální úroveň. Dalo by se tedy říci, že se jedná o regulaci množství materiálu (zásob), prostřednictvím definované zpětné vazby.[5]

V metodě kanban není materiál doplňován v libovolném množství, ale v pevně stanovených dávkách. Signál k výrobě tedy znamená: je spotřebována (spotřebovává se) jedna dávka materiálu, je potřeba dodat další.

V prvotní realizaci kanbanu ve firmě Toyota, a stejně tak i dnes, je ve většině případů signál realizovaný prostřednictvím různých podob kanban karty (v dalším textu jen karty). Proto následující text vysvětluje chování kanbanového okruhu s použitím karty. Dávka materiálu bývá většinou přepravována ve standardizovaném balení, v dalším textu bude proto dávka materiálu popisovaná jako přepravka.

Jedna karta je na dodavatelském pracovišti autorizační signál k vyrobení nebo vyskladnění jedné přepravky. Množství materiálu na jednu přepravku je vždy stejné a bývá většinou uvedené na příslušné autorizační kartě.

Jednomu druhu materiálu vždy odpovídá jeden druh karet, nelze více druhů materiálů na jednu kartu. Mezi odběratelským a dodavatelským pracovištěm může obíhat více druhů karet pro různé výrobky, z hlediska kanbanu se však jedná o samostatné kanbanové okruhy.



Obrázek 2. Schéma oběhu karty, jednokartový okruh. Vlastní tvorba na základě [6]

2.1.1 Pohyb materiálu a oběh karet v kanbanovém okruhu

Pohyb materiálu a oběh karet v kanbanovém okruhu je zobrazen na blokovém diagramu na obrázku č. 2. Časy pro jednotlivé operace bývají standardizovány. V okruhu se pohybuje jen stanovený počet karet a na každou kartu připadá stejná dávka, tím je omezeno maximální množství rozpracovaného materiálu, který se může v okruhu vyskytnout. Hodnota maximálního množství je rovna součinu velikosti dávky na kartu a počtu karet v okruhu [4]

2.1.2 Pravidla kanbanu

Taiichi Ohno, autor systému kanban ve firmě Toyota, definoval pro fungování kanbanu 6 pravidel. [7]

1. odběratelské pracoviště odebírá materiál od dodavatelského pracoviště
2. Dodavatelské pracoviště dodává jen tolik materiálu, kolik je požadováno
3. přeprava nebo výroba materiálu bez karty je zakázána
4. karta musí být připojena k veškerému přepravovanému materiálu
5. Dodavatelské pracoviště dodává jen 100% kvalitní materiál.
6. Je potřeba se snažit omezit počet karet v oběhu.

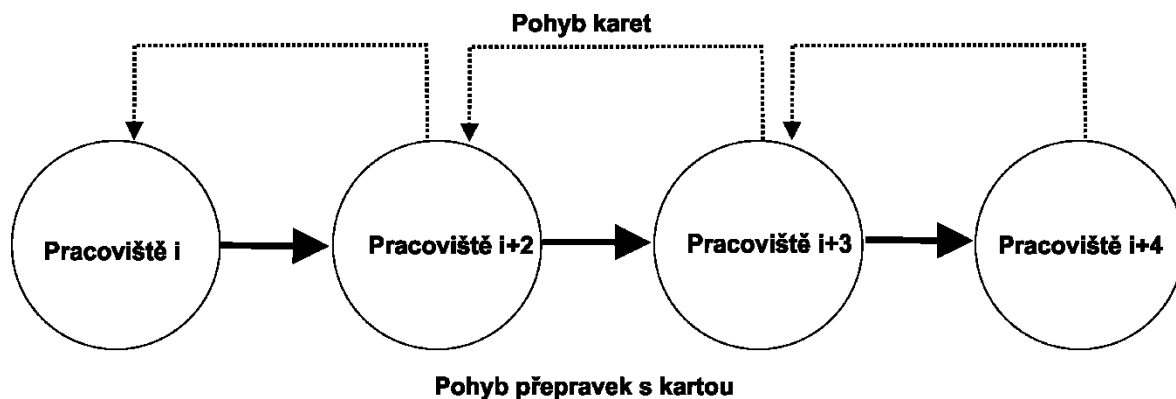
V odborných publikacích jsou vždy v nějaké formě uváděna pravidla 1, 2 a 5. Ostatní pravidla jsou vynechávána, modifikována nebo přidávána další. K nejčastěji přidávanému pravidlu patří, že musí být zajištěna nivelizace výrobních požadavků neboli, že výrobní požadavky musí být bez větších výkyvů. [2] [6]

2.1.3 Dodavatelské a odběratelské pracoviště

Jedná se o vymezení odkud, kam se přesouvá materiál. Jako pracoviště může být určen sklad, jeden stroj, ale též skupina strojů, celá dílna nebo lze například pomocí kanbanových okruhů řešit přesun materiálu mezi podniky.

Jedno dodavatelské pracoviště může zásobovat více zákaznický pracovišť a jedno odběratelské pracoviště může být zásobováno od více dodavatelských pracovišť.

odběratelské pracoviště může být dodavatelské pracoviště pro jiné pracoviště. (viz. obrázek 3)



Obrázek 3. Řetěz kanban okruhů. Vlastní tvorba na základě [5]

2.1.4 Kanbanová karta

Kanbanová karta v metodě kanban má dva účely. Jedním je jednoznačná identifikace přepravovaného a skladovaného materiálu, druhým účelem je autorizační impuls pro výrobu na dodavatelském pracovišti.

Jedná se papírovou, plastovou, případně i kovovou kartu, která obsahuje tyto základní identifikační údaje:

- Název materiálu
- Identifikační číslo materiálu
- Typ přepravky
- Počet kusů v jedné přepravce
- Identifikaci dodavatelského pracoviště
- Identifikaci místa dodání přepravky

Případně další doplňující údaje, jako je jsou např. bližší údaje o odběratelském pracovišti, čárový nebo QR kód.

Part Number:	80800-14898
Part Name:	10 V Power Supply
Production Line:	Line A
Container Type:	Plastic 12 × 14
Container Quantity:	20
Storage Location:	Portable Radio Line
Production Operation:	50
Bin Location:	C-3

Obrázek 4. Příklad kanbanové karty [4]

Kromě standardních oběžných karet se mohou v okruhu použít jednorázové druhy karet pro řešení mimořádných událostí.

Dané karty bývají výrazně vizuálně odlišné od oběžných karet.

Expresní nebo nouzová karta: Slouží k reakci na mimořádné události, většinou se jedná o akutní nedostatek materiálu nějakého druhu. Reakce na dané karty se řídí interními pravidly, většinou se ale jedná o okamžitou výrobu a doručení daného materiálu. Poté by měly být karty staženy z oběhu.[6]

Pomocná karta: Slouží k jednorázovému navýšení počtu oběžných karet, např. kvůli krátkodobému navýšení materiálu v okruhu z důvodu plánované údržby. Tyto karty se nezpracovávají prioritně a po zpracování materiálu, který doprovázejí, by měli být z okruhu staženy.[8]

Jednorázová výrobní karta: Slouží pro výrobu sortimentu, který se vyrábí jen v malém množství. [9]

Při zpracování nové přepravky se karta může odebírat:

Před započítáním zpracování materiálu v přepravce.

Po zpracování materiálu v přepravce. Tato varianta umožňuje, aby karta identifikovala materiál až do úplného zpracování, oproti předchozí variantě ale znamená pozdější odeslání karty na dodavatelské pracoviště, při této variantě je optimální přidat k vypočítanému množství karet jednu kartu navíc.

Se středu zpracovávané dávky materiálu. [9]

Kanbanová karta bývá často v odborné literatuře označována jen slovem kanban. Rozlišení, kdy se jedná o vlastní metodu a kdy jen o kanbanovou kartu, je možné jen z kontextu.

2.1.5 Varianty autorizačních signálů

Karta není jediný možný signál, který informuje dodavatelské pracoviště, že je potřeba doplnit spotřebované zásoby. Dalšími mohou být: [4]

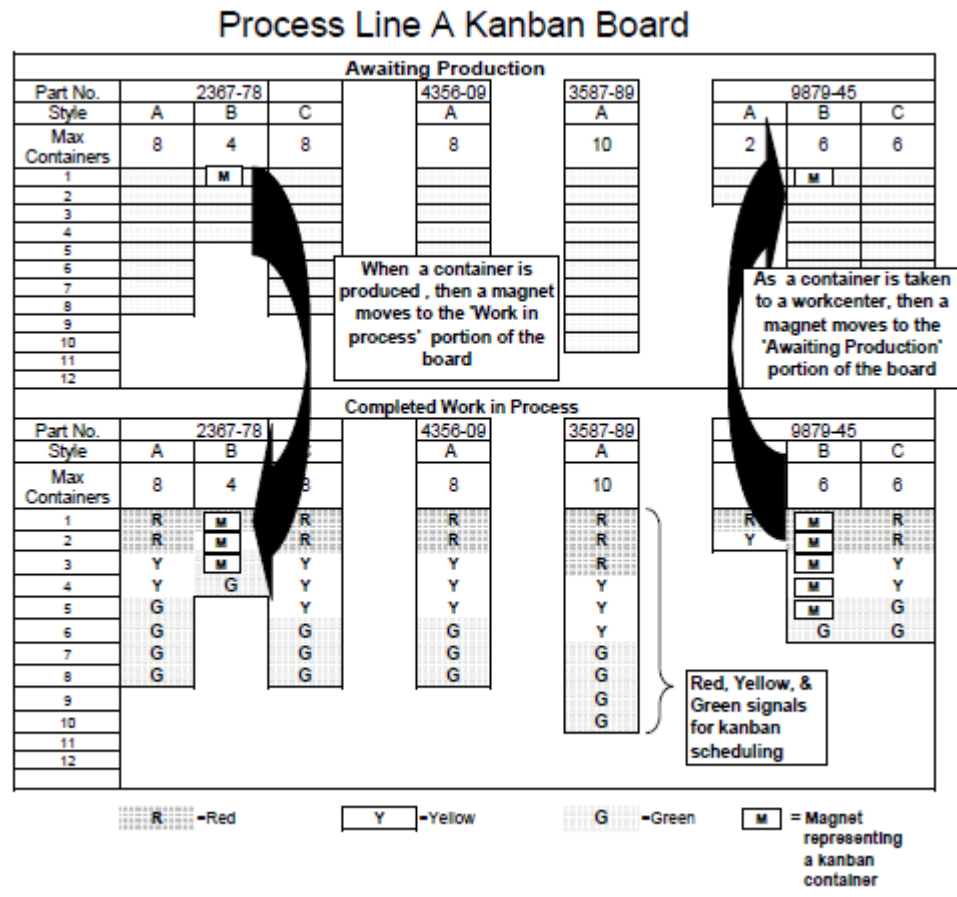
Prázdňá přepravka: Místo samostatných karet se zároveň s kartou vrací i přepravka na doplnění.

Prázdňé místo: Odebrání přepravky z vyhrazeného místa je signálem pro novou výrobu.

Virtuální karty při použití e-kanbanu: Informace přeposílaná na terminál u dodavatelského pracoviště.[8]

Různé typy značek: Například číslované míčky posílané potrubní poštou. [6]

Pozice v rámci kanbanové tabule: značky jako ekvivalent kanbanových karet se přesunují jen v rámci kanbanové tabule mezi oddíly vyrobeno – spotřebováno, dle jejich umístění se rozhoduje o zahájení výroby, viz obrázek 5.



Obrázek 5. Kanbanová tabule pro řízení výroby [4]

2.1.6 Vzorce pro výpočet počtu karet v kanbanovém okruhu

Cílem je stanovit co nejmenší počet karet v oběhu, ale při zajištění plynulé výroby na odběratelském pracovišti.

Počet karet k jednomu kanbanovému okruhu lze spočítat jedním z následujících vzorů:

$$K = \frac{D \cdot L \cdot (1 + \alpha)}{C} \quad (1) [8]$$

$$K = \frac{D \cdot (L + SM)}{C} \quad (2)[6]$$

$$K = \frac{D \cdot L + SS}{C} \quad (3) [2]$$

Kde:

K : Počet Kanbanových karet v kanbanovém okruhu.

D (z ang. Demand – požadavek): Průměrná spotřeba materiálu za časovou jednotku u odběratelského pracoviště.

L (z ang. Lead time): Průměrná doba (ve stejných časových jednotkách jako u parametru D), která uběhne od odebrání karty z přepravky po dodání materiálu na danou kartu.

$$L = TK + TT + TM \quad (4)$$

TK : celkový čas přepravy karty od odebrání z přepravky u odběratelského pracoviště po začátek výroby dávky na danou kartu.

TM : celkový čas výroby jedné přepravky materiálu.

TT : celkový čas od výroby příslušné přepravky materiálu do jejího doručení do vstupního zásobníku odběratelského pracoviště.

C (z ang. Capacity): Počet dílů pro jednu kanbanovou kartu, neboli počet dílů, které se přepravuje najednou v jedné přepravce.

α : Bezpečností koeficient.

SM (safety margin): Bezpečnostní tolerance

SS (safety stock): Bezpečnostní zásoba

Základem vzorců (1) (2) (3) je vzorec (5)

$$K = \frac{D \cdot L}{C} \Rightarrow D \cdot L = C \cdot K \quad (5)$$

Dle vzorce (5) lze počítat počet karet, v případě, že by parametry D a L nabývaly v čase konstantních hodnot. Parametry D a L jsou však v čase variabilní a do vzorců (1) (2) (3) dosazujeme jejich průměrnou hodnotu.

Kolísání parametrů D a L ve směru zvýšení spotřeby D nebo prodlužování doby L , což mohou být různé prostoje při výrobě či přesunech materiálu nebo karet, může zapříčinit krátkodobý nedostatek materiálu na odběratelském pracovišti.

Součin DL udává množství materiálu spotřebované za dobu L na odběratelském pracovišti, součin KC udává množství materiálu vyexpedovaného za dobu L z dodavatelského pracoviště k pokrytí této spotřeby. Parametry α , SM , SS slouží při v čase konstantním parametru C k výpočtu počtu optimálního počtu karet K , který zajišťuje dostatečné zásobování materiálem na odběratelském pracovišti.

Konkrétní hodnoty α , SM , SS určují v důsledku míru daného zajištění a jejich použití v konkrétních vzorcích způsob určení daného zajištění.

α : určuje bezpečnostní zásobu v procentech. (pro 10% zásobu má koeficient hodnotu 0,1)

SM : přímo přidává čas, který zajišťuje.

SS : přímo určuje bezpečnostní zásobu v kusech.

Výpočet je vždy nutné zaokrouhlit na celé karty, zaokrouhlováním nahoru získáme určitou bezpečnostní zásobu navíc, zaokrouhlováním dolů se mírně zvětšuje riziko výpadku zásobování odběratelského pracoviště, ale zase se sníží množství materiálu v okruhu. Vliv zaokrouhlování se zvětšuje s vyšším množstvím materiálu na kartu.

Kromě zde uvedených vzorců existují ještě další vzorce pro výpočet počtu kanbanových karet. [10]

2.1.7 Přepravka

Druh přepravního balení je volen s ohledem na přepravovaný materiál, způsob přepravy, způsob skladování a s ohledem na manipulaci při výrobě. Nemusí se vždy jednat o různé druhy přepravek, ale například o palety nebo přepravní vozíky.

Z hlediska kapacity balení lze volit kapacitu balení dle výrobní dávky na kartu, kterou si určíme, nebo se výrobní dávka určí dle kapacity balení, které si určíme dle výše uvedených kritérií.

Dle vzorce (5), více materiálu v jedné přepravce znamená méně karet, tím pádem méně přepravek, což znamená menší časové nároky na přepravu a manipulaci ve skladech. Větší dávka může být též výhodná při výrobě kvůli většímu množství stejného materiálu v řadě.

Při odbírání nebo přidávání karet však více materiálu na přepravku znamená větší skoky v celkovém množství zásob v okruhu.

V dnešní době se již dají pořídit přepravky přizpůsobené metodě kanban, přizpůsobení se většinou týká snadnějšího odebírání a přidávání karet z dané přepravky.

2.1.8 Výhody a nevýhody

Nasazení metody kanban přináší tyto výhody [4] [6]

Redukuje množství zásob: Při správném počtu karet o 25 až 75 %. Redukce zásob znamená též nárůst volné plochy.

Zlepšuje tok materiálu: Nárůst volné plochy znamená lepší pohyb po pracovišti. Je určen jasný systém toku materiálů, jsou stanovené kontrolní body (kanbanové tabule).

Zabraňuje nadprodukcii: Počet karet krát dávka na kartu dá maximální objem materiálu, který se může pohybovat mezi pracovišti.

Předává kontrolu výroby přímo na operátory výroby: Operátoři výroby (dělníci ve výrobě) si sami řídí práci na základně oběhu karet dle stanovených pravidel. Není nutné neustále plánovat výrobní program pro každé pracoviště, což šetří administrativní pracovní síly.

Vytváří vizuální plánování a řízení procesu: Navazuje na přechodí bod, dle rozložení karet na kanbanové tabuli je ihned zřetelný stav rozpracovanosti výroby, nebo případné problémy na které je třeba reagovat.

Zlepšuje reakci na změnu poptávky. Při snížení poptávky nepřichází na dodavatelské pracoviště signály na doplnění zásob. Výroba se tak samočinně zastavuje, při zvýšení poptávky je to naopak.

Zabraňuje zastarávání zásob: Jednoduše tím, že se na základě signálů dodá jen tolik materiálů, kolik se spotřebuje.

Nevýhody

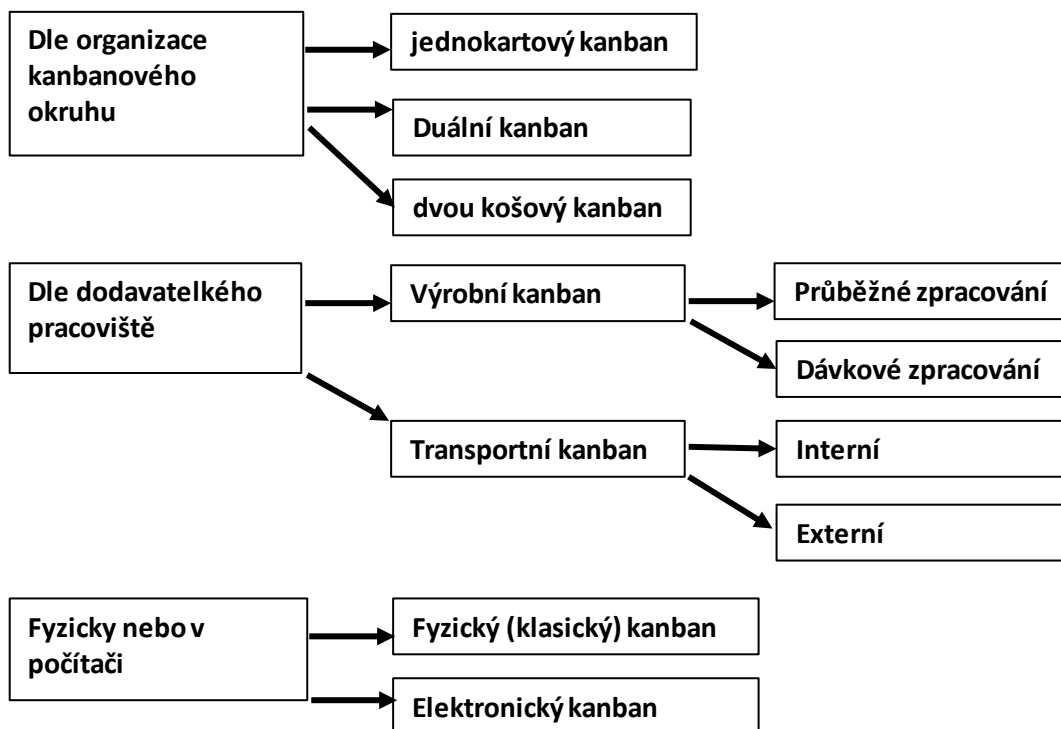
Možné ztráty kanbanových fyzických karet.

Není vhodný pro všechny druhy výrobních procesů.

Může vyžadovat vyšší pracovní kázeň.

2.2 typy metody Kanban

Typy metody kanban lze rozdělit dle více kritérií.



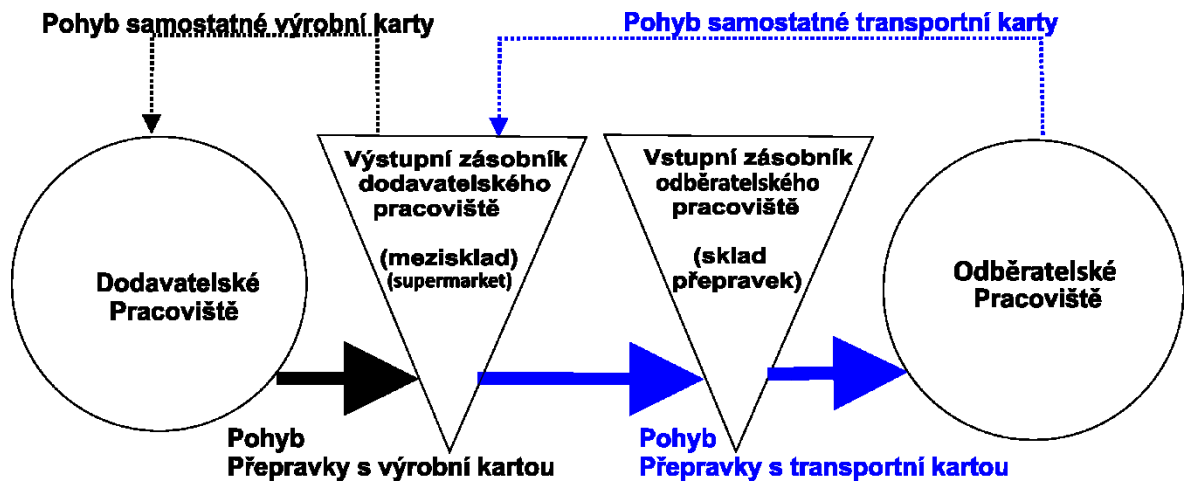
Obrázek 6. Typy metody kanban.

2.2.1 Jednokartový kanbanový okruh

Materiál v rámci okruhu je přepravován jen s jedním typem karty a přímo mezi dodavatelským a zákaznickým pracovištěm. (Viz. Obrázek 1 a Obrázek 2)

Tento systém se používá pro transportní kanban, u výrobního kanbanu ho lze použít, pokud není logistický problém přímo přesouvat materiál od výrobního dodavatelského pracoviště k pracovišti odběratelskému. Což většinou bývá u přesunů na krátké vzdálenosti.

2.2.2 Duální kanbanový okruh



Obrázek 7. Duální kanbanový kruh. Vlastní tvorba na základě [5]

Okruh se dělí na výrobní část a transportní část. Obě části odděluje mezisklad, pro který je v kanbanu zažité označení supermarket. Pohyb materiálu a oběh karet v duálním kanbanovém okruhu je zobrazen na blokových diagramem na obrázcích 7 a 8.

Duální kanban se používá, pokud je logisticky výhodnější použít při přepravě materiálu od dodavatelského pracoviště k odběratelskému určitý mezisklad a to např. z důvodu: [5]

Omezené skladovací kapacity u odběratelského pracoviště.

Větší vzdálenosti mezi pracovišti.

Odběratelské pracoviště je zásobováno z více dodavatelských pracovišť.

Oddělení pracovišť po stránce řídicí a organizační.

Duální kanbanový okruh je původní uspořádání, v jakém byla kanban zavedený ve firmě Toyota.

Vzorce pro výpočet počtu karet:

Počet karet se vypočítá dle vzorce (1), který se aplikuje samostatně na výrobní i transportní část okruhu. [8]

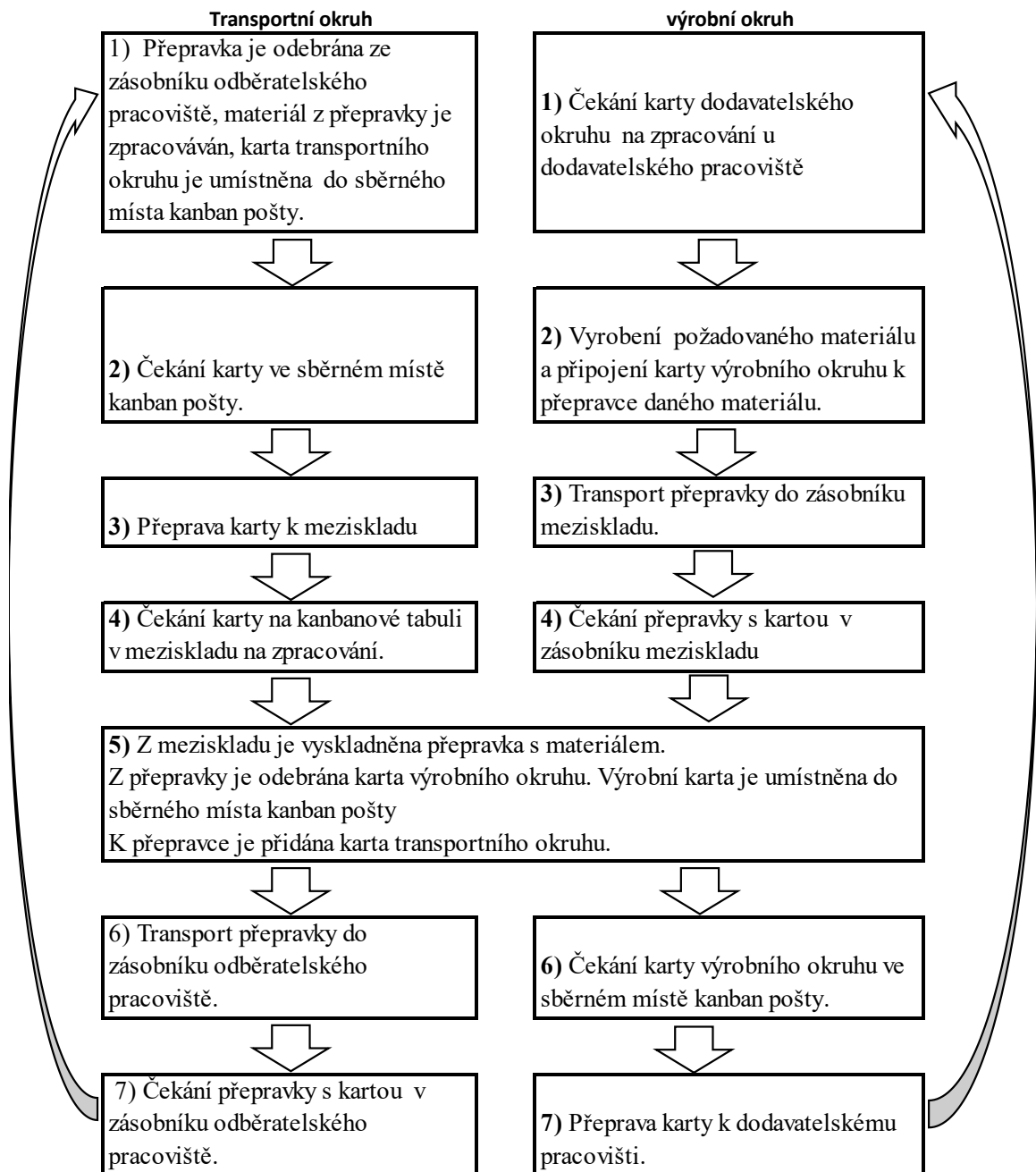
Počet karet pro výrobní část duálního okruhu:

$$K_v = \frac{D \cdot L_v \cdot (1 + \alpha_v)}{C} \quad (6)$$

Počet karet pro transportní část duálního okruhu

$$K_t = \frac{D \cdot L_t \cdot (1 + \alpha_t)}{C} \quad (7)$$

Kde: Proměnné L a α jsou samostatné pro každou část, proměnné D a C jsou společné pro obě části.



Obrázek 8. Schéma oběhu karty, duální okruh. Vlastní tvorba na základě [5]

2.2.3 Dvou košový kanban.

Jednoduchá varianta kanbanu, ve které jsou k odběratelskému pracovišti dodány dvě přepravky s materiálem. Poté, co se jedna spotřebuje, je odeslána na doplnění. Než je spotřebována druhá, je první přepravka doplněna a vrácena k pracovišti. [4]

Tento systém je zvláště vhodný pro odběry velkého množství levných součástí, dále pro výroby, kde dochází k většímu kolísání spotřeby. [2]

U této se nepočítá počet karet, ale nutná kapacita přepravky. Z hlediska chování je tento systém shodný se systémem s jednou kartou odebíranou před zpracováním. (jedna přepravka je zpracovávána a jedna přepravka – karta, jde na doplnění). Potřebnou kapacitu získáme dosazením do (1) [2]

$$1 = \frac{D \cdot L \cdot (1 + \alpha)}{C} \Rightarrow C = D \cdot L \cdot (1 + \alpha) \quad (8)$$

2.2.4 Transportní kanban

Na dodavatelském pracovišti se materiál nevyrábí, jen se z daného pracoviště v rámci kanbanového okruhu přepravuje na jiné pracoviště. Dodavatelské pracoviště bývá většinou typu sklad, ze kterého se zásobují výrobní pracoviště potřebným materiálem. [6]

Transportní kanban se dále dělí na:

Interní: přesun materiálu v rámci jednoho podniku

Externí: (dodavatelský kanban). Slouží k dodávkám materiálu od externích dodavatelů

2.2.5 Výrobní kanban

Dodavatelské pracoviště je pracovištěm výrobním

Průběžné zpracování karet

Došlé karty jsou zpracovávány v pořadí, v jakém dojdou. Dané pořadí je nutné dodržovat, aby nedocházelo k výpadkům na odběratelských pracovištích. (metoda FIFO)

Dávkové zpracování karet

U výrobních procesů, u kterých dochází při změně výrobního sortimentu k delší časovým prostojům např., z důvodu přenastavení stroje, výměny lisovacích matric, čištění od předchozího materiálu apod., jsou karty stejného druhu řazeny do dávek, které jsou následně celé zpracovány, tím se omezí počet přenastavování a zvýší se vlastní výrobní čas pracoviště. Rozdílem výkonů dodavatelského pracoviště při použití obou metod se zabývá simulační experiment v kapitole 5.1.

Pro dávkové zpracování karet lze použít např. metody:

- Signální kanban [2]
- Dávkové zpracování s pevnou sekvencí dávek.[11]
- Dávkové zpracování s proměnlivou sekvencí dávek. [4] [9]
- Ruletové kolo [9]
- Rolling kanban [11]

Dávkové zpracování s proměnlivou sekvencí výrobků

Jedná se o často používanou metodu, při dávkovém zpracování. Umožňuje nastavit min. velikost dávky pro každý výrobek. Sekvence zpracování jednotlivých výrobků není pevně daná, ale řídí podle doručení dostatečného množství karet pro výrobu dávky.

Tato metoda používá tabuli s přihrádkami, do které jsou zakládány došlé karty (obrázek 9). Pro každý druh výrobku je na tabuli samostatný sloupec. Každý sloupec je rozdělený do zelené, žluté a červené zóny (občas jsou použité barvy: zelená, bílá, červená), karty se skládají za sebou od prvního pole zelené zóny.

výrobek		
A	B	C
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐

Obrázek 9. Kanbanová signální tabule. Vlastní tvorba na základě [4]

Význam barevných zón:

Zelená zóna: počet karet v této zóně udává velikost vlastní výrobní dávky minus jednu kartu. Pokud jsou karty jen v zelené zóně, výrobek se do výroby nezařazuje.

Žlutá zóna: Značí dosažení minimální výrobní dávky. Výrobky, u nich počet karet dosáhl žluté zóny, jsou určeném pořadí zařazovány do výroby.

Červená zóna: Karty v červené zóně znamenají krizovou situaci, většinou znamenají problém, při kterém může dojít (nebo určitě dojde) k přerušení zásobování odběratelského pracoviště. Reakce na tento stav může být různá, např: Nahlášení stavu vedoucímu pracovníkovi, zařazení dané dávky hned po dávce stávající, případně přerušení výroby stávající dávky a započetí výroby daného výrobku.

Kromě zde uvedené existují i jiné formy rozvržení tabule. [9] [12]

Určení posloupnosti výroby:

Sloupce kanbanové tabule jsou cyklicky kontrolovány postupně zleva doprava (lze i obráceně). Sloupce s kartami jen v zelené zóně jsou přeskokovány, z prvního sloupce, kde karty dosáhly žlutého pole, jsou odebrány všechny karty a dány do výroby, kontrola dále pokračuje počínaje sloupcem vpravo do sloupce vyráběného.

Jeden z možných způsobů výpočtu počtu karet pro dávkové zpracování. Je použitelný, kdy výrobní cykly a časy pro přenastavení jednotlivých výroků jsou přibližně stejné. [4][13]

Hodnoty pro dodavatelské pracoviště:

$$DA = D \cdot \left(1 + \frac{S}{100}\right) \quad (9)$$

$$TP = DA \cdot TC \quad (10)$$

$$TA = TT - TP - TD \quad (11)$$

$$NS = \frac{TA}{TS \cdot NP} \quad (12)$$

Kde:

- S - počet procent vadných výrobků na dodavatelském pracovišti.

- DA - Průměrná spotřeba odběratelského pracoviště za všechny výrobky navýšená o počet procent vadných výrobků. Jedná se o hodnotu průměrné výroby potřebné pro vykrytí spotřeby odběratelského pracoviště.
- TC – průměrná délka výrobního cyklu na dodavatelském pracovišti.
- TP - celkový čistý výrobní čas v rámci doby TT
- TT - celkový čas, který je k dispozici. Je to čas, za který jsou uváděné průměrné spotřeby DA a D . Většinou se vychází z času za směnu nebo za den.
- TD - nevýrobní čas za TT , např. se jedná o přestávky ve výrobě, průměrné doba údržby, průměrné trvání oprav přepočítané na TT . Do TD se nepočítá TS .
- TA - čas, který je k dispozici na přenastavování výrobního pracoviště.
- TS - průměrný čas přenastavení.
- NP – počet druhů výrobků na pracovišti.
- NS – Pročet možných přenastavení za TT . Zároveň faktor pro výpočet velikosti vyráběné dávky.

Hodnoty pro jednotlivý výrobek:

$$B_i = \frac{DA_i}{NS} \quad (13)$$

$$KB_i = \frac{B_i}{C_i} \quad (14)$$

$$TR_i = TS + TC \cdot C_i \quad (15)$$

$$TW_i = \frac{(KB_i - 1) \cdot C_i}{D_i} \cdot TT \quad (16)$$

$$TO_i = \sum_{n=1; n \neq i}^{NP} TS + KB_n \cdot C_n \cdot TC \quad (17)$$

$$TE_i = TW_i + TO_i \quad (18)$$

$$K_i = \frac{\frac{DA_i}{TT} \cdot (TE_i + TR_i) \cdot (1 + \alpha)}{C_i} \quad (19)$$

Kde:

- i, n = indexy jednotlivých výrobků.
- B – najednou zpracovávaná dávka v kusech.

- KB – najednou zpracovávaná dávka přepočítaná na počet karet.
- TR – čas výroby první přepravky.
- TW – čas, po který výrobek čeká na kanbanové tabuli, než se naskládá výrobní dávka karet.
- TO – nejdelší možný čas na čekání na výrobu ostatních výrobků.
- K – počet karet pro jeden výrobek při dávkovém zpracování.

Jednoduchá a rychlá metoda, která ale většinou nevede k redukci zásob. [4]

$$KB_i = \frac{DA_i \cdot X}{C_i} \quad (20)$$

$$BF_i = \frac{DA_i \cdot Y}{C_i} \quad (21)$$

$$K_i = KB_i + BF_i \quad (22)$$

Kde:

- X – koeficient velikosti pravidelně obnovované zásoby v okruhu. Pokud $TT = \text{den}$, tak při $X = 5$ (doporučuje [4]) se jedná o průměrnou spotřebu na 5 dní.
- Y – Koeficient velikosti zásoby, ze které se čerpá při výrobě KB . Pokud $TT = \text{den}$, tak při $Y = 2$ (doporučuje [4]) se jedná o průměrnou spotřebu na 2 dny.

Počty karet v jednotlivých zónách

$$KP_i = \frac{\frac{DA_i}{TT} \cdot (TE_i + TO_i) \cdot (\alpha)}{C_i} \quad (23)$$

Kde:

- KP = pojistná zásoba vyjádřená v počtu karet
- Zelená zóna = $KB - 1$
- Červená zóna = např. KP , případně jiné určení.
- Žlutá zóna = $K - KB$ - počet v červené zóně +1

2.2.6 Elektronický kanban

Pojem elektronický kanban, nebo též e-kanban vyjadřuje implementaci metody kanban pomocí elektroniky a výpočetní techniky. Informace o spotřebovaných dávkách je zaznamenávána ve vhodném počítačovém programu, ten poté generuje požadavek na vyskladnění nebo výrobu doplňující dávky. Informace o spotřebované nebo vyrobené dávce může být do systému zadávána ručně operátorem, ale též pomocí skenování čárových nebo QR kódů, či za použití RFID. [2] [8]

Další využití elektronizace kanbanu může být automatické monitorování přítomnosti přepravky na odběratelském pracovišti. Tzn., že na odběratelském pracovišti je doručená přepravka uložena na přesně dané místo, kde je její přítomnost zaznamenána např. pomocí fotodetektoru nebo mechanického spínače. Po odebrání přepravky ze sledovaného místa je automaticky generován signál, který je zpracován řídicím programem. [8]

Výhody e-kanbanu. [8]

- Eliminace fyzických karet v oběhu, které se dle všech dostupných zdrojů, mají tendenci ztrácet.

- Není nutné řešit přesun karet od odběratelského pracoviště k dodavatelskému.

- Větší přehled o stavu v kanbanových okruzích.

- Pokročilé možnosti řízení kanbanového okruhu, založené na faktu, že za použití vhodných programů a postupů lze v okruhu řídit přímo množství materiálu, nejen množství přepravek

- Uspřádání řízení výroby s velkým množstvím karet v oběhu.

Nevýhody e-kanbanu. [8]

- Větší složitost systému k na zavedení, obsluhu a údržbu.

- Možnost výrobních problémů při výpadku informačního systému.

- Snížená možnost vizuální kontroly přímo na pracovišti (chybějící kanbanové tabule)

- Možná nekonzistence reálné stavu okruhu se stavem v informačním systému.

Vlastní e-kanban programy mohou být součástí různých MRP systémů, nebo lze využít cloudových řešení [14]

2.3 Nasazení Kanbanu

Obecné požadavky

Metoda kanban je rozšířená celosvětově a v rámci různých výrobních odvětví. Je vhodná pro nasazení, kde dochází k nepřetržité opakované výrobě, nebo opakované výrobě větších sérií.

[5] Dalšími předpoklady jsou: organizačně stálý vztah mezi pracovišti, standardizace výrobního programu. [15]

Není vhodná pro výrobu, kde je nutné již během výroby přidělovat meziprodukty ke konkrétnímu zákazníkovi. [15] Její použití je také problematické při větším kolísání poptávky pro odběratelské pracoviště a při větším kolísání časů operací v rámci kanbanového okruhu.

Proto pro optimální chod kanbanových okruhů je potřeba též řešit optimální rozvržení výroby v čase, aby se zabránilo výraznému kolísání jednotlivých materiálových požadavků [5][6]

Konkrétní příklady

Zde je vyspáno několik příkladů kvalifikačních prací, nebo vědeckých článků, které popisují nasazení metody kanban v konkrétních podnicích.

Bosch Diesel s.r.o.: Výroba komponentů pro vstřikovací systém Common rail. [16]

Form a.s.: Výroba vodících čepů. [17]

Indie, výroba pneumatik.[18]

Malajsie, výroba krytů hlav válců. [19]

Barum Continental: Výroba pneumatik (Implementace – e-kanbanu) [8]

Denso Manufacturing: výroba klimatizačních jednotek. [12]

Průzkum

V roce 2007 v rámci své disertační práce provedla paní Magda Polášková průzkum u českých gumárenských a plastikářských firem. Jedním ze zkoumaných kritérií bylo i nasazení metody Kanban. Výsledky průzkumu, kterého se zúčastnilo 97 firem jsou zobrazené v tabulce číslo 1. [20]

Tabulka 1. Využití metody kanban v podnicích Gum. a plastikářského průmyslu [20]

metoda	Malé podniky (11 – 49 zaměstnanců)	Střední podniky (50 – 250 zaměstnanců)	Velké podniky (nad 250 zaměstnanců)
Interní kanban	14 %	12 %	45 %
Externí kanban	7%	15%	33%

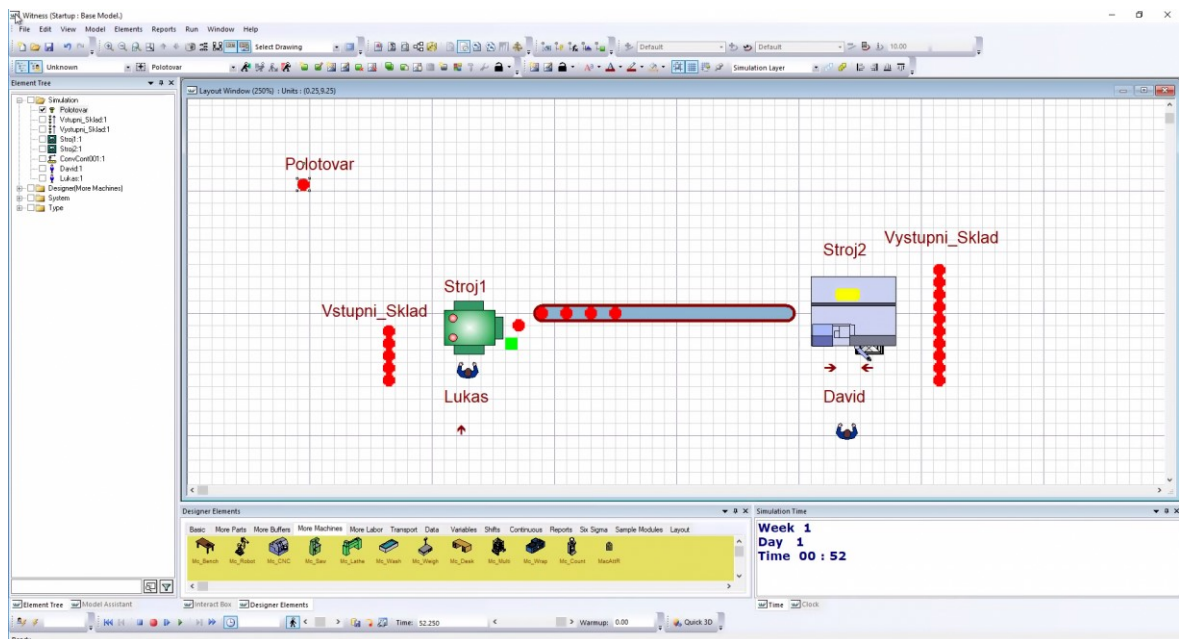
2.4 Historie

System kanban vyvinul v průběhu 50. let 20. století hlavní inženýr firmy Toyot Taiichi Ohno. Při návrhu se inspiroval systémem amerických supermarketů, u kterých se v regálech průběžně doplňuje jen odebrané zboží. System byl původně nasazován jen ve firmě Toyota, případně u jejích subdodavatelů. Celosvětově se kanban začal prosazovat po globální ekonomické krizi v 70. letech 20. století. [4]

3 SOFTWARE WITNESS

Witness je software pro diskrétní simulaci firmy Lanner group, která momentálně patří do portfolia společnosti Royal HaskoningDHV. Aktuální verze nese název Horizont, momentálně je ve verzi 24 [21]. Simulační modely, které jsou nedílnou součástí této bakalářské práce, byly vytvořené ve verzi 14 v Edici Manufacturing Performance Edition.

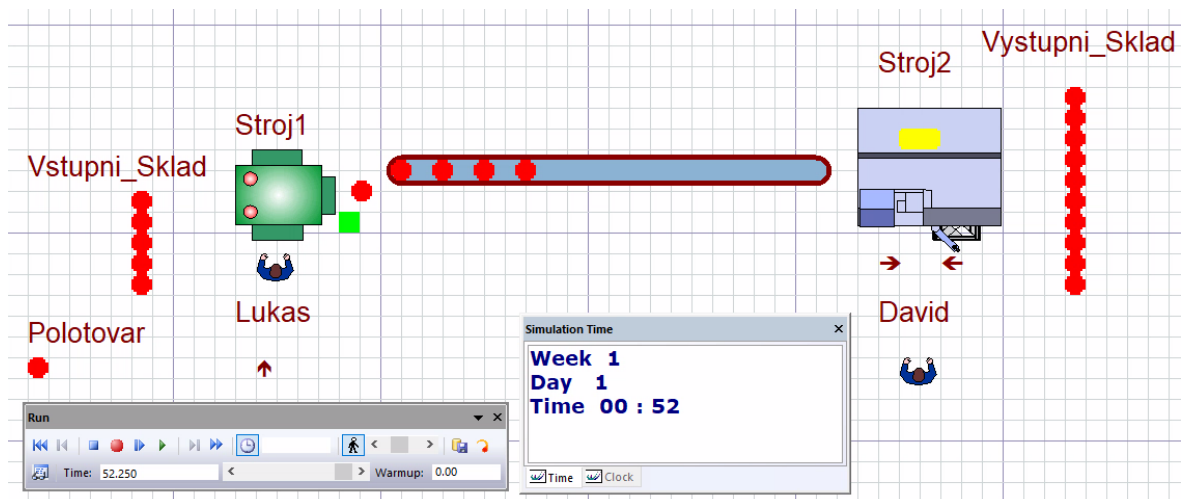
Witness software je zaměřen na simulaci výrobních a logistických procesů. Vychází ze skutečnosti, že výrobním procesem se pohybují rozličné části, jako např. materiál, polotovary, výrobky, které jsou při různých činnostech přetvářeny, spojovány, rozdělovány. Dále musí být nějak přepravovány a skladovány, to vše se děje v definované časové posloupnosti a s větší nebo menší mírou podílu lidské interakce. Pro simulaci daných činností nabízí **Witness předpřipravené elementy a pravidla pro jejich propojení.**



Obrázek 10. Prostřední programu Witness

Na obrázku 10 je vyobrazeno základní pracovní prostředí programu Witness. Hlavní část tvoří pracovní plocha, na kterou jsou umísťovány elementy ze zásobníku elementů ve spodní žluté části. Horní a spodní část tvoří plovoucí nástrojové lišty, v levé části jsou ve stromové struktuře zobrazeny prvky současného modelu a prvky prostředí Witness, jako např. souhrn pravidel, souhrn funkcí, souhrn distribučních rozdělení.

Obrázek 11 zobrazuje výřez pracovní plochy, který představuje jednoduchý simulační model pracoviště. Model tvoří elementy typu *Part*, pojmenované jako polotovary, dva elementy typu buffer pojmenované jako *Vstupni_Sklad* a *Výstupni_Sklad*.



Obrázek 11. Witness – výřez pracovní plotny

Dále dva elementy typu machine pojmenované Stroj1 a Stroj2, jeden element typu conveyor (dopravník) a dva elementy typu labor (pracovní síla). Dále jsou na obrázku 11 zobrazené dvě důležité nástrojové lišty, a to lišta pro ovládání běhu simulace a lišta zobrazující simulovaný časový průběh.

3.1 Přehled elementů programu Witness

3.1.1 Základní elementy

Parts: (součásti) jsou elementy, které se pohybují modelem. Reprezentují materiál, polotovary, hotové výrobky z reálného světa. Pokud se ale třeba modeluje pohyb zákazníků v jídelně, tak elementy *Part* představují zákazníky.

V modelu se části zobrazují jako ikony, text nebo obojí. Za běhu programu lze zobrazení programově měnit.

Součástí lze přiřadit různé programově měnitelné atributy a tím charakterizovat součást a její změny během simulace.

Součásti lze v modelu vytvářet, jak jednotlivě, tak po dávkách, měnit je v jinou součást, „montovat“ více součástí dohromady nebo jednu součást rozdělit na více součástí.

Machines: (stroje). Jsou to elementy, které v modelu představují výkonné složky. Odeberou součásti z jejich původního umístění, provedou s nimi definovanou činnost, a poté je pošlou zase modelem dál. Mohou reprezentovat stroj, který opracovává polotovary, ale taky třeba jen

činnost, která přemístí paletu z jednoho zásobníku do druhého. Jeden element může v modelu reprezentovat jedno zařízení, ale též celou továrnu.

Podle toho, jakým způsobem manipulují se součástmi, jsou děleny do 7 typů.

Single: Jedna součást na vstupu, jedna součást na výstupu.

Batch: Více součástí na vstupu a stejném množství na výstupu, zpracovávají se na jednu.

Assembly: Více součástí na vstupu, jedna na výstupu.

Production: Jedna součást na vstupu, více na výstupu.

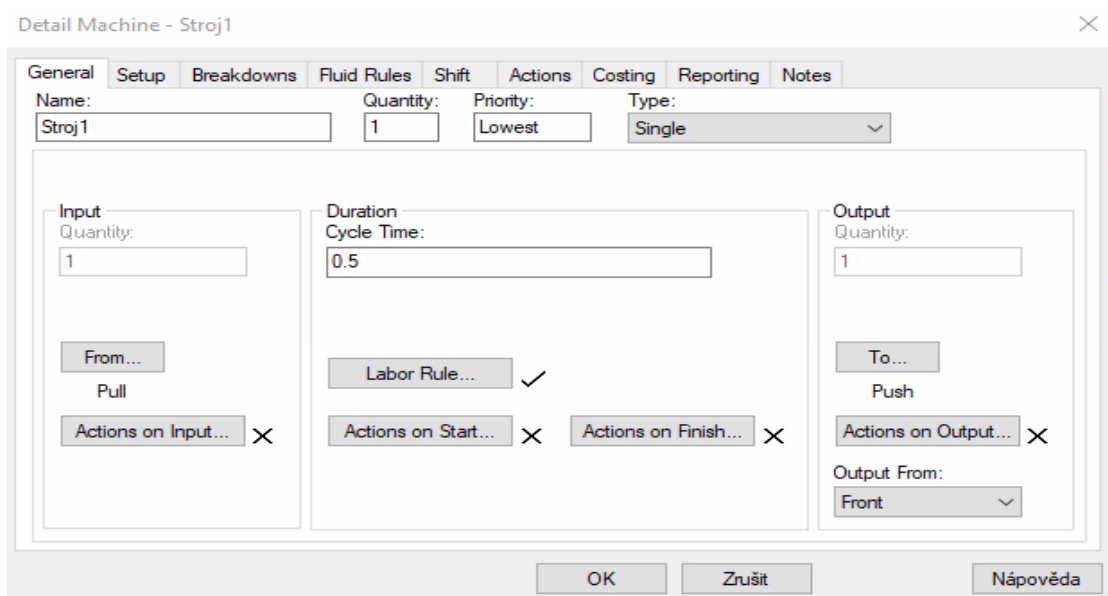
General: 1 – N součástí na vstupu, 1 – M součástí na výstupu.

Multi-Station: Jedna část je zpracovávána v několika krocích přičemž, když přejde do druhého kroku, další část může vstoupit do kroku prvního.

Multi-cycle: simuluje výrobní operaci, které se odehrává v několika následných cyklech. Každý cyklus může trvat různě dlouho, mít jiné požadavky na součásti a pracovní sílu.

V modelu může být každá instance elementu reprezentovaná vlastní ikonou a vlastním 3D zobrazením. Viz elementy stroj1 a stroj2 na obrázcích 11 a 14. V obou případech se jedná o elementy machine typu single, ale v modelech se zobrazují rozdílně.

Vlastní činnost stroje může být definována celou řadou parametrů (viz obr. 12). Lze nastavit parametry pro seřizování stroje (záložka Setup), lze simulovat výskyt poruch (Záložka BreakDown), lze vymezit pravidla pro přidělování pracovní síly (tlačítko Labor Rule),



Obrázek 12. Witness – dialog pro základní nastavení elementu Machine

Buffers: (Zásobníky). Jsou místa, kde mohou být shromažďovány elementy typu součást.

Lze nastavit způsob uspořádání součástí v zásobníku, např. na základně principů FIFO, LIFO nebo třeba dle hodnoty specifikovaného atributu.

Lze nastavit minimální dobu kterou musí součást strávit v zásobníku, nebo maximální dobu, po které se součást pokusí opustit zásobník.

Labor: (Pracovní síla) Pracovní síla sama žádnou činnost nevykonává, jen lze pomocí pravidel definovat potřebu přítomnosti pracovní síly při činnostech elementů typu stroj, a to jak při „běžné provozu“, tak při seřizování a opravách.

3.1.2 Elementy pro přesun součástí

Conveyors: Pásové dopravníky

Paths (cesty): Umožňuje vytyčit přesnou trasu od jednoho elementu k druhému, po které se budou pohybovat součásti, nebo pracovní síla. Umožňuje nastavit čas přesunu.

Tracks(dráhy): Cesty, po kterých se pohybují vozidla při přepravě součástí, nebo při pohybu mezi elementy. Též definují body, kde vozidla mohou nakládat, kde vykládat nebo parkovat.

Vehicles (vozidla): Reprezentují vozidla, která převážejí součásti. Umožňují různá nastavení, jako např. priority cílů, rychlost přesunu, rychlost nakládky a vykládky.

Network, Section, Station, Carrier: Elementy, které dovolují modelovat transportní síť nosičů, které přepravují součásti mezi jednotlivými stanicemi.

3.1.3 Podpůrné a ostatní Elementy

Attributes (Atributy): umožňují podrobně popsat součásti a změny na nich, po dobu jejich cesty modelem.

Variables (Proměnné): Uchovávají různé hodnoty modelu během simulace, lze je měnit programově a zobrazovat přímo na pracovní ploše. Hodnoty mohou být typu integer, real, string (textový řetězec), Name (odkaz na jiný element)

Functions (funkce): Witness má rozsáhlou knihovnu vestavěných funkcí pro práci s modelem. Třeba funkci, která vrátí okamžitý počet součástí v konkrétním zásobníku, nebo funkci, která vrátí v konkrétním zásobníku časově vážený průměr součástí. Obsahuje též matematické a textové funkce, nebo umožňuje vytvářet funkce vlastní.

Distributions: generátory náhodných čísel, podle různých distribučních funkcí.

Schifts (směny): Simulace pracovních směn. Tento element umožňuje rozdělit den do pracovních a nepracovních period. Možno aplikovat na pracovní sílu i na jiné elementy.

Modules (Moduly): Seskupují jiné Witness elementy, Zvyšují přehlednost modelu a urychlují práci při složitějších modelech.

Elementy pro zpracování nepřetržitých toků

Continuous processing elements. Kromě „toků“ součástí umožňuje Witness simulovat i tok kapalin a podobných materiálů.

Elementy pro grafickou prezentaci výsledků

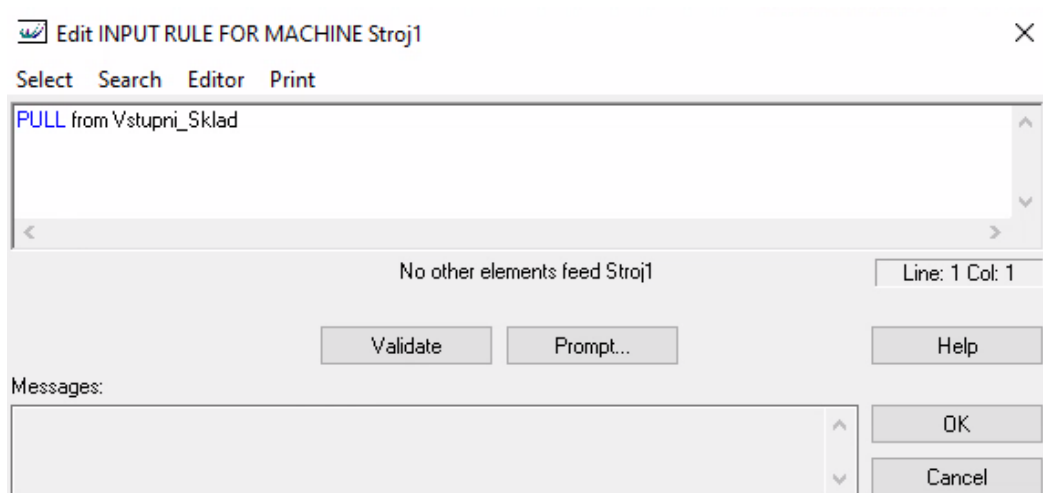
Pie charts (koláčový graf): Nejčastěji používané pro zobrazení procentních výsledků z celku (viz Obrázek 18)

Timeseries: Výpis hodnot v závislosti na čase (viz Obrázek 19)

Histograms: Zobrazení výsledků ve formě histogramu.

3.2 Pravidla (Rules)

Pravidla řídí tok součástí skrz model. V modelu z obrázku 10 odebírá *stroj1* polotovary ze vstupního zásobníku. Toho je docíleno v tomto případně zápisem pravidla PULL jako vstupního pravidla stroje, jak ukazuje obrázek 13. (vstupní pravidlo lze nalézt u elementu machine pod tlačítkem from)



Obrázek 13. Witness – zadání vstupního pravidla.

Přehled pravidel

pro tabulku číslo 2:

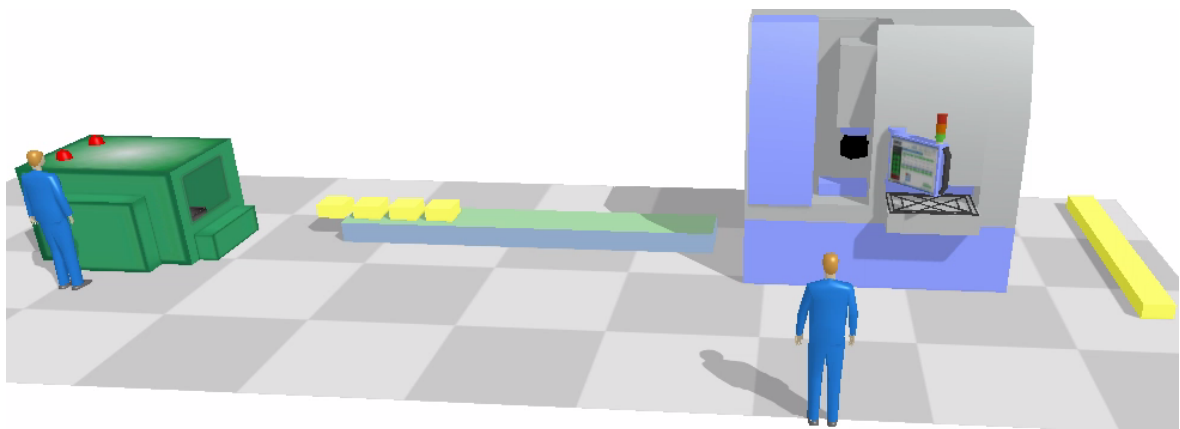
m1, m2, m3 – libovolný element do kterého odesílat, nebo ze kterého lze odebírat element typu součást.

a, b – element typu součást.

Tabulka 2. přehled vstupních a výstupních pravidel programu Witness

pravidlo	popis	příklad
WAIT	součásti nejsou ani přijímány ani odesílány	
PUSH	Součásti jsou odeslány do prvního dostupného elementu, který je schopen je akceptovat	Push to m1, m2, m3 Push a to m1, b to m2
PULL	Součásti jsou odebrány z prvního dostupného elementu, který je schopen je poskytnout	PULL from m1, m2, m3 PULL a from m1, b from m2
LEAST PARTS FREE	součásti jsou odesílány do elementu nebo přebírány z elementu s nejnižším počtem součástí: nebo volné kapacity:	LEAST PARTS m1, m2 LEAST Free m1, m2
MOST PARTS FREE	součásti jsou odesílány do elementu nebo přebírány z elementu s nejvyšším počtem součástí: nebo volné kapacity:	MOST PARTS m1, m2 MOST Free m1, m2
MATCH ANY	Jsou k sobě vybrány: Jakékoliv součásti z daných zásobníků	MATCH/ANY m1#(1) AND m2 #(1)
ANY	Jakékoliv pojmenované součásti z daných zásobníků	MATCH/ANY a from m1#(1) AND b from m2 #(1)
ATTRIBUTE	U kterých je shodná hodnota atributu	MATCH/ATTRIBUTE a from m1#(1) AND b from m2 #(4)
CONDITION	U kterých je splněna podmínka	MATCH/CONDITION SIZE > 10 m1#(1) AND from m2 #(4)
SELECT	součásti jsou odesílány do elementu nebo přebírány z elementu Podle hodnoty celočíselné proměnné (X)	SELECT on X m1, m2, m3
PERCENT	součásti jsou odesílány do elementu nebo přebírány z elementu na základě procentního rozdělení pravděpodobnosti	PERCENT m1 35.00, m2 65.00

pravidlo	popis	příklad
SEQUENCE	součásti jsou odesílány nebo přebírány z několika elementů v cyklické sekvenci	
WAIT	u každé položky se čeká na splnění podmínky (počtu kusů)	SEQUENCE /WAIT m1#(3), m2#(5)
NEXT	nesplněné podmínky se přeskochí	SEQUENCE /NEXT m1#(3), m2#(1)
RESET	Při nesplnění podmínky se začne sekvence od začátku	SEQUENCE /RESET m1#(3), m2#(5)
IF	součásti jsou odesílány do elementu nebo přebírány z elementu. pokud je splněná podmínka příkazu IF	IF NPARTS(m1) > 10 PUSH to m2 ELSE WAIT ENDIF
BUFFER	na vstup nebo výstup se přidá dedikovaný buffer o dané kapacitě.	BUFFER (10)



Obrázek 14. Witness – 3D zobrazení modelu z obrázku 10

3.3 Některé další výhody programu Witness

Možnost 3D zobrazení navrženého modelu: 3D zobrazení na obrázku č. 14 bylo vytvořeno ve verzi Witness 14. V nejnovějších verzích došlo z hlediska 3D zobrazení k velmi podstatnému vylepšení. [21]

Získání vstupních dat a výstupních údajů: Údaje pro nastavení simulací lze získat a výsledky simulací lze uložit do textových souborů, do souborů programu Microsoft Excel, do různých databází.

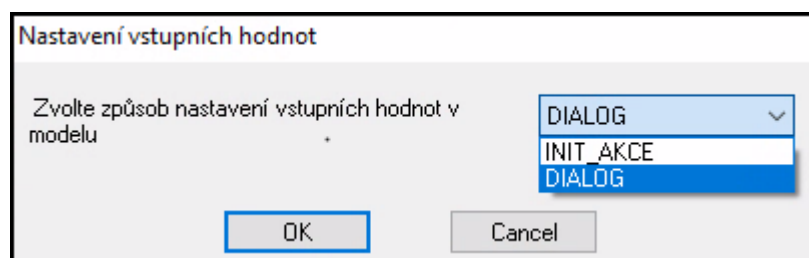
Možnost programování: Prostředí Witness nabízí též programování ve vlastním skriptovacím jazyku. Vytvořené skripty je možné ladit pomocí jednoduchého debuggeru.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 SIMULAČNÍ MODELY KANBANOVÝ OKRUHŮ

V rámci praktické části byly vytvořeny v simulačním prostředí Witness tři hlavní modely. Dané modely simulují oběh karet a tok materiálu v rámci kanbanového okruhu pro tři typy kanbanových metod. Na zde popsaných modelech byly provedeny simulační experimenty popsané v kapitole č. 5. Kromě hlavních modelů byly ještě kvůli provedení simulačních experimentů vytvořené modely pomocné, které jsou odvozené od modelů hlavních a liší se od nich jen nepatrně. Dané odlišnosti jsou popsány v rámci simulačního experimentu, ve kterém byly použity.

Z důvodu urychlení zadávání vstupních parametrů simulace nabízí modely možnost jejich nastavení skrz uživatelské dialogy, které se zobrazí po spuštění modelu. První dialog (viz. obrázek) Nabízí volbu mezi ručním zadáním všech údajů (volba DIALOG) a použitím přednastavených údajů z iniciační funkce modulu. (Volba INIT_AKCE). Při opakovaném spuštění modelu volba DIALOG zobrazí k editaci poslední použité hodnoty.



Obrázek 15. Úvodní nastavení parametrů

Důležité jsou též hodnotící kritéria, v metodě kanban se jedná o úroveň zásob a vytížení jednotlivých pracovišť. U vytvořených modelů jsou přímo na ploše modelu zobrazovány všechny důležité hodnoty (viz obrázky 18 a 19). Výčet sledovaných parametrů je součástí popisu modelu.

Nastavené hodnoty a výsledné hodnoty simulace lze uložit do souboru excelu kanban.xlsx pomocí uživatelské akce simulačního prostředí Witness. **Přítomnost souboru kanban.xlsx je momentálně nutná pro běh simulačních modelů.**

V následujících popisech jednotlivých modelů je uvedeno, jakým způsobem simulují jednotlivé části modelu reálný kanbanový okruh a dále je u každého modelu podkapitola, která popisuje sestavení modelu s ohledem na použité elementy programu Witness a pravidel, které je propojují.

4.1 Jednokartový kanbanový okruh

Jedná se o model jednokartového kanbanového okruhu, který je popsán v kapitole 2.2.1. Danému modelu odpovídá soubor model2.mod. Vlastní zobrazení modelu (viz Obrázek 16) ukazuje, že model se skládá z jednoho dodavatelského a tří odběratelských pracovišť. Dle teorie metody kanban se jedná o tři samostatné kanbanové okruhy. Oběh karet a pohyb materiálu pro každý okruh je popsán na blokovém diagramu (viz Obrázek 2) v kapitole 2.1.1.

Pohyby karet a materiálu pro každý okruh lze zastavit nastavením počtu karet na hodnotu 0 a nastavením dávky na kartu a operačního času stroje na libovolnou kladnou hodnotu.

Prvky modelu a jejich význam:

Expedice materiálu: Stanoviště, kde se na základně doručené kanban karty, za zadaný čas, vyrobí, nebo vychystá, dávka materiálu. Velikost dávky udává údaj na kanban kartě. K dané dávce je poté připojena příslušná karta. Dávka bývá ve většině případů ukládána do standardizovaném balení jako např. přepravka nebo kontejner. V rámci simulace je zdroj materiálu neomezený.

Kanban Board: Místo, kde jsou zakládány karty došlé na dodavatelské pracoviště, než jsou zpracované v expedici materiálu.

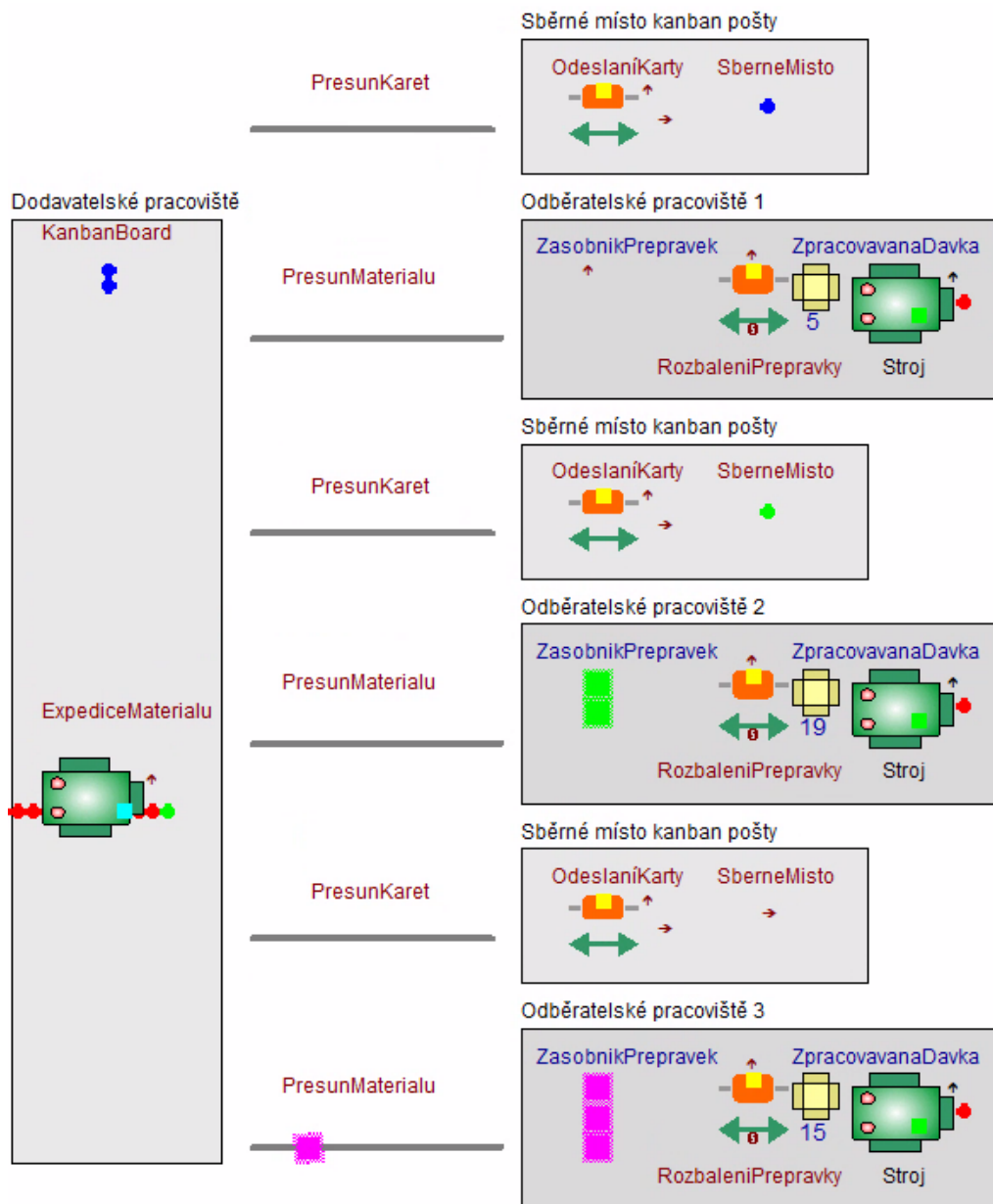
Přesun materiálu: Celá cesta od dodavatelského pracoviště k odběratelskému pracovišti, po níž se dopravuje materiál s kartou.

Sklad přepravek: Místo, které je v blízkosti zařízení zpracovávající materiál v rámci odběratelského pracoviště. Na daném místě jsou ukládány dávky materiálu s kartou. Z daného místa by měla být obsluha schopna odebírat dávky bez přerušení výrobního cyklu a jeho kapacita bývá často omezená.

Rozbalení přepravky: Operace, při níž dojde k odebrání karty z dávky materiálu a její umístění do sběrného místa kanban pošty. Předpokládá se, že tato operace je zahrnutá do výrobního cyklu a v rámci uživatelského dialogu se v simulaci její čas nenastavuje. Zkušenější uživatel si ji ale může nastavit v rámci editace modelu. V rámci daného modelu, se předpokládá, že karta je odebrána se zahájením zpracování dávky, ne až po jejím zpracování.

Zpracovávaná dávka: Dávka, ve které již není přítomna karta, a ze které je odebírán materiál pro zpracování na stroji (viz. další bod)

Stroj: Zařízení, kde je materiál zpracováván v určitém výrobním cyklu. V rámci simulace je poté materiál odeslán mimo model.



Obrázek 16. Witness model jednokartového kanban okruhu

Sběrné místo: Místo, kde je umístěna karta před jejím odesláním na dodavatelské pracoviště.

Odesláni karty: Operace odesláni karty ze sběrného místo na dodavatelské pracoviště

Presun karet: Celá cesta od odběratelského pracoviště po dodavatelské pracoviště, po které se dopravuje samostatná karta.

Karta (1-3): Barevná kruhová značka (viz obr. 17) v modelu simuluje jednu samostatnou kanban kartu v realitě, případně při vhodném nastavení modelu i jiné druhy signálů. (např. nastavením času přesunu karty na nulu lze simulovat přenos signálu

elektronicky). V rámci jednoho okruhu mají všechny značky stejnou barvu. Pokud je přepravována karta spolu s dávkou materiálu změní se její značka na čtvercovou. Na obrázku 17 je v neutrální barvě, ale při běhu simulace má stejnou barvu jako samostatné karty daného okruhu.

Materiál: Kruhová červená značka v simulaci značí jednu jednotku materiálu. Při přepravě spolu s kartou se samostatně nezobrazuje.



Obrázek 17. Zobrazení karet a přepravek v simulaci

Nastavitelné parametry

V dialogu, který se zobrazí po spuštění simulace lze nastavit následující parametry simulace. Nastavené hodnoty se poté zobrazují i ve vlastní simulaci (viz. obrázek 17 a 18).

Časové údaje jsou nastavovány v minutách.



Obrázek 18. Zadávané a sledované údaje odběratelského pracoviště.

Parametry pro jednotlivá odběratelská pracoviště:

Čas přesunu materiálu

Operační čas stroje: Operační čas zpracování jednoho kusu materiálu na odběratelském pracovišti.

Čas přesunu karty

Čas zpracování karty: Jak dlouho je karta ve sběrném místě kanban pošty, než je odeslána na dodavatelské pracoviště

Dávka na kartu.

Počet karet: Počet karet v daném kanbanovém okruhu.

Parametry pro dodavatelské pracoviště:

Čas expedice materiálu: Operační čas dodavatelského pracoviště. Zadávaný čas je na zpracování jednoho kusu materiálu.

Doba čekání karty na kanbanové tabuli: Jak dlouho je karta na kanbanové tabuli (KanbanBoard v modelu), než se bude zpracovávat při expedici materiálu.

Čas přenastavení (SETUP): Udává, jak dlouho bude trvat přenastavení stroje pro nový výrobek.

Zobrazované parametry

V modelu se v průběhu simulace průběžně zobrazují níže vypsané okamžité, minimální, maximální a průměrné hodnoty (viz obrázek 17 a 18). Některé zobrazené hodnoty lze uložit do souboru kanban.xlsx.

Parametry pro jednotlivá zákaznická pracoviště:

Rozpracovaná dávka: kolik zbývá materiálu v právě zpracovávané přepravce.

Přepravek v zásobníku: Kolik je přepravek v zásobníku odběratelského pracoviště.

Rozpracovaná dávka není zahrnuta

Materiál odběratelského pracoviště: Celkové množství materiálu v kusech, které je v zásobníku přepravek a v rozdělané přepravce.

Min. materiál u odběratelského pracoviště: Minimální hodnota materiálu, která se v průběhu simulace vyskytne u odběratelského pracoviště. Je to minimální hodnota ukazatele *Materiál odběratelského pracoviště*. (ukládáný parametr)

Max. materiál u odběratelského pracoviště: Maximální hodnota materiálu, která se v průběhu simulace vyskytne u odběratelského pracoviště. Je to maximální hodnota ukazatele *Materiál odběratelského pracoviště*. (ukládáný parametr)

Průměr odběratelského pracoviště: Časově vážený průměr materiálu přímo na odběratelském pracovišti. (ukládáný parametr)

Průměr okruhu: Časově vážený průměr materiálu v celém okruhu od začátku simulace. (ukládáný parametr)

Min. materiál okruhu: Minimální hodnota ukazatele *Celkem materiálu v okruhu* v průběhu simulace. (ukládáný parametr)

Max. materiál okruhu: Maximální hodnota ukazatele *Celkem materiálu v okruhu* v průběhu simulace. (ukládáný parametr)

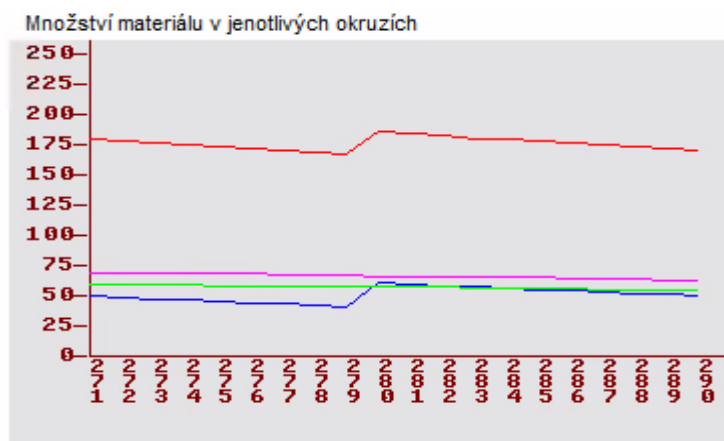
Dávek na cestě: Počet přepravek na cestě mezi dodavatelským a odběratelským pracovištěm

Materiál na cestě: Množství kusů materiálu, který je v přepravkách na cestě mezi dodavatelským a odběratelským pracovištěm

Celkem materiálu v okruhu: Aktuální stav materiálu v okruhu v kusech, zahrnuje materiál u odběratelského pracoviště, materiál na cestě i materiál, který se zpracovává na stroji na odběratelském pracovišti.

Optimální Počet Karet: Nejmenší počet karet (a tím pádem nejmenší množství materiálu v okruhu), při kterém by ještě mělo být odběratelské pracoviště plně vytíženo.

Koláčový graf zátěž stroje: Zobrazuje procentní podíl doby činnosti (zelená výseč) a doby nečinnosti stroje (žlutá výseč) (ukládáný parametr)



Všechny okruhy Okruh 1 Okruh 2 Okruh 3



Další zadávané údaje

CasCekaniKBoard	10.00
CasExpedice	0.05

Sledované údaje za všechny okruhy

Celkem_material	170
Prumer_materialu	178.5
Minimum	0
Maximum	213
Davek_na_ceste	1
Material_na_ceste	20

Obrázek 19. Zadávané a sledované údaje dodavatelského okruhu

Celkem Materiál: Aktuální počet jednotek materiálu v celé simulaci.

Pro dodavatelské pracoviště:

Koláčový graf Zátěž expedice: Zobrazuje procentní podíl doby činnosti (zelená výseč) a doby nečinnosti stroje. (žlutá výseč), doby přenastavování (modrá výseč) (ukládání parametry)

Pro celou simulaci: (viz. obrázek 19)

Průměr Materiál: Časově vážený průměr hodnoty *Celkem Materiál* za dobu simulace. (ukládání parametr)

Minimum: Minimální hodnota ukazatele *Celkem Materiál* v průběhu simulace. (ukládání parametr)

Maximum: Maximální hodnota ukazatele *Celkem Materiál* v průběhu simulace. (ukládání parametr)

Dávek na cestě: Počet přepravek na cestě mezi dodavatelským a zákaznickým pracovištěm za všechny okruhy

Materiál na cestě: Množství kusů materiálu, který je v přepravkách na cestě mezi dodavatelským a zákaznickým pracovištěm ve všech okruzích.

4.1.1 Popis sestavení modelu

Základní prvky modelu jsou:

- material (elementy Part)
- karta1, karta2, karta3 (elementy Part) – V popisu je uvedeno kartaN pokud může být použit libovolný element.
- ExpediceMaterialu (element Machine typu Assembly)
- OdeslaniKarty, Stroj (elementy Machine typu Single)
- RozbaleniPrepravky (element Machine typu Production)
- PresunKaret, PresunMaterialu (elementy Path)
- KanbanBoard, SberneMisto, ZasobnikPrepravek, ZpracovavanaDavka (elementy Buffer)

Dále jsou v modelu použity elementy Attribute, Module, Variable, Function.

Operace na dodavatelském pracovišti:

V zásobníku *KanbanBoard* je příchozí element pozdržen po nastavenou hodnotu parametru *Delay Mode: Minimum*. V elementu *ExpediceMaterialu* je použito vstupní pravidlo

SEQUENCE /Wait pro načtení jednoho elementu *kartaN* ze zásobníku *KanbanBoard* a elementu materiál v počtu definovaném v proměnné *AktualVelikosDavky* z virtuálního zásobníku mimo model. *ExpediceMaterialu* provede „zabalení“ všech načtených elementů pod jeden element *kartaN*. Danému elementu *kartaN* je změněna ikona na ikonu přepravky a je použito výstupní pravidlo PUSH s parametrem „Using Path“ k jeho odeslání do zásobníku *ZasobnikPrepravek* na příslušné odběratelské pracoviště.

Operace na odběratelském pracovišti:

V elementu *RozbaleniPrepravky* je použito složené vstupní pravidlo IF, v rámci kterého, je použito pravidlo PULL k načtení jednoho elementu *kartaN* ze zásobníku *ZasobnikPrepravek* pokud je zásobník *ZpracovavanaDavka* prázdný. *RozbaleniPrepravky* provede „rozbalení“ elementu *kartaN* na samostatný element *kartaN* a na elementy *material* v původním počtu. Dále je použito výstupní pravidlo SEQUENCE /Wait k odeslání elementu *kartaN* do zásobníku *SberneMisto* a všech elementů *material* do zásobníku *ZpracovavanaDavka*. V elementu *Stroj* je použito vstupní pravidlo PULL pro načítání elementů *material* ze zásobníku *ZpracovavanaDavka* výstupní pravidlo PUSH pro jejich odesílání do virtuálního zásobníku SHIP mimo model. Element *kartaN* je v zásobníku *SberneMisto* pozdržen po nastavenou hodnotu parametru *Delay Mode: Minimum*. V elementu *OdeslaniKarty* je nastaveno vstupní pravidlo PULL pro načtení elementu *kartaN* ze zásobníku *SberneMisto* a výstupní pravidlo PUSH pro jeho odeslání do zásobníku *KanbanBoard*.

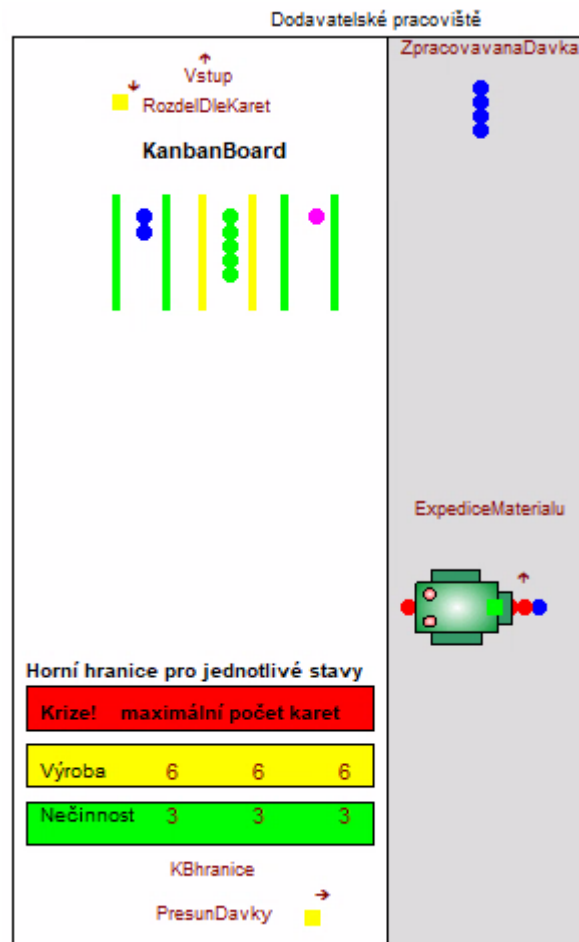
4.2 Jednokartový kanbanový okruh s dávkovým zpracováním karet

Danému modelu odpovídá soubor *modell1.mod*

Jedná se o model jednokartového kanbanového okruhu, ve kterém nejsou karty zpracovávány metodou FIFO, ale dávkově. Tento typ metody kanban je popsán v kapitole 2.2.5, včetně tří zónové kanbanové tabule pro skládání karet do výrobních dávek. Model popsán v této kapitole vychází z modelu, který je popsán v kapitole 4.1 a rozšiřuje ho o výše zmíněnou tabuli (viz obrázek 20).

Kapitola 2.2.5 popisuje různé přístupy v případě dosažení červené zóny. Zde v modelu dochází k upřednostnění dávky, u které jsou karty v červené zóně, před ostatními dávkami.

V následujícím popisu modelu budou uvedené jen části, které jsou rozdílné od kapitoly 4.1.



Obrázek 20. Simulace dávkové kanbanové tabule

Prvky modelu a jejich význam:

Vstup: místo pro doručení kanban karty

Rozdělení karet: operace rozdělení příchozí kanban karty do jednotlivých dávek podle druhů (okruhů) karet. První okruh = první sloupec.

Kanban board: V simulaci jsou tři ohraničené oddíly (slupce), každý pro karty z jednoho pracoviště. Barva ohraničení každého oddílu se mění podle počtu karet v něm obsažených, od zelené přes žlutou po červenou. Změna nastane po překročení úrovně pro daný oddíl, dle hodnot v barevných polích ve spodní části dodavatelského pracoviště (*KBhranice*). Na obrázku 20 jsou pro všechny oddíly stejné hodnoty, ale mohou být nastavené pro každý oddíl zvlášť. Dle obrázku 20 bude barva oddílu pro 1 až 3 karty zelená, pro 4 až 6 karet žlutá, pro více karet červená. Na reálné tabuli by byl např. sloupec přihrádek pro zakládání jednotlivých karet, přičemž první tři by měli zelenou barvu, další tři žlutou a zbytek by byl v barvě červené.

Přesun dávky: Operace přesunu dávky do pozice zpracovávaná dávka. Dle stanovených pravidel je odebrána z kanbanové tabule dávka karet, které je poté v řadě vyrobena.

Zpracovávaná dávka: Dávka právě vyráběných karet.

Nastavitelné parametry

Úrovně pro zelenou žlutou zónu pro každý oddíl kanbanové tabule: Tyto úrovně se nastavují v dialogu, který se spustí po dialogu hlavním. Např. číslo 3 pro zelenou roveň a 5 pro žlutou úroveň značí, že 1., 2. a 3. karta bude v zelené zóně, 4. a 5. ve žluté zóně a případné ostatní karty budou v červené zóně.

Zobrazované parametry

4.2.1 Popis sestavení modelu

Základní prvky modelu jsou:

- PresunDavky (element Machine typu Batch)
- RozdelDleKaret (element Machine typu Single)
- Vstup, ZpracovavanaDavka (elementy Buffer)
- KanbanBoard (element Buffer quantity 3) je v modelu ve třech kopiích.
- KBhranice (element Variable)
- karta1, karta2, karta3 (elementy Part) – V popisu je uvedeno kartaN pokud může být použit libovolný element.
- ExpediceMaterialu (element Machine typu Assembly)
- OdeslaniKarty, Stroj (elementy Machine typu Single)

Dále jsou v modelu použity elementy Attribute, Module, Variable, Function.

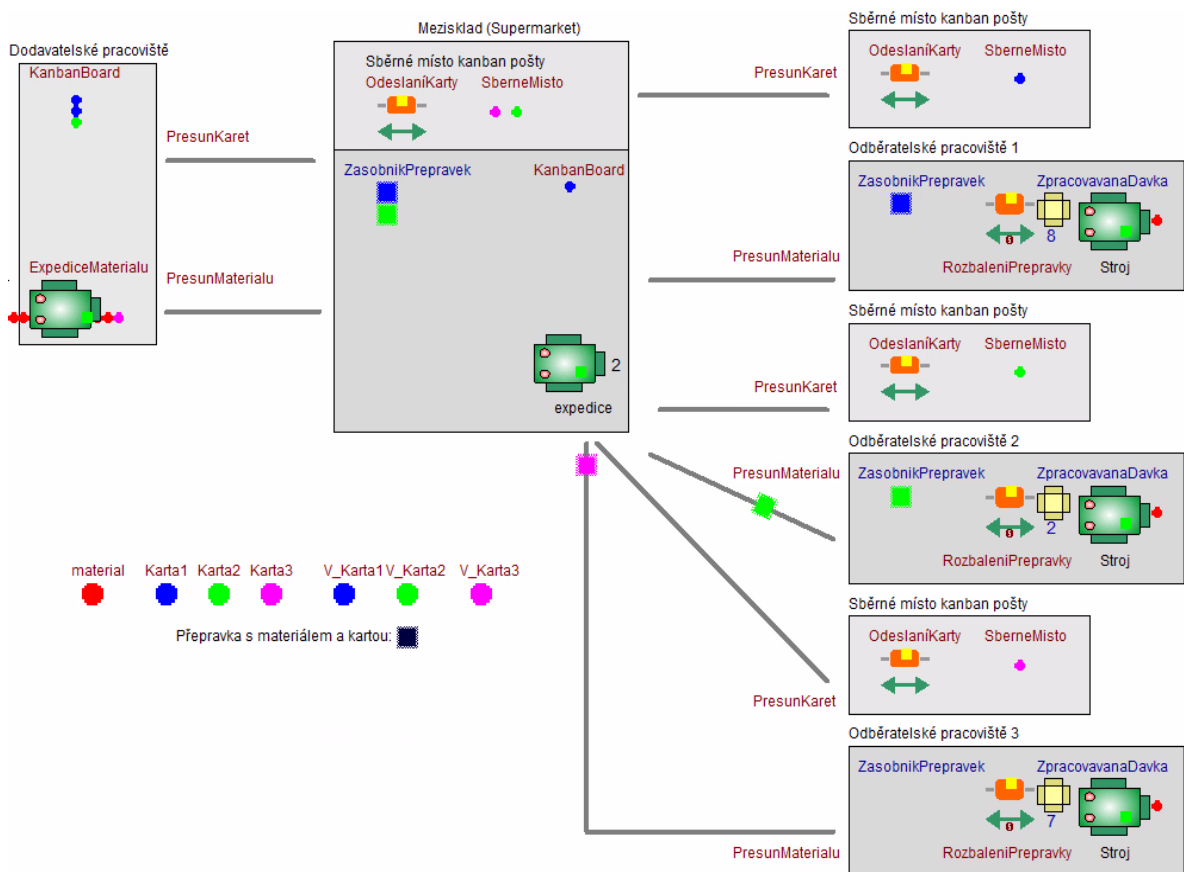
V elementu *RozdelDleKaret* je použito vstupní pravidlo PULL pro načtení elementu *kartaN* ze zásobníku *Vstup*. Výstupní pravidlo IF kontroluje, zda se jedná o element *karta1*, *karta2* nebo *karta3* a poté je použito vložené pravidlo PUSH pro odeslání elementu *kartaN* do příslušné kopie zásobníku *KanbanBoard*. Vstupní pravidlo IF elementu *PresunDavky* kontroluje, zda je zásobník *ZpracovavanaDavka* prázdný, pokud ano, načte vložené pravidlo PULL obsah vybrané kopie zásobníku *KanbanBoard*. Na výběru kopie se podílejí pomocné funkce. V elementu *PresunDavky* je dále použito výstupní pravidlo PUSH pro přesun celé dávky do zásobníku *ZpracovavanaDavka*.

Dále je sestavení modelu stejné jako v kapitole 4.1.1 jen element *ExpediceMaterialu* načítá element *kartaN* ze zásobníku *ZpracovavanaDavka* a element *OdeslaniKarty* odesílá element *kartaN* do zásobníku *Vstup*.

4.3 Duální kanbanový okruh

Jedná se o model duálního kanbanového okruhu, který je popsán v kapitole 2.2.2. Danému modelu odpovídá soubor model5.mod. Vlastní zobrazení modelu (viz obrázek 21) ukazuje, že model se skládá z jednoho dodavatelského a tří odběratelských pracovišť. Dle teorie metody kanban se jedná o tři samostatné kanbanové okruhy. Oběh karet a pohyb materiálu pro každý okruh je popsán na blokovém diagramu (viz Obrázek 8) v kapitole 2.2.2

Pohyby karet a materiálu pro každý okruh lze zastavit nastavením počtu karet na hodnotu 0 a nastavením dávky na kartu a operačního času stroje na libovolnou kladnou hodnotu.



Obrázek 21. Witness model duálního kanban okruhu

Prvky modelu a jejich význam:

Prvky zákaznický pracovišť a dodavatelského pracoviště jsou stejné jako u jednokartového kanbanového okruhu, který popisuje kapitola 4.1, nové jsou zde jen prvky v meziskladu.

Zásobník přepravek v meziskladu: Místo, kde se ukládají přepravky spolu s výrobní kartou.

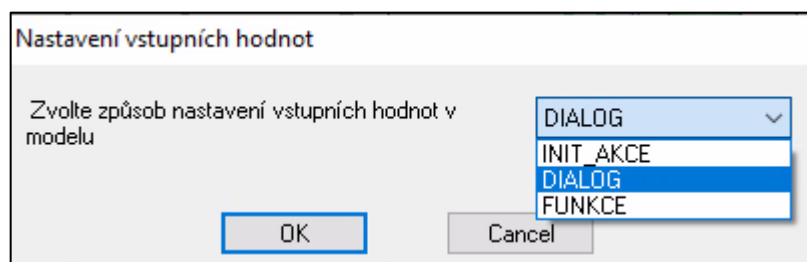
Kanban Board meziskladu: Místo, kde jsou zakládány karty došlé na mezisklad od odběratelského pracoviště, než jsou zpracované v expedici.

Expedice: Stanoviště, kde se za stanovený čas vezme karta transportního okruhu s kanbanové tabule, vyhledá se přepravka, jejíž výrobní karta odpovídá kartě z transportního okruhu, v simulaci mají karty stejné barvy. Výrobní karta je přepravky odebrána a zařazena do sběrného místa kanban pošty meziskladu. K přepravce je přidána karta transportního okruhu a přepravka je vyexpedována.

Sběrné místo kanban pošty meziskladu: Místo, kde je umístěna výrobní karta před jejím odesláním na dodavatelské pracoviště.

Nastavitelné parametry

Po spuštění se zobrazí rozšířený dialog na obrázku č. 22.



Obrázek 22. Výběr způsobu nastavení parametrů modelu

Při volbě „DIALOG“ dialog lze nastavit stejné parametry jako v kapitole 4.1 a navíc v druhé části dialogu.

Počet výrobních karet pro okruh 1–3: Počty karet pro výrobní kanbanové okruhy.

Manipulační čas meziskladu: Doba, kterou trvá vychystání jedné dávky materiálu.

Čas zpracování karty: Jak dlouho je karta ve sběrném místě kanban pošty, než je odeslána na dodavatelské pracoviště. Pokud je na sběrném místě více karet, ostatní karty se pošlou spolu z první uvolněnou kartou.

Při volbě „FUNKCE“ nejsou parametry modelu nastavené na konstantní hodnoty. Pro každé použití prvku je volána funkce modelu Nastaveni_Casu. V dané funkci prvku přiřadí náhodně generovaná hodnota použitím vhodné distribuční funkce programu Witness, kterou si znalí uživatelé prostřední Witness mohou přepsat dle vlastního uvážení. Výpis funkce Nastaveni_Casu je na obr. č.23.

Před použitím volby „FUNKCE“ je potřeba nastavit počty karet a dávky na kartu některou z předchozích metod.

```

DIM jmeno_vol AS STRING
DIM cas AS REAL
|
|
jmeno_vol = Name2Str (volajici)
!MsgDlg ("volajici element",1,"jmeno_volajiciho elementu je : " + jmeno_vol,"%OK",1)
|
IF jmeno_vol = "Supermarket.expedice(1)" ! doba mezi vyzvednutí karty z kanbanové tabule meziskladu a vyexpedováním požadovaného materiálu [min]
cas = Uniform (6,8)
ELSEIF jmeno_vol = "Supermarket.KanbanBoard(1)" ! Doba čekání karty ve sběrném místě u meziskladu [min]
cas = 2
ELSEIF jmeno_vol = "Supermarket.PresunMaterialu" ! Doba přesunu materiálu od dodavatelského pracoviště k meziskladu[min]
cas = Uniform (16,24)
ELSEIF jmeno_vol = "ZP1.SberneMisto(1)" ! Doba čekání karty ve sběrném místě u zákaznického pracoviště č.1 [min]
cas = TNormal (30,5,24,36)
ELSEIF jmeno_vol = "ZP2.SberneMisto(1)" ! Doba čekání karty ve sběrném místě u zákaznického pracoviště č.2 [min]
cas = TNormal (30,5,24,36)
ELSEIF jmeno_vol = "ZP3.SberneMisto(1)" ! Doba čekání karty ve sběrném místě u zákaznického pracoviště č.3 [min]
cas = TNormal (30,5,24,36)
ELSEIF jmeno_vol = "ZP1.Stroj(1)" ! Operační čas stroje na jednotku materiálu, zákaznické pracoviště č.1 [min]
cas = 2
ELSEIF jmeno_vol = "ZP2.Stroj(1)" ! Operační čas stroje na jednotku materiálu, zákaznické pracoviště č.2 [min]
cas = 3
ELSEIF jmeno_vol = "ZP3.Stroj(1)" ! Operační čas stroje na jednotku materiálu, zákaznické pracoviště č.3 [min]
cas = 4
ELSEIF jmeno_vol = "ZP1.PresunMaterialu" ! Doba přesunu materiálu od meziskladu k zákaznickému pracovišti č.1 [min]
cas = Uniform (6,14)
ELSEIF jmeno_vol = "ZP2.PresunMaterialu" ! Doba přesunu materiálu od meziskladu k zákaznickému pracovišti č.2 [min]
cas = Uniform (8,16)
ELSEIF jmeno_vol = "ZP3.PresunMaterialu" ! Doba přesunu materiálu od meziskladu k zákaznickému pracovišti č.3 [min]
cas = Uniform (10,18)
ELSEIF jmeno_vol = "ZP1.PresunKaret" ! Doba přesunu karty od zákaznického pracoviště č. 1 k dodavatelskému [min]
cas = Uniform (6,10)
ELSEIF jmeno_vol = "ZP2.PresunKaret" ! Doba přesunu karty od zákaznického pracoviště č. 2 k dodavatelskému [min]
cas = Uniform (6,10)
ELSEIF jmeno_vol = "ZP3.PresunKaret" ! Doba přesunu karty od zákaznického pracoviště č. 3 k dodavatelskému [min]
cas = Uniform (8,12)
ELSEIF jmeno_vol = "Supermarket.SberneMisto(1)" ! Doba čekání karty ve sběrném místě u meziskladu [min]
cas = TNormal (30,5,28,37)
ELSEIF jmeno_vol = "Supermarket.PresunKaret" ! Doba přesunu karty od meziskladu k dodavatelskému pracovišti [min]
cas = Uniform (8,12)
ELSEIF jmeno_vol = "KanbanBoard(1)" ! Doba čekání na kanbanové tabuli dodavatelského pracoviště [min]
cas = Uniform (4,6)
ELSEIF jmeno_vol = "ExpediceMaterialu(1)" ! Operační čas stroje na jednotku materiálu na dodavatelském pracovišti [min]
cas = Uniform (0,2,0,8)
ELSE ! nastavení univerzálního času v případě že nedojde výše k žádnému výběru
cas = 5
ENDIF
|
RETURN cas

```

Obrázek 23. Výpis funkce Nastaveni_Casu

Zobrazované parametry

Hodnoty výrobního okruhu: Zobrazují hodnoty okruhu mezi meziskladem a dodavatelským pracovištěm. Hodnoty jsou stejné jako hodnoty u odběratelského pracoviště, které jsou popsány v bodě 4.1, protože mezisklad je ve výrobním okruhu na pozici odběratelského pracoviště.

Celkem materiálu v okruhu: Aktuální stav materiálu v okruhu v kusech, zahrnuje materiál u odběratelského pracoviště, materiál v meziskladu, materiál na cestě mezi dodavatelským pracovištěm a meziskladem a též materiál mezi meziskladem a odběratelským pracovištěm i materiál, který se zpracovává na stroji na odběratelském pracovišti.

Průměr okruhu, Min. materiál Okruhu, Max. materiál Okruhu: Hodnoty navázané na ukazatel *Celkem materiálu v okruhu*. (všechny zde uvedené hodnoty patří mezi hodnoty ukládané)

Setup v koláčovém grafu: Ukazuje kolik procent z doby běhu simulace byl stroj na dodavatelském pracovišti v režimu přenastavování.

Broken down v koláčovém grafu: Ukazuje kolik procent z doby běhu simulace byly expedice na dodavatelské pracovišti, nebo v meziskladu mimo provoz v důsledku prostojů a poruch.

4.3.1 Popis sestavení modelu

Základní prvky modelu jsou:

- material (element Part)
- karta1, karta2, karta3 (elementy Part)
- V_karta1, V_karta2, V_karta3 (elementy Part)
- ExpediceMaterialu (element Machine typu Assembly)
- Expedice (element Machine typu General)
- OdeslaniKarty (element Machine typu Batch)
- Stroj (elementy Machine typu Single)
- RozbaleniPrepravky (element Machine typu Production)
- PresunKaret, PresunMaterialu (elementy Path)
- KanbanBoard, SberneMisto, ZasobnikPrepravek, ZpracovavanaDavka (elementy Buffer)
- Dále jsou v modelu použity elementy Attribute, Module, Variable, Function.

Pro elementy *Karta1-3* a *V_karta1-3* je v následujícím popisu zaveden zástupný popis *kartaN*, v místech, kde není nutné rozlišovat typ karty.

Operace na dodavatelském pracovišti:

V zásobníku *KanbanBoard* je příchozí element pozdržen po nastavenou hodnotu parametru *Delay Mode: Minimum*. V elementu *ExpediceMaterialu* je použito vstupní pravidlo

SEQUENCE /Wait pro načtení jednoho elementu *kartaN* ze zásobníku *KanbanBoard* a elementu materiál v počtu definovaném v proměnné *AktualVelikosDavky* z virtuálního zásobníku mimo model. *ExpediceMaterialu* provede „zabaleni“ všech načtených elementů pod jeden element *kartaN*. Danému elementu *kartaN* je změněna ikona na ikonu přepravky a je použito výstupní pravidlo PUSH s parametrem „Using Path“ k jeho odeslání do zásobníku *ZasobnikPrepravek* v meziskladu.

Operace v meziskladu:

V zásobníku *KanbanBoard* je příchozí element pozdržen po nastavenou hodnotu parametru *Delay Mode: Minimum*. V elementu *Expedice* je použito vstupní pravidlo MATCH/ATTRIBUTE pro načtení jednoho elementu *kartaN* ze zásobníku *KanbanBoard* a jednoho „zabaleného“ elementu *kartaN* ze zásobníku *ZasobnikPrepravek*. Hodnota atributu *Druh* zaručí správné spárování karet pro konkrétní odběratelské pracoviště. Výstupní pravidlo IF elementu *Expedice* odešle „zabalenou“ *kartuN* za použití vloženého pravidla PUSH do zásobníku *ZasobnikPrepravek* na příslušné odběratelské pracoviště a samostatnou *kartuN* do zásobníku *SberneMisto* meziskladu. Element *kartaN* je v zásobníku *SberneMisto* pozdržen po nastavenou hodnotu parametru *Delay Mode: Minimum* a poté odeslán elementem *OdeslaniKarty* za použití pravidel PULL a PUSH do zásobníku *KanbanBoard* na dodavatelském pracovišti.

Operace na odběratelském pracovišti jsou popsány v kapitole 4.1.1.

5 SIMULAČNÍ EXPERIMENTY

Vytvořené simulační modely představují některé základní typy metody kanban, simulační experimenty se soustředí na některé základní parametry dané metody, jako je rozdíl mezi zpracováním FIFO a dávkovým zpracováním, volbou optimální kapacity přepravky, pojistnou zásobu.

5.1 dávkové zpracování

5.1.1 Cíl simulace

Pokud na výrobním stroji dochází ke změně druhu výrobku, je často nutné provést přenastavení parametrů stroje. V průběhu tohoto přenastavování stroj nevyrobí, což znamená ztrátu výkonu. Při výrobním procesu bývá proto snaha tyto ztráty omezit výrobou většího množství stejného výrobku v řadě. Pro kanbanový okruh to znamená seskupovat více karet stejného druhu, a poté jejich výroba v jedné dávce. Cíl simulace je porovnat, jak velký může být výkonový rozdíl mezi přístupem, kdy se karty seskupují a přístupem, kdy jsou karty zpracovávány v pořadí FIFO. Simulační experiment simuluje výrobní pracoviště, ve kterém jeden stroj vyrábí tři druhy polotovarů, které jsou dále zpracovávány na třech dalších pracovištích.

5.1.2 Popis provedení simulačního experimentu

Pro simulační experiment byly použity dva modely: Jednokartový kanbanový okruh s dávkovým zpracováním (viz kapitola 4.2), dále model1 a jedno kartový kanbanový okruh (viz kapitola 4.1) dále model2. Oba modely jsou stejné, jen první umožňuje seskupování karet a druhý zpracovává karty metodou FIFO. Parametry výchozího nastavení obou modelů a jsou stejné a jsou vypsané v tabulce č. 3.

Tabulka 3. Zadané hodnoty pro experiment dávkové zpracování

	DZ	OZ1	OZ2
Celková doba běhu simulace [min]	4320	4320	4320
Vyhodnocovaná doba běhu simulace [min]	3840	3840	3840
Hodnoty za dodavatelské pracoviště			
čas přenastavení stroje [min]	10	10	10
Operační čas stroje na jednotku materiálu [min]	0,1	0,1	0,1
čas čekání na kanbanové tabuli [min]	0	0	0
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č. 1			
Operační čas stroje na jednotku materiálu [min]	1	1	1
dávka na kartu (kusů v přepravce) [ks]	10	10	10

	DZ	OZ1	OZ2
Počet karet v okruhu [ks]	13	6	2
Doba přesunu materiálu [min]	20	20	20
Doba čekání karty u pracoviště [min]	10	10	10
Doba přesunu karty [min]	10	10	10
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č. 2			
Operační čas stroje na jednotku materiálu [min]	1	1	1
dávka na kartu (kusů v přepravce) [ks]	20	20	20
Počet karet v okruhu [ks]	7	3	2
Doba přesunu materiálu [min]	20	20	20
Doba čekání karty u pracoviště [min]	10	10	10
Doba přesunu karty [min]	10	10	10
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č. 3			
Operační čas stroje na jednotku materiálu [min]	1	1	1
dávka na kartu (kusů v přepravce) [ks]	30	30	30
Počet karet v okruhu [ks]	5	2	1
Doba přesunu materiálu [min]	20	20	20
Doba čekání karty u pracoviště [min]	10	10	10
Doba přesunu karty [min]	10	10	10

Doba běhu simulací byla stanovena na teoretických 9 směn (8x60min na směnu) což znamená 4320 min, přičemž první směna byla vyhrazena na zavedení materiálu do okruhu, výsledné údaje jsou proto za posledních 3840 min simulace.

Pro model1 se stanovil počet karet v simulaci tak, aby zásoba materiálu u pracovišť byla minimální, ale ještě byla zajištěna 99% - 100% využitost stroje. Stejný přístup byl zvolen i pro model2, ale zde byl počet karet stanoven při nulovém čase přenastavení.

Pro model1 byl proveden jeden simulační běh, který je v tabulkách označen jako DZ (dávková změna). Výsledky běhu (tabulka 4) byly shledány jako vyhovující, z důvodu prakticky 100% využití odběratelských pracovišť. Celkově bylo na třech odběratelských pracovištích vyrobeno 11515 ks výrobků.

Pro model2 byl nejprve proveden simulační běh, který je v tabulkách označen jako OZ1 (okamžitá změna). Po vyhodnocení výsledků běhu (tabulka 4) bylo shledáno, že stroj se přes 83 % času nacházel ve fázi přenastavování. Celkový výkon všech odběratelských pracovišť byl 6392 ks výrobků, což je 55,1 % výkonu scénáře DZ. Jelikož zvyšování počtu karet nedávalo smysl, protože již nyní se jen karty hromadily na kanbanové tabuli, nabízela se otázka, jaký by byl výkon pracoviště, pokud by se na něm nestřídaly jen stavy zátěže a přenastavování. Proto byl realizován scénář OZ2, ve kterém je počet karet v okruzích snížen na

hodnoty, při kterých je dodavatelské pracoviště alespoň necelých 8 % času ve stavu nečinnosti. Tento scénář dává ve výsledku mírné zlepšení oproti scénáři OZ1 a to 6530 ks vyrobených výrobků oproti 6392 ks.

Tabulka 4. Výsledné hodnoty pro experiment dávkové zpracování

	DZ	OZ1	OZ2
Počet vyrobených kusů na všech zákaznických pracovištích za dobu simulace [ks]	11515	6392	6530
Hodnoty za dodavatelské pracoviště			
Doba nečinnosti stroje [%]	32,86 %	0,00 %	7,60 %
Doba zátěže stroje [%]	29,87 %	16,67 %	16,95 %
Doba přenastavování stroje [%]	37,27 %	83,33 %	75,44 %
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č.1			
Minimální počet materiálu u pracoviště [ks]	0	0	0
Maximální počet materiálu u pracoviště [ks]	82	17	17
Minimální počet materiálu v celém okruhu [ks]	18	4	0
Maximální počet materiálu v celém okruhu [ks]	104	26	20
Časově vážený průměr mat. u pracoviště [ks]	45,78	4,35	3,21
Časově vážený průměr materiálu v okruhu [ks]	68,05	16,41	11,37
Doba nečinnosti stroje [%]	0,08 %	44,56 %	62,29 %
Doba zátěže stroje [%]	99,92 %	55,44 %	37,71 %
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č.2			
Minimální počet materiálu u pracoviště [ks]	0	0	0
Maximální počet materiálu u pracoviště [ks]	101	19	19
Minimální počet materiálu v celém okruhu [ks]	19	0	12
Maximální počet materiálu v celém okruhu [ks]	123	36	36
Časově vážený průměr mat. u pracoviště [ks]	58,83	5,59	7,20
Časově vážený průměr materiálu v okruhu [ks]	80,80	17,38	23,03
Doba nečinnosti stroje [%]	0,05 %	44,45 %	24,51 %
Doba zátěže stroje [%]	99,95 %	55,55 %	75,49 %
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č.3			
Minimální počet materiálu u pracoviště [ks]	22	0	0
Maximální počet materiálu u pracoviště [ks]	120	29	29
Minimální počet materiálu v celém okruhu [ks]	44	0	0
Maximální počet materiálu v celém okruhu [ks]	142	32	30
Časově vážený průměr mat. u pracoviště [ks]	72,61	8,24	8,16
Časově vážený průměr materiálu v okruhu [ks]	94,55	20,01	19,97
Doba nečinnosti stroje [%]	0,00 %	44,53 %	43,15 %
Doba zátěže stroje [%]	100,00 %	55,47 %	56,85 %

5.1.3 Vyhodnocení experimentu

Simulační experiment ukázal, že čas přenastavování u dodavatelského pracoviště může mít podstatný vliv na výkon následných zákaznických pracovišť, a že metoda seskupování karet do výrobních dávek je účinná metoda na omezení toho vlivu. Cenou za udržení výkonu je více karet v oběhu a tím pádem větší množství zásob na pracovištích.

5.2 Snížení zátěže skladu

5.2.1 Cíl simulace

Zatímco v experimentu z kapitoly 5.1. bylo řešeno udržení výkonu odběratelských pracovišť, nejlépe na 100% hodnotě, v tomto experimentu je 100% zatížení výchozí problém, který je zde řešen za využití simulačního modelu. Řešený je transportní kanbanový okruh, ve kterém je odběratelské výrobní pracoviště zásobováno polotovary ze skladu pracoviště. Polotovary jsou nakupovány u externího dodavatele a objednávané množství v balení lze v objednávce definovat. Množství kusů na příchozí kartě odpovídá velikosti balení a prací skladníka je vyzvednout příslušné balení a připravit ho do expedičního prostoru k odvozu. Problém je, že při současném stavu je skladník vytížen na 100 % jen vyřizování požadavků daného okruhu. Cíle je snížit jeho zatížení alespoň na 30 %, samozřejmě ne proto, aby měl větší klid, ale by se mohl věnovat i jiné práci.

5.2.2 Popis provedení simulačního experimentu

V následné simulaci je o balení materiálu hovořeno jako o dávce.

Pro simulační experiment byl upravený model z kapitoly 4.1. Úprava spočívá jen v tom, že se čas pro vychystání dávky na jednu kartu nezadává na kus, ale na celou dávku, tzn. že je nezávislý na velikosti vychystávané dávky. Daný model obsahuje jedno dodavatelské pracoviště, které bude pro tento případ označováno jako sklad a tři odběratelské pracoviště. Jelikož pro experiment bylo potřeba jen jedno odběratelské pracoviště, u ostatních dvou byl počet karet okruhu nastaven na hodnotu 0 a operační čas a dávka na kartu na 1. Model je uložen v souboru model3.mod.

Pro daný model bylo vytvořeno několik scénářů, zadané hodnoty pro jednotlivé scénáře jsou v tabulce 5 a výsledné hodnoty jsou v tabulce 6.

Tabulka 5. Zadané hodnoty pro experiment snížení zátěže skladu

	X1	X2	X3	X4	X5
Hodnoty za sklad.					
čas čekání na kanbanové tabuli [min]	10	10	10	10	10
Čas expedice jedné dávky materiálu [min]	15	15	15	15	15
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č.1					
Operační čas stroje na jednotku mat. [min]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
dávka na kartu (kusů v přepravce) [ks]	150	200	250	300	350
Počet karet v okruhu [ks]	6	5	4	3	3
Doba přesunu materiálu [min]	30	30	30	30	30
Doba čekání karty u pracoviště [min]	10	10	10	10	10
Doba přesunu karty [min]	20	20	20	20	20
Hodnoty za sklad.	X6	X7	Y1	Y2	
čas čekání na kanbanové tabuli [min]	10	10	10	10	
Čas expedice jedné dávky materiálu [min]	15	15	10	10	
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č.1					
Operační čas stroje na jednotku mat. [min]	0,1	0,1	0,1	0,1	
dávka na kartu (kusů v přepravce) [ks]	400	500	300	350	
Počet karet v okruhu [ks]	3	2	3	3	
Doba přesunu materiálu [min]	30	30	30	30	
Doba čekání karty u pracoviště [min]	10	10	10	10	
Doba přesunu karty [min]	20	20	20	20	

Doba běhu simulací pro každý scénář, byla stanovena na teoretických 9 směn (8x60min na směnu) což znamená 4320min, přičemž první směna byla vyhrazena na zavedení materiálu do okruhu, výsledné údaje jsou proto za posledních 3840 min simulace.

Při řešení problému bylo vycházeno z toho, že při zvyšování dávky na jednu kartu bude dávka zpracovávána déle a požadavky nebudou chodit tak často. Vstupní scénář X1 obsahuje hodnoty, při kterých vytížení skladu dosáhne 100%, v každém dalším scénáři, jehož značení začíná písmenem X, byla dávka na kartu zvýšena o 50ks. Pokud zvýšení dávky na kartu znamenalo snížení počtu karet v okruhu, byl počet karet ve scénáři snížen. Počáteční hodnota scénáře X1 byla 150ks na kartu, požadovaného zatížení skladu bylo dosaženo při hodnotě 500ks na kartu. Při procházení výsledků scénáře bylo zjištěno, že zatím co zdvojnásobení dávky na kartu ze 150 na 300 ks, sníží zátěž o 50%, na snížení zátěže o dalších 20% je potřeba navýšit dávku o dalších 200ks. Proto byly zváženy i další možnosti řešení daného problému a ty byly realizovány ve scénářích Y1 a Y2. Dané scénáře přepokládali snížení času expedice na jednu dávku z 15 na 10 minut. Daném úspory mohlo být dosaženo třeba

změnou uspořádání skladu. Při snížení doby expedice bylo poté dosaženo požadovaného zatížení pracoviště již při dávce 350ks na kartu.

Tabulka 6. Výsledné hodnoty pro experiment snížení zátěže skladu

	X1	X2	X3	X4	X5
Hodnoty za sklad.					
Doba nečinnosti pracoviště [%]	0,0 %	25,0 %	40,1 %	50,0 %	57,0 %
Doba zátěže pracoviště [%]	100 %	75,0 %	59,9 %	50,0 %	43,0 %
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č.1					
Minimální počet materiálu u pracoviště [ks]	0	150	150	50	200
Maximální počet materiálu u pracoviště [ks]	140	350	400	350	550
Minimální počet mat. celém okruhu [ks]	310	460	460	360	510
Maximální počet mat. v celém okruhu [ks]	451	651	701	651	851
Časově vážený průměr mat. u pracoviště [ks]	68,50	249,86	275,91	203,56	375,37
Časově vážený průměr mat. v okruhu [ks]	377,15	550,62	576,78	503,86	676,94
Doba nečinnosti stroje [%]	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Doba zátěže stroje [%]	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Hodnoty za sklad.	X6	X7	Y1	Y2
Doba nečinnosti pracoviště [%]	62,5 %	69,9 %	66,7 %	71,5 %
Doba zátěže pracoviště [%]	37,5 %	30,1 %	33,3 %	28,5 %
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č.1				
Minimální počet materiálu u pracoviště [ks]	350	150	100	250
Maximální počet materiálu u pracoviště [ks]	750	650	400	600
Minimální počet mat. celém okruhu [ks]	660	460	410	560
Maximální počet mat. v celém okruhu [ks]	1051	951	701	901
Časově vážený průměr mat. u pracoviště [ks]	547,27	400,86	253,47	425,62
Časově vážený průměr mat. v okruhu [ks]	850,01	702,42	554,46	728,00
Doba nečinnosti stroje [%]	0 %	0 %	0 %	0 %
Doba zátěže stroje [%]	100 %	100 %	100 %	100 %

5.2.3 Vyhodnocení experimentu

Za použití simulačního modelu a vhodný scénářů bylo rychle dosaženo požadovaného řešení, protože vlastní běh simulace trvá poměrně krátkou dobu. Z výsledných hodnot simulace též vyplývá, že cenou za snížení zátěže skladu, je zvýšení zásob materiálu v okruhu a u odběratelského pracoviště.

5.3 Určení počtu karet ve stochastickém modelu duálního kanbanového okruhu

5.3.1 Cíl simulace

Předchozí modely pracovaly s konstantními časovými parametry pro jednotlivé operace, ale v reálném prostředí bývají časy operací variabilní. Dále se při reálné výrobě vyskytují nežádoucí prostoje, jako poruchy zařízení, nutnost seřizování a údržby, prostoje kvůli nedisciplinovanosti zaměstnanců. Variabilní časy a prostoje mohou vést k výpadkům zásobování materiálem na odběratelském pracovišti a tím k prostojům na daném pracovišti, což je většinou nežádoucí. Ke kompenzování variability dodávek materiálu slouží tak zvaná pojistná zásoba, což je navýšení hodnot materiálu v okruhu nad ideální stav.

Cílem simulačního experimentu je vytvořit model pracoviště, které využívá duální kanbanové okruhy s konstantními časovými hodnotami jednotlivých operací. Počet karet bude nastaven tak, aby zásobování materiálem umožnilo 100% činnost odběratelského pracoviště.

Ve druhém kroku upravit daný model, tak aby časy jednotlivých operací byly generovány náhodně (v určitém rozmezí), kde střední hodnota použitého rozdělení pravděpodobnosti se bude rovnat dřívější konstantní hodnotě daného parametru. Do modelu navíc budou přidány náhodně se vyskytující prostoje. Počet karet zůstane stejný z předchozího kroku. Cílem bude vyhodnotit, zda zásobování materiálem pořád umožňuje 100% činnost pracoviště, a pokud ne, tak nastavit nové počty karet, aby bylo alespoň 99% vykrytí odběratelských pracovišť, přičemž ale aby karet bylo v okruhu co nejméně.

5.3.2 Popis provedení simulačního experimentu

Pro simulační experiment byl zvolen model duálního kanbanového okruhu, který je popsán v kapitole 4.3. Dále je v experimentu použita verze daného modelu upravená pro běh modulu Experimenter programu Witness. Daná úprava spočívá ve vypnutí dialogů pro nastavení parametrů modelu. Upravenému modelu odpovídá soubor model5_exp.mod. Nastavení modulu Experimenter jsou uložena v souborech ex1.wexp ex2.wexp.

V prvním kroku byly v modelu nastaveny parametry dle tabulky 7, sloupec Det. Počet karet pro kanbanové okruhy byl spočítán dle vzorců (6) a (7) přičemž bezpečnostní koeficient $\alpha = 0$, protože v modelu neexistuje variabilita, takže není nutné nastavovat bezpečnostní zásobu.

Tabulka 7. Zadané hodnoty pro experiment určení počtu karet

	Det	Stochastická	
		frekvence výskytu	doba trvání
Celková doba běhu simulace [min]	7000		7000
Vyhodnocovaná doba běhu simulace [min]	6520		6520
Hodnoty za dodavatelské pracoviště			
čas čekání na kanbanové tabuli [min]	5		Uniform (4,6)
Operační čas stroje na jednotku materiálu [min]	0,5		Uniform (0.2,0.8)
Běžná údržba [min]		Normal (480,5)	TNormal (25,10,16,40)
Poruchy [min]		Normal (1000,100)	Normal (60,10)
Seřízení při změně výrobku [min]			Uniform (1,3)
Seřízení po počtu cyklů [počet cyklů min]		TNormal (30,10,20,40)	Uniform (15,25)
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č. 1			
Operační čas stroje na jednotku materiálu [min]	2		2
dávka na kartu (kusů v přepravce) [ks]	10		10
Počet karet v okruhu [ks]	4		4
Doba přesunu materiálu [min]	10		Uniform (6,14)
Doba čekání karty u pracoviště [min]	30		TNormal (30,5,24,36)
Doba přesunu karty [min]	8		Uniform (6,10)
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č. 2			
Operační čas stroje na jednotku materiálu [min]	3		3
dávka na kartu (kusů v přepravce) [ks]	10		10
Počet karet v okruhu [ks]	3		3
Doba přesunu materiálu [min]	12		Uniform (8,16)
Doba čekání karty u pracoviště [min]	30		TNormal (30,5,24,36)
Doba přesunu karty [min]	8		Uniform (6,10)
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č. 3			
Operační čas stroje na jednotku materiálu [min]	4		4
dávka na kartu (kusů v přepravce) [ks]	10		10
Počet karet v okruhu [ks]	2		2
Doba přesunu materiálu [min]	14		Uniform (10,18)
Doba čekání karty u pracoviště [min]	30		TNormal (30,5,24,36)
Doba přesunu karty [min]	10		Uniform (8,12)
Hodnoty za mezisklad (supermarket)			
čas čekání na kanbanové tabuli [min]	2		2
Doba čekání karty ve sběrném místě [min]	30		TNormal (30,5,28,37)
doba mezi vyzvednutím karty z kanbanové tabule mezi- skladu a vyexpedováním požadovaného materiálu [min]	7		Uniform (6,8)
Doba přesunu materiálu [min]	20		Uniform (16,24)

	Det	Stochastická	
Doba přesunu karty [min]	10		Uniform (8,12)
Počet výrobních karet pro 1. odběratelské pracoviště [ks]	4		4
Počet výrobních karet pro 2. odběratelské pracoviště [ks]	3		3
Počet výrobních karet pro 3. odběratelské pracoviště [ks]	2		2
Prostoje [min]		Normal (120,20)	Uniform (5,20)

Výsledky běhu simulace s danými hodnotami jsou v tabulce 8 ve sloupci deterministický model. Výsledky ukazují, že zátěž odběratelských pracovišť je 100% a úroveň materiálu v okruzích je nízká.

Tabulka 8. Výsledné hodnoty pro experiment určení počtu karet

	deterministický model	Stochastický model
Hodnoty za celou simulaci (všechny okruhy)		
Časově vážený průměr mat. [ks]	98,13	72,70
Minimální počet materiálu [ks]	112	108
Maximální počet materiálu [ks]	84	5
Hodnoty za dodavatelské pracoviště		
Doba nečinnosti stroje [%]	45,81 %	22,82 %
Doba zátěže stroje [%]	54,19 %	49,69 %
Doba seřizování a prostoje stroje [%]	0,00 %	27,50 %
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č.1		
Minimální počet materiálu u pracoviště [ks]	10	0
Maximální počet materiálu u pracoviště [ks]	27	26
Minimální počet materiálu v celém okruhu [ks]	33	0
Maximální počet materiálu v celém okruhu [ks]	52	47
Časově vážený průměr mat. u pracoviště [ks]	18,51	8,29
Časově vážený průměr materiálu v okruhu [ks]	42,33	28,50
Doba nečinnosti stroje [%]	0,00 %	10,58 %
Doba zátěže stroje [%]	100,00 %	89,42 %
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č.2		
Minimální počet materiálu u pracoviště [ks]	6	0
Maximální počet materiálu u pracoviště [ks]	20	23
Minimální počet materiálu v celém okruhu [ks]	27	0
Maximální počet materiálu v celém okruhu [ks]	42	45
Časově vážený průměr mat. u pracoviště [ks]	13,64	10,78
Časově vážený průměr materiálu v okruhu [ks]	34,49	27,51
Doba nečinnosti stroje [%]	0,00 %	2,23 %
Doba zátěže stroje [%]	100,00 %	97,77 %
Hodnoty pro odběratelské pracoviště č.3		
Minimální počet materiálu u pracoviště [ks]	3	0

	deterministický model	Stochastický model
Maximální počet materiálu u pracoviště [ks]	14	18
Minimální počet materiálu v celém okruhu [ks]	16	0
Maximální počet materiálu v celém okruhu [ks]	27	30
Časově vážený průměr mat. u pracoviště [ks]	8,68	5,22
Časově vážený průměr materiálu v okruhu [ks]	21,32	16,69
Doba nečinnosti stroje [%]	0,00 %	12,20 %
Doba zátěže stroje [%]	100,00 %	87,80 %
Hodnoty pro mezisklad (supermarket)		
Minimální počet materiálu u pracoviště [ks]	0	0
Maximální počet materiálu u pracoviště [ks]	30	50
Minimální počet materiálu v celém okruhu [ks]	30	0
Maximální počet materiálu v celém okruhu [ks]	50	80
Časově vážený průměr mat. u pracoviště [ks]	12,22	9,78
Časově vážený průměr materiálu v okruhu [ks]	40,05	33,44
Doba nečinnosti pracoviště [%]	24,20 %	24,10 %
Doba činnosti pracoviště [%]	75,80 %	69,87 %
Doba pro prostoje [%]	0,00 %	6,03 %

V druhém kroku byly nastaveny hodnoty pro pravděpodobnostní funkce, generující náhodné hodnoty parametrů modelu. Dané hodnoty lze v rámci modelu nastavit v kódu funkce `NastaveniCasu`. Po spuštění byla ve spouštěcím dialogu zvolena volba `FUNCE`. Při tomto typu spuštění se hodnoty počtu karet a dávek na jednu kartu nenastavují, ale přebírají se z předchozího nastavení. Výsledky běhu simulace jsou v tabulce 8 ve sloupci `stochastický model`. Z výsledku je vidět, že hodiny zátěže odběratelských pracovišť jsou pod požadovanými 99 %, zbylý čas tvoří prostoje v důsledku nedostatku materiálu. Pro vyřešení problémů s nedostatkem materiálu je nutné navýšit materiál v okruzích navýšením počtu karet. Místo výpočtu nových počtů karet za pomoci vzorců (6) a (7) a následném testování, zda nové nastavení vyhovuje podmínkám, byl k řešení použit modul `Experimenter` programu `Witness`.

`Experimenter` postupně nastavuje zvolené parametry modelu na hodnoty ze zvoleného rozsahu, nechá proběhnou simulaci a následně zavolá definovanou funkci s názvem `Objective`, která vrací číselnou hodnotu. Ve výsledcích se následně hledá, dle nastavení, maximální nebo minimální hodnota, která znamená nejlepší scénář. Můžeme zvolit vyhodnocení pro všechny vstupní kombinace, pro náhodně zvolený počet vstupních kombinací, nebo zvolit optimalizační algoritmus, který se pokusí nejlepší hodnotu nalézt.

Funkce Objective v použitém modelu vrací hodnotu 0, pokud je doba zátěže jakéhokoliv stroje na odběratelských pracovištích menší jak 99 %, pokud je větší, tak vrací hodnotu dle vzorce (24)

$$OB = \frac{1}{PM} \cdot 100 \quad (24)$$

Kde:

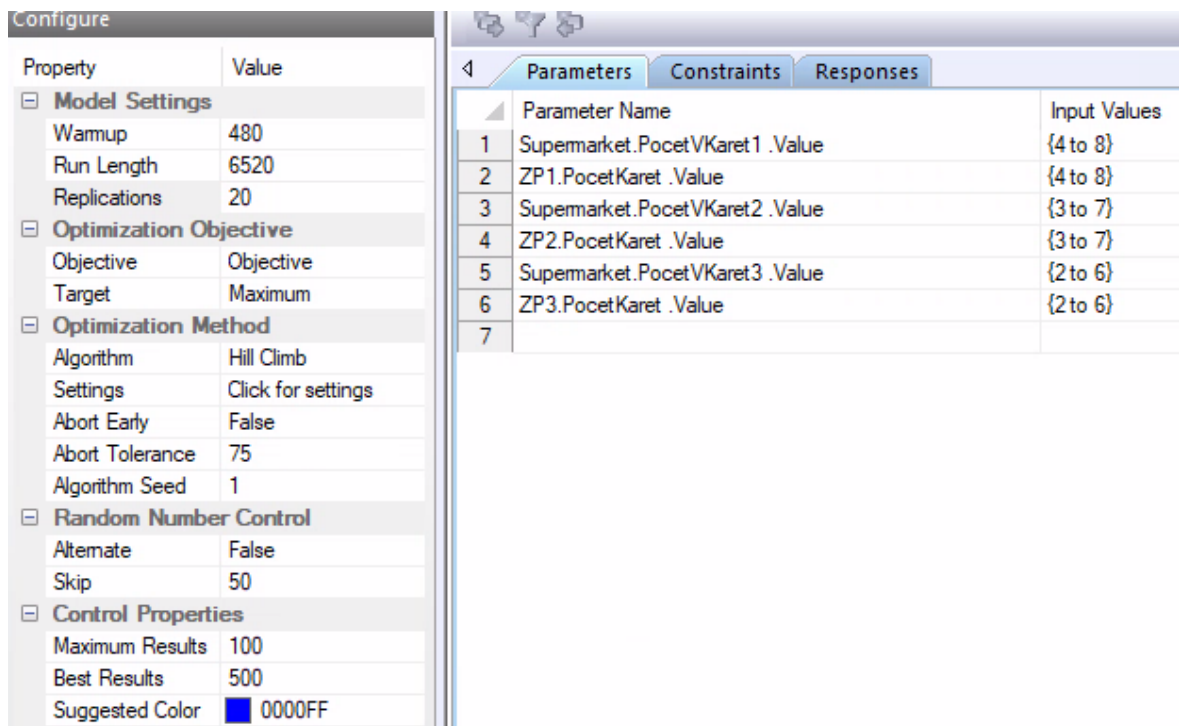
OB = výsledek funkce Objektivní.

PM = Časově vážený průměr materiálu v celém modelu

Násobení hodnotou 100, je z důvodu problémů se zobrazování nízkých hodnot v modulu Experimenter.

Tím je dosaženo, že scénáře, které nesplní podmínku vyřízení pracovišť, mají nejhorší nulovou hodnotu a scénáře s nejmenším průměrem materiálu hodnotu nejvyšší. Experimenter poté hledá jako nejlepší maximální hodnotu.

Hodnoty pro nastavení modulu Experimenter jsou na obrázku 24, podstatné hodnoty jsou ještě navíc vypsány v tabulce 9.



Obrázek 24. Nastavení programu Witness experimenter

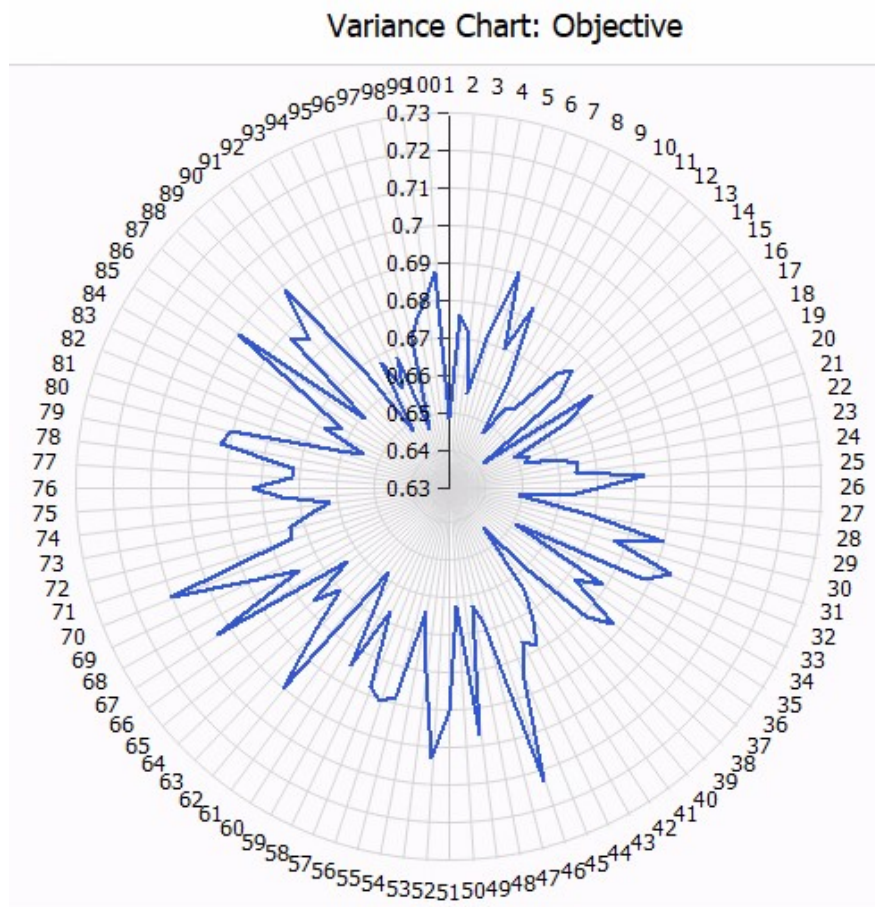
Tabulka 9. Podstatné hodnoty pro nastavení modulu Witness Experimenter

Nastavované hodnoty v modelu	
Počet výrobních karet pro 1. odběratelské pracoviště [ks]	4 až 8 krok 1
Počet výrobních karet pro 2. odběratelské pracoviště [ks]	3 až 7 krok 1
Počet výrobních karet pro 3. odběratelské pracoviště [ks]	2 až 6 krok 1
Počet transportních karet pro 1. odběratelské pracoviště [ks]	4 až 8 krok 1
Počet transportních karet pro 2. odběratelské pracoviště [ks]	3 až 7 krok 1
Počet transportních karet pro 3. odběratelské pracoviště [ks]	2 až 6 krok 1
Hodnoty pro běh simulace	
Délka běhu simulace [min]	6520
Počet replikací	20
Optimalizační algoritmus	hill climbing

Výsledky pro 5 nejlepších scénářů jsou uvedené v tabulce 10, přičemž výsledná výstupní hodnota je průměr ze všech 20 replikací. Sloupce VK a TK, dané tabulky, značí počty výrobních karet (VK) a transportních karet (TK) pro jednotlivá odběratelská pracoviště. Scénáře v tabulce byly ještě postupně od nejlepšího prověřeny v modulu Experimenter spuštěním na 100 replikací a první dva byly vyřazeny, protože v některých replikacích byl výsledek výstupu 0. Jako konečné nejlepší řešení tohoto experimentu je brán scénář 53 z tabulky č. 10. Výsledky spuštění scénáře číslo 53 na 100 replikací jsou poté na obrázku 25. Z hodnoty simulace 0,665 lze vypočítat dle vzorce (4) hodnotu PM , která je 150,38 ks.

Tabulka 10 Výsledky pro modul Experimenter

scénář	Výstup funkce Objective	VK 1	TK 1	VK 2	TK 2	VK 3	TK 3
57	0.705	5	6	5	3	3	3
61	0.667	5	6	5	3	3	4
53	0.665	5	7	5	3	3	3
69	0.658	5	6	5	4	3	3
62	0.656	5	6	6	3	3	3
55	0.632	5	7	5	3	3	4



Obrázek 25. Výsledky replikací pro scénář č. 53

5.3.3 Vyhodnocení experimentu

Navýšením materiálu v kanbanovém okruhu vytvoříme pojistnou zásobu, která umožní zvládat kolísání dodávek materiálu pro odběratelské pracoviště. Optimální je ale zajistit, aby daná zásoba nebyla zbytečně vysoká. Pokud jsme schopni vytvořit validní simulační model daného okruhu, můžeme k řešení použít nástroje simulačního programu. Tento simulační experiment ukazuje řešení pomocí modulu Experimenter programu Witness.

6 DOPORUČENÍ PRO REÁLNÉ NASAZENÍ KANBANU

Při zvažování nasazení metody kanban je v první řadě potřeba si ujasnit důvody nasazení. Jedná se hlavně o metodu kontroly hladiny zásob, takže pokud jsou výrobní prostory plně rozpracované výroby, může se jednat o správné řešení. Další benefity nasazení popisuje kapitola 2.1.8. V tomto bodě je třeba zvážit též možnost zavedení jednokusového toku, který snižuje rozpracované zásoby ještě efektivněji, možná je i vzájemná kombinace obou metod. Každá metoda má však možné omezení nasazení. Omezení pro metodu kanban jsou popsána v kapitole 2.3. Při zvažování, zda daná omezení zabrání jakémukoliv nasazení metody kanban je potřeba zahrnout následující faktory, že metoda kanban:

Nemusí pokrývat celý výrobní sortiment, stačí ji aplikovat jen na vysokoobrátkové výrobky, nízkoobrátkové výrobky lze vyrábět třeba za pomoci jednorázových karet nebo jednorázových dávek.

Může být kombinována s jinými plánovacími metodami. Např. výrobu hlavní linky lze plánovat metodou MRP II a k zásobování hlavní linky může být použita metoda kanban.

Nemusí se použít na celý výrobní řetězec, ale jen tam kde je to vhodné.

Rozhodováním o vhodnosti nasazení metody kanban může pomoc vhodná výrobní simulace.

Pokud je zjištěno, že aplikace metody kanban je možná, je potřeb zvolit způsob její aplikace. Je potřeba zvolit vhodný typ metody kanban (viz kapitola 2.2), vymezit jednotlivé kanbanové okruhy, určit způsob autorizačního signálu, pokud se jedná o kartu, tak stanovit, jaké údaje bude karta obsahovat, zvolit způsob přepravy a organizace karet (kanbanové signální tabule, FIFO boxy apod). Zvolit způsob balení, přepravy a skladování materiálu. Dále je potřeba velikost dávky vyráběné na jednu kartu a samotný počet karet v okruhu, přičemž stanovení přesného počtu karet v okruhu není stěžejní bod, protože karty se dají dle potřeby přidávat nebo ubírat. S návrhem jednotlivého kanbanového okruhu mohou pomoc do určité míry zde vytvořené simulační modely.

Nezbytný předpoklad pro reálné nasazení je důkladné zaškolení a training operátorů výroby, hlavně s důrazem na dodržování prvních pěti pravidel kanbanu popsanych v kapitole 2.1.2

Dále, již v průběhu běžného provozu, je dobré využít výhody pravidla nasazení kanbanu č. 6, které říká, že je potřeba omezovat počet karet v oběhu na co možná nejnižší úroveň. Tím se odhalí výrobní problémy, které již nebudou zakrývány nadbytečnými zásobami. Aktivní

řešení daných problémů může přispět ke zlepšení produktivity práce, což může být další významný benefit zavedení kanbanu.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo vypracovat teoretický popis metody kanban, vypracovat popis vybraných typů metody kanban a načerpané teoretické znalosti využít při tvorbě simulačních modelů typů metody kanban.

V teoretické části bylo formou slovního popisu a pomocí blokových schémat vysvětleno fungování metody, postupně byly popsány jednotlivé prvky metody, byly uvedeny vzorce pro výpočet potřebných nastavení. Jsou popsány výhody, nevýhody a kritéria pro nasazení metody kanban.

Bylo definováno rozdělení metody na jednotlivé typy a postupně byly dané typy popsány. Zde by bylo optimální ještě rozšířit popis typů výrobního kanbanu pro dávkové zpracování požadavků.

V praktické části byly vytvořeny simulační modely pro 3 typy metody kanban. Každý model umožňuje sledovat pohyb materiálu a oběh karet v rámci třech kanbanových okruhů s jedním společným dodavatelským pracovištěm. Byly vytvořeny vstupní konfigurační dialogy, takže při změně většiny parametrů není nutné postupně editovat jednotlivé elementy modelu, přímo na ploše modelu se zobrazují potřebné hodnotící ukazatele a výsledky simulačních běhů lze ukládat do excel souborů.

V rámci simulačních modelů metody kanban je ještě velký prostor pro případný rozvoj. V rámci vytvořených modelů zavést ještě možnost přepravy více přepravek najednou dle stanovených kritérií. Dále by bylo možné využít funkce programu Witness pro sledování finančních nákladů za přepravní operace, kvůli porovnání úspor za skladovaný materiál a nákladů na manipulaci z materiálem. Další fáze by mohla být vytvoření uživatelských elementů programu Witness, které ulehčí vytváření simulací metody kanban pro rozsáhlejší výrobní celky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LIKER, Jeffrey K. *Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce.* 1. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-173-7.
- [2] MONDEN, Yasuhiro. *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time.* 4. Boca Raton: CRC Press, 2012. ISBN 978-1439820971.
- [3] LENORT, Radim. *Průmyslová logistika.* 1. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2584-7.
- [4] GROSS, John a Kenneth MCINNIS. *Kanban made simple: demystifying and applying Toyota's legendary manufacturing process.* 1. New York: AMACOM, 2003. ISBN 0-8144-0763-3.
- [5] THÜRER, Matthias, Mark STEVENSON a Charles PROTZMAN. *Card-Based Control Systems for a Lean Work Design: The Fundamentals of Kanban, ConWIP, POLCA, and COBACABANA.* 1. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 9781498746946.
- [6] PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM. *Kanban for the Shopfloor: (The Shopfloor Series).* 1. Boca Raton: CRC Press, 2002. ISBN 978-1-56327-269-1.
- [7] OHNO, Taiichi. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production.* 1 st. Portland: Productivity Press, 1988. ISBN 978-0915299140.
- [8] BILÍK, Tomáš. *Řízení materiálového toku pomocí elektronické podoby metody kanban.* Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009, 1975722 bytes. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/8359>. Disertace. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta managementu a ekonomiky, Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů. Vedoucí práce Bobák, Roman.
- [9] VATALARO, James C. a Robert E. TAYLOR. *Implementing a Mixed Model Kanban System: The Lean Replenishment Technique for Pull Production.* 1. Boca Raton: CRC Press, 2005. ISBN 9781563272868.

- [10] LOUCKA, Lawrence. Kanban Calculation. In: *Resource Systems Consulting* [online]. Lady's Island, South Carolina: Resource Systems Consulting, 2006 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.resourcesystemsconsulting.com/2006/07/07/kanban-calculation/>
- [11] BRAGLIA, Marcello, Roberto GABBRIELLI a Leonardo MARRAZZINI. Rolling Kanban: a new visual tool to schedule family batch manufacturing processes with kanban. *International Journal of Production Research* [online]. 2020, **58**(13), 3998-4014 [cit. 2022-05-08]. ISSN 0020-7543. Dostupné z: doi:10.1080/00207543.2019.1639224
- [12] ČECH, Jiří. *Implementace pull systému ve společnosti Denso manufacturing Czech s.r.o. Liberec* [online]. Liberec, 2014 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/149494>. Bakalářské práce. Technická universita v Liberci, Fakulta strojní.
- [13] Kanban Card Example Part 2. In: *EuroLean+* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://euroleanplus.akademie.leannova.de/course/view.php?id=29>
- [14] <https://e-kanban.cz/> [online]. Starnberg: Manufactus [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://e-kanban.cz/>
- [15] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. 1. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4486-5.
- [16] MUSIL, Radek. *Řízení systému výroby spotřebou*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015, 53 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/34268>. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Řezníček, Martin.
- [17] KONÍČKOVÁ, Lenka. *Simulační metody jako nástroj pro rozhodování podniku: modelování pomocí programu Witness*. Brno, 2011. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Ekonomicko-správní fakulta. Vedoucí práce Radoslav ŠKAPA.
- [18] MUKHOPADHYAY, S. a S. SHANKER. Kanban implementation at a tyre manufacturing plant: a case study. *Production Planning & Control* [online]. 2007, 488-

499 [cit. 2021-05-16]. ISSN 0953-7287. Dostupné z:
doi:10.1080/09537280500121778

- [19] NAUFAL, Ahmad, Ahmed JAFFAR, Noriah YUSOFF a Nurul HAYATI. Development of Kanban System at Local Manufacturing Company in Malaysia–Case Study. *Procedia Engineering* [online]. 2012, **2012**(41), 1721-1726 [cit. 2021-05-16]. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2012.07.374
- [20] POLÁŠKOVÁ, Magda. *Význam metod průmyslového inženýrství pro restrukturalizaci konkurenceschopných podniků*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 1684986 bytes. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/6940>. Disertace. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta managementu a ekonomiky, Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů. Vedoucí práce Bobák, Roman.
- [21] Witness Horizon. In: *Lanner.com* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.lanner.com/en-us/technology/witness-simulation-software.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- FIFO First in, First out; první dovnitř, první ven.
- RFID identifikace na rádiové frekvenci
- MPR II metoda plánování výrobních zdrojů
- K Počet Kanbanových karet v kanbanovém okruhu.
- D Průměrná spotřeba materiálu za časovou jednotku u odběratelského pracoviště.
- L Průměrná doba, která uběhne od odebrání karty z přepravky po dodání materiálu na danou kartu
- α Bezpečnostní koeficient pro výpočet bezpečnostní zásoby.
- C Počet dílů pro jednu kanbanovou kartu, neboli počet dílů, které se přepravuje na jednu v jedné přepravce

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Jednokartový kanbanový okruh. Vlastní tvorba na základě [4]	12
Obrázek 2. Schéma oběhu karty, jednokartový okruh. Vlastní tvorba na základě [6]	13
Obrázek 3. Řetěz kanban okruhů. Vlastní tvorba na základě [5]	15
Obrázek 4. Příklad kanbanové karty [4]	15
Obrázek 5. Kanbanová tabule pro řízení výroby [4]	17
Obrázek 6. Typy metody kanban.	21
Obrázek 7. Duální kanbanový kruh. Vlastní tvorba na základě [5]	22
Obrázek 8. Schéma oběhu karty, duální okruh. Vlastní tvorba na základě [5]	23
Obrázek 9. Kanbanová signální tabule. Vlastní tvorba na základě [4]	25
Obrázek 10. Prostřední programu Witness	32
Obrázek 11. Witness – výřez pracovní plotny	33
Obrázek 12. Witness – dialog pro základní nastavení elementu Machine	34
Obrázek 13. Witness – zadání vstupního pravidla	36
Obrázek 14. Witness – 3D zobrazení modelu z obrázku 10	38
Obrázek 15. Úvodní nastavení parametrů	40
Obrázek 16. Witness model jednokartového kanban okruhu	42
Obrázek 17. Zobrazení karet a přepravek v simulaci	43
Obrázek 18. Zadávané a sledované údaje odběratelského pracoviště.	43
Obrázek 19. Zadávané a sledované údaje dodavatelského okruhu	45
Obrázek 20. Simulace dávkové kanbanové tabule	48
Obrázek 21. Witness model duálního kanban okruhu	50
Obrázek 22. Výběr způsobu nastavení parametrů modelu	51
Obrázek 23. Výpis funkce Nastaveni_Casu	52
Obrázek 24. Nastavení programu Witness experimenter	65
Obrázek 25. Výsledky replikací pro scénář č. 53	67

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Využití metody kanban v podnicích Gum. a plastikářského průmyslu [20]	30
Tabulka 2. přehled vstupních a výstupních pravidel programu Witness	37
Tabulka 3. Zadané hodnoty pro experiment dávkové zpracování	55
Tabulka 4. Výsledné hodnoty pro experiment dávkové zpracování.....	57
Tabulka 5. Zadané hodnoty pro experiment snížení zátěže skladu	59
Tabulka 6. Výsledné hodnoty pro experiment snížení zátěže skladu	60
Tabulka 7. Zadané hodnoty pro experiment určení počtu karet	62
Tabulka 8. Výsledné hodnoty pro experiment určení počtu karet	63
Tabulka 9. Podstatné hodnoty pro nastavení modulu Witness Experimenter	66
Tabulka 10 Výsledky pro modul Experimenter.....	66