

**Analyticko/uživatelská dokumentace**

**software TISPL**

**verze dokumentace 3.0**

*aktuální dokument ke stažení je vždy dostupný na adrese:* [*http://85.255.0.237/TISPL/DOC/DOKUMENTACE/TISPL\_analyticka\_dokumentace.zip*](http://85.255.0.237/TISPL/DOC/DOKUMENTACE/TISPL_analyticka_dokumentace.zip)

*heslo: AD\_TISPL\_Eltep\_Galatek\_2017*

**OBSAH**

[1. Úvod 3](#_Toc494945959)

[2. Použité zkratky a termíny 5](#_Toc494945960)

[3. Architektura aplikace 7](#_Toc494945961)

[4. Edice 9](#_Toc494945962)

[5. Licenční politika a ochrana software 9](#_Toc494945963)

[6. Logování aplikace 9](#_Toc494945964)

[7. Instalace a aktualizace 11](#_Toc494945965)

[8. GUI 11](#_Toc494945966)

[8.1. Ovládací prvky aplikace 13](#_Toc494945975)

[8.2. Ovládání pomocí myši 13](#_Toc494945976)

[9. Módy aplikace 14](#_Toc494945977)

[16.1. Schéma 14](#_Toc494945986)

[16.2. Layout 15](#_Toc494945987)

[16.3. Časová osa 16](#_Toc494945988)

[16.4. Procesy 17](#_Toc494945989)

[16.5. Simulace 18](#_Toc494945990)

[10. Zadání linky 19](#_Toc494945991)

[10.1. Nastavení parametrů linky 19](#_Toc494945993)

[10.2. Pohony 20](#_Toc494945994)

[10.3. Nastavení parametrů objektů 21](#_Toc494945995)

[10.4. Definice zakázek 22](#_Toc494945996)

[10.5. Plánovací kalendář 27](#_Toc494945997)

[10.6. Mód časová osa 27](#_Toc494945998)

[10.6. Grafy 33](#_Toc494946017)

[10.7. Výstupní log grafické metody 36](#_Toc494946018)

[11. Použité rozhodovací algoritmy 36](#_Toc494946019)

[11.1. Algoritmus čekání palec 36](#_Toc494946021)

[11.2. Čekání na čištění pistole a výměnu barev 39](#_Toc494946022)

[11.3. Změna CT času u objektů v režimu PP 40](#_Toc494946023)

[11.4. Přechody mezi zakázkami 41](#_Toc494946025)

[11.5. Přechod svěšování/navěšování 41](#_Toc494946028)

[11.6. Náběh linky 41](#_Toc494946029)

[11.7. Doběh linky 42](#_Toc494946030)

[11.8. Stop stanice 42](#_Toc494946031)

[12. Popisky 42](#_Toc494946032)

[13. Vize 43](#_Toc494946033)

# Úvod

Účelem této dokumentace je shrnutí a objasnění představ o možnostech využití a stávající i zamýšlené funkcionalitě aplikace. Významný prostor v dokumentaci je věnován popisu tvorby linky z uživatelského pohledu a principu simulačního algoritmu, jehož výstupem je znázornění průběhu technologických procesů na časových osách, které jsou z hlediska ostatních výstupů jádrem celé aplikace včetně závěrečné simulace nad návrhem (layoutem) linky zadané již s geometrickými parametry.

Naší snahou bylo vytvořit přímočaré a srozumitelné uživatelské rozhraní, příbuzné aplikacím, s nimiž  je cílová skupina uživatelů zvyklá pracovat (CAD a CAM systémy), a zároveň tak, aby reflektovalo potřeby během jednotlivých fází návrhu výrobní linky, tedy jednak dynamicky okamžitý přepočet závislých a laborovaných veličin na vstupu systému a sledování výstupních hodnot v konfrontaci s požadavky a jednak pak doplňování a zpřesňovaní požadavků a parametrů.

Postup tvorby linky lze obecně popsat od zadání časových náročností, sledování výstupu v konfrontaci s požadavky, úpravy časových náročností či kapacit na vstupu, rozvahy navrhovaného prostorového řešení a rozložení a opět úpravy předchozích vstupních parametrů se stálým záměrem o konvergenci k zadaným požadavkům. Na výstupu systému je tedy primárně ověřována hodnota požadovaného (zadaného) výrobního taktu vůči realizovatelnému (vypočítanému), dále pak je sledován výpočet doporučených kapacit jednotlivých objektů, případně s jejich následným porovnáním s kapacitami požadovanými. Tento postup je ilustrován na níže uvedeném obrázku. Modré postupové šipky představují interakční úpravy vstupů na základě předchozího zjištěného stavu výstupů se záměrem o konvergenci k zadaným požadavkům.

Obr. 1 - Schéma postupu při návrhu a tvorbě výrobní linky



# Použité zkratky a termíny

* **OBJ – (TECHNOLOGICKÝ) OBJEKT** představuje výrobní jednotku (ionizace, lakování, sušení atp.)
* **(TECHNOLOGICKÁ) CESTA –** jedná se o nadefinovaný technologický postup přes vybrané objekty linky
* **TT – TAKT TIME** požadovaná hodnota výrobního (výstupního) taktu [čas/výrobní jednotka]
* **CT – CYCLE TIME** představuje čas, který uběhne od vstupu po výstup z objektu [čas/výrobní jednotka]. ***CT*** *= PT + WT + IT + MT + QT*. Tedy celkový technologický čas v objektu
* **PT – PROCESSING TIME** představuje čistý technologický výrobní čas, který uběhne od zahájení operace do jejího dokončení v rámci daného objektu [čas/výrobní jednotka]
* **WT – WAITING TIME** je doba čekání během výrobního procesu v rámci daného objektu, např. na stop stanicích [čas/výrobní jednotka]
* **IT – INSPECTION TIME** doba, během které např. probíhá kontrola výrobku
* **MT** - **MOVE TIME** čas věnovaný přesouvání výrobku/vozíku v daném objektu
* **QT – QUEUE TIME** doba čekání ve frontě, např. v bufferu či stop stanici
* **LT – LEAD TIME (TCT – TOTAL CYCLE TIME)** představuje celkový čas potřebný k výrobě jednoho výrobku, jedná se o součet CT všech objektů (které leží v kritické <- cestě, bude se týkat výhybek) [čas/výrobní jednotka]
* **ST – SPACING TIME** časová mezera přejezdu mezi koncem vozíku předchozího a začátkem vozíku nového
* **TH – TROUGHTPUT –** propustnost, průměrná míra dokončení [počet výrobních jednotek/čas], pouze inverzní jednotka k TT (TH = 1/TT)
* **WIP – WORK IN PROCESS** *WIP = TH \* LT*[počet výrobních jednotek současně ve výrobě]
* **PCE – PROCESS CYCLE EFFICIENCY** účinnost procesu vzhledem k času, který strávil ve výrobě *PCE=∑ PT/LT \*100* [%]
* **Režim STOP & GO** v tomto režimu objektuvozík musí přijet např. do středu lakovací kabiny, tam je provedena činnost (v tomto případě lakování), která trvá nastavitelnou dobu a pak musí vozík lakovnu opustit. V tomto režimu je v lakovně pouze 1 vozík, po dokončení činnosti dochází k jeho výměně (tzn., otevře se stop stanice a vozík odjíždí. Současně je otevřena stop stanice před lakovnou a je vpuštěn nový vozík). Tento objekt má přejezd na začátku a na konci a nastavitelnou dobu činnosti. Celkem musí dát součet těchto všech časů celkový technologický čas objektu = CT, optimální stav je, pokud v tomto režimu CT je totožný s TT.

*Doplnit: produkt se přesune do přesně definované stacionární polohy a robot provede příslušnou aplikaci dle technologického postupu*

*Pozn. jsou situace výskytů objektů v režimu S&G s více pozicemi, doposud bylo uvažováno, že při návrhu linky v aplikaci boudou v takovéto situaci objekty rozloženy na více (podle počtu pozic) totožných objektů vždy pouze s jednou kapacitou, např. LAK1,LAK2. Rozkládání objektu na více totožných se používá za účelem dodržení TT. Např. pokud jeden robot zpracovává obě strany výrobky dvojnásobný čas něž je TT, zpracování první strany se zanechá robotu číslo jedna (v polovičním čase zpracování a zpracování druhé strany obslouží druhý robot (opět v polovičním čas), součet časové náročnosti činností je sice stejný, ale je docíleno dodržení požadovaného TT.*

* **Režim** **KONTINUÁLNÍ** (linetracking). V tomto režimu vozíky lakovnou pouze projíždějí a robot vykonává činnost během jejich průjezdu. U tohoto režimu se téměř vždy používá druhý pomalejší dopravník. Tento objekt je ve své podstatě jen přejezd s pomalejší rychlostí. V tomto případě se může v objektu nacházet více vozíků. Zde je nutností dodržet TT v závislosti na rychlosti dopravníku a jeho rozměru. *Robot provádí příslušnou aplikaci během continuálního přesunu produktu dle technologického postupu. Tyto módy je nutné při simulaci volit v závislosti na použitých technologiích a to zejména na provedení dopravníkového systému a zvolené robotické aplikaci. Jelikož se jedná o principiálně odlišné módy, tak algoritmy jejich simulací budou taktéž odlišné.*
* V **režim**u **POST-PROCESNÍ** jako vstupní parametr pro objekty (typu sušárna, vytěkání, chladicí tunel atp.) uživatel zadává technologický čas, po který mají být vozíky v tomto objektu. Proces je nezávislý na rychlosti dopravníku. Z technologického času je pak vypočítána kapacita tohoto objektu nutná k dodržení tohoto času. Vozíky jsou uvnitř objektu ve stop stanicích (případně jsou bufferovány většinou za stop stanicí). V tomto režimu nezáleží na rychlosti dopravníku. Např. je-li požadavek na sušení 30 min., TT linky je 2 min. 30 min. / 2 min. = 15 vozíků, což je kapacita objektu. Zásadním poznatkem je, že u tohoto typu objektu v tomto režimu není ve většině případů nutné zcela exaktně technologický čas dodržet, což je mnohdy užitečné ve snaze o zachování TT, více je tomuto tématu věnováno v později uvedeném textu.

*Jedná se tak objekty, které neovlivňuje robotická aplikace a jsou tedy z hlediska složitosti jednoduššího chakteru pro simulační proces. V technologickém procesu jsou to objekty, které následují v technologickém postupu za objekty aplikačního charakteru a které jsou hlavní částí technologického procesu.*

* **VOZÍK** - jedná se o podvozek, na který se umisťuje rám (JIG), vozíky jsou pro jednu linku stejné, po svěšení výrobků opět vstupují do dalšího výrobního cyklu s nově navěšenými výrobky, jejich tedy na lince určitý počet, nemají proměnlivý úhel natočení - rotaci, definuje se pouze jejich délka a typ (závěsný, podvěsný)
* **JIG** - jedná se o rám, na který se zavěšují výrobky, definuje se tedy trojrozměrně, to myšleno včetně rozměrů s výrobky, mohou mít různý úhel natočení vůči vozíku (podvozku) a to proměnlivě v různém místě linky, dále může být definováno, zda se výrobky zavěšují jednostranně nebo oboustranně. Počet JIGů je stanoven zakázkou, ač fyzicky se rám na zavěšení výrobků většinou využije opakovaně, z tohoto pohledu JIG považujeme za unikátní, vzhledem k tomu, že předmětem zájmu jsou navěšené výrobky, nikoliv samotný nosný rám.
* **KAPACITA** – kapacita objektu značí počet obsažitelných pozic jednotlivými vozíky, tedy do objektu s kapacitou 10 lze umístit 10 vozíků. Vynásobením kapacity s délky vozíku a případné požadované mezery mezi vozíky lze spočítat délku dopravníku v daném objektu (to za předpokladu, že se nejedná o objekt v režimu STOP & GO).

# Architektura aplikace

Základním předpokladem pro porozumění architektuře a ovládání aplikace je nutnost uvědomění si logického členění parametrů na parametry souvisejí s konstantním (statickým, pevným) nastavením linky a na parametry, které jsou proměnné podle konkrétní zakázky. Toto rozdělení je shrnuto níže.

**Parametry linky**:

* režim objektu (stop&go, kontinuální (line-tracking), postprocesní)
* kapacita objektu (počet pozic pro vozíky v objektu)
* zvolený pohon dopravníku, nad kterým se objekt nachází
* délka dopravníku v objektu (je-li již známá), jinak je dopočítávaná
* zda se bude po výstupu z objektu zohledňovat doba čekání na palec
* katalogové komponenty dopravníku (jsou-li již známy)
* délka vozíku (nehledě na rám a výrobky)

**Parametry zakázky**:

* výrobní takt (konkrétní pro zakázku, mezi zakázkami se může lišit)
* parametry rámu vozíku - jigu (to včetně výrobků) **–** kvůli obalové zóně a průjezdnímu profilu
* technologický čas, který vozík zakázky stráví v technologickém objektu (CT)
* cesta (technologický postup), který zakázka po lince volí

Obr. 2 - Schéma architektury a uživatelského rozhraní aplikace



# Edice

Edice jsou rozděleny dle obsahu funkcionalit a potřeb uživatelů, vyšší edice obsahuje vždy to, co nižší. Schematické rozdělení vstupních parametrů uživatelské rozhraní edic je uvedeno na výše uvedeném obrázku (Obr. 2).

* VIEWER  – základní nejnižší edice, která umožňuje náhled na již nastavenou linku s nadefinovaným plánem výroby. Uživatel nemá možnost měnit žádné parametry ovlivňující výrobu. Má možnost však procházet veškeré výstupy dat za účelem hlubších analýz.
* CLIENT – obsahuje všechny povolené funkce jako nižší verze, zároveň však umožňuje vstoupit do definice zakázek a nastavovat plán výroby.
* ARCHITECT – edice je bez omezení, je možné vytvářet nový layout, nastavovat veškeré parametry linky, definovat plány výroby a procházet všechny výstupní módy.

Jednotlivé edice mohou mít následující omezení:

* DEMO – jsou viditelné, ale zakázané ovládací prvky, které jsou dostupné ve vyšších edicích.
* TRIAL – jedná se o časově omezenou licenci dané edice.

# Licenční politika a ochrana software

**Licence jsou vydávány na uživatele.**

**Ochrana aplikace**

Při instalaci SW je nutné připojení k internetu. Pro PC je pomocí instalátoru vygenerováno unikátní ID, které je při prvním spuštění zaregistrováno na serveru. ID je hashováno pomocí speciálního algoritmu. V pravidelných intervalech dochází ke kontrole nastavení PC, a pokud zakódovaný hash nekoresponduje s uloženým hash řetězcem v registrech, dojde k okamžitému odstavení funkčnosti aplikace a zalogování této chyby (i do lokálního logu).

# Logování aplikace

Aplikace vytváří log činností tak, aby bylo možné v případě nutnosti dohledat nekonzistentní chování aplikace a odstranit možnou příčinu. Log uchovává informace o pohybu uživatele v aplikaci tak, aby bylo možné zpětně rekonstruovat kroky uživatele a co nejefektivněji, v případě potřeby, poskytnout vzdálenou podporu. Aplikace vytváří log, který je v krátkých intervalech odesílán na server, kde dochází k ukládání. Pokud PC není připojen k internetu, dochází k ukládání logu pouze lokálně. Lokálně jsou logy uchovávány po dobu odeslání na server, následně jsou smazány. Na serveru je uchovávána celá historie logu. V případě, že je PC připojen k internetu, odesílají se logy rovnou na server, lokální log není ukládán. Log složka nese název skládající se z PCName + product ID + Edice ID. Logování aplikace přináší řadu výhod.

* Pomoc při řešení chyb na dálku – support (vzdálená podpora) aplikace bude schopen poradit uživateli.
* Obchodní potenciál – informace o využívání softwaru, např. jak často je aplikace spuštěna, a další statistické informace.
* V případě pokusu o kompromitaci aplikace bude pokus zaznamenán v logu.

# Instalace a aktualizace

**Instalace aplikace**

Instalace aplikace je prováděna pomocí instalátoru, obdobně jako při instalaci jiných softwarů. Při instalaci dojde k zápisu do registrů a na vzdálený server.

**Aktualizace**

Dostupnost aktualizace je kontrolována při každém spuštění aplikace, je prováděna vzdáleně, pomocí přístupu na vzdálený server, kde jsou umístěny aktuální vydání softwaru. Uživateli je na PC nabídnuto, zda chce stáhnout a instalovat novou verzi, pokud ano, dojde k instalaci (konkrétně k přepsání příslušného EXE souboru), pokud je odmítnuto, dojde k opětovnému dotazování při následném spuštění aplikace. V případě jakéhokoliv potvrzení aktualizace současný EXE soubor spustí aktualizační utilitu, současný EXE soubor aplikace se ukončí, aktualizační utilita zajistí stažení aktuálního EXE souboru aplikace a jeho spuštění, po spuštění se aktualizační utilita ukončí a spustí se nový EXE soubor aplikace. Celý proces aktualizace působí dojmem jedné aplikace.

# GUI

GUI – grafické uživatelské vstupně výstupní prostředí aplikace je popsáno schématem na obrázku 2 této dokumentace, kde jsou viditelné návaznosti zadávacích formulářů. Samotný vzhled prostředí je vyvíjen s důrazem na dosažení co nejlepšího UX (uživatelské přívětivosti) a to tedy i se zaměřením na cílovou skupinu uživatelů dle jejich zvyklostí z jiného SW.

V částech aplikace, kde je to přínosné, je postupně implementována metoda antialiasing (AL – vyhlazování). Použití této technologie zajišťuje příjemnější vizuální vjem při užívání aplikace. Zobrazené prvky působí příjemnějším vjemem nežli bez použití antialiasingu. Vlevo obrázek bez vyhlazování, vpravo se zapnutým AL. Aktivovaná metoda vyžaduje zanedbatelné navýšení systémových požadavků (RAM, CPU).



Obr. 3 – Porovnání grafického výstupu s vypnutou a zapnutou metodou antialiasing



## Ovládací prvky aplikace



pracovní plocha aplikace

rychlé souborové volby

kompaktní menu

patřičná nastavení k danému módu

rychlá nápověda

aktuální souřadnice kurzoru

přepínání modů

grafické měřítko CTRL + scrollováním myši přibližujeme obraz o CTRL + scrollováním myši přibližujeme obraz o

přibližování a oddalování obrazu

## Ovládání pomocí myši

**Práce s objekty**

* Vkládání metodou DRAG and DROP (táhni a pusť).
* Editace či mazání vyvoláním pop-up menu a další příslušné nabídky kliknutím pravého tlačítka myši na daný objekt

**Pohyb po pracovní ploše**

* Nejpřirozenějším pohybem je uchopení jakéhokoliv místa na ploše, držením levého tlačítka myši posouváme obraz.
* Scrollováním myši posouváme obraz nahoru a dolu.
* SHIFT+ scrollováním myši posouváme obraz doleva a doprava.

**Přibližování obrazu**

* Posuvníkem či kliknutím na znaky „+“ a „ - “ v levé dolní části aplikace
* CTRL + scrollováním myši přibližujeme obraz
* CTRL + výběrem oblasti myší přiblížíme danou oblast
* F7 – přiblížit obraz o jednu úroveň zoomu
* F8 – oddálit obraz o jednu úroveň zoomu

**Plánované funkcionality ovládání obrazu pro mód časové osy**

* Klávesa HOME přechod do levého horního rohu, čili první vozík, první zakázky.
* Klávesa END přechod na pravý dolní roh, čili konec poslední zakázky.
* Klávesa CTRL + scrollováním myši přibližování a oddalování obrazu
* Menu přiblížit a oddálit obraz (v tomto módu v této verzi není ještě funkční)
* Klávesa CTRL + F, přechod na požadovanou minutu, vozík, proces či začátek nebo konec dané zakázky.

# Módy aplikace



## Schéma

Režim slouží na základní zákres pomocí blokového schématu. Spojnice (šipka) mezi jednotlivými objekty je uvažována tak, že spolu přímo sousedí. Přejezd mezi objekty musí být vložen jako samostatný technologický objekt. Jednotlivým objektům ve schématu je nutné zadat technologické parametry, které jsou v závislosti s pevným nastavením linky (tj. technologický čas, požadovaná kapacita, volba dopravníků a stanovení rychlosti pohonu dle stanoveného pracovního rozmezí). Pokud jsou již nadefinované zakázky, jsou ve schématu barevně vyznačené i jednotlivé technologické cesty. Při větším přiblížení objektů se vypisují i jejich základní parametry.



Obr. 4 – zákres schématu v aplikaci

## Layout

V tomto režimu je již schéma transformováno pomocí geometrických údajů do odpovídajícího plánu linky. Transformace probíhá pomocí importu DXF či DWG např. z AutoCADu (či jiného CAD či CAM systému) či samostatným manuálním zákresem převážně pomocí katalogových komponent výrobních linek. V tomto módu je zobrazeno vedení dopravníků resp. jeho řetězu v technologicky aktivních částech linky nebo je řetěz zakreslen celý, což je zejména vhodné (nikoliv zcela nezbytné) pro použití simulace, rozložení jednotlivých technologických objektů a zákres kapacitních pozic vozíků. Jako needitovatelný podklad/vrstvu je možné zobrazit původní schéma. Naopak v módu schéma je možné zobrazit jako needitovatelný podklad/vrstvu layout. Mód layout je nutný (z pohledu zadání geometrických parametrů linky) pro možnost spuštění reálné simulace.



Obr. 5 – ukázka zpracovaného layoutu v aplikaci

## Časová osa

Podrobný popis tohoto módu aplikace je uveden v samostatné níže uvedené kapitole. Jedná se vizualizační interpretační metodu, zajišťující představu o veškerém průběhu procesů a rozložení vozíků na lince v libovolném výrobním čase včetně znázornění výstupního taktu a vyplývajících kapacit (pozic) v objektech. Výpočet nutný pro zobrazení tohoto režimu je datovým podkladem pro následující tři popisované módy, které jsou tak ze závěrů z časových os přímo odvozeny.



Obr. 6 – ukázka konce časových os průběhu jednotlivých vozíků a znázornění TT

## Procesy

Mód je odvozen od módu zobrazení technologických procesů na časových osách, proto může být zobrazen až po zobrazení tohoto módu. Na vodorovné ose jsou zobrazeny všechny objekty, které se vyskytují na lince. Tučnou linií jsou objekty od sebe odděleny. Na svislé ose je zobrazen čas, který začíná počátkem výroby až po ukončení. V obdélnících jsou zobrazeny jednotlivé vozíky, číslo uprostřed identifikuje pořadí vozíku. V horní části Menu je možné pomocí filtru nastavit konkrétní časový okamžik, který chceme zobrazit. Můžeme vybrat z přednastavených časů, či libovolně zadat.

Kliknutím na tlačítko PLAY, dojde k animaci vozíků po objektech. V dalších etapách bude tento mód rozšířen o další funkčnost a optimalizaci (např. nyní probíhá vykreslování animace na jeden řádek, zajisté se nabízí animaci „odřádkovat“). V této fázi vývoje však chceme demonstrovat další z možných pohledů na zpracování výstupů.



Obr. 7 – mód technologické objekty v čase

## Simulace

Simulace činností ve výrobní lince je vrcholnou a zároveň finální funkcionalitou aplikace. Během simulace bude možné sledovat průchod a čekání jednotlivých vozíků v a mezi technologickými objekty, monitorování konfliktů při průniku obalových ochranných zón jednotlivých vozíků včetně hlídání průjezdního profilu. Pro možnost spuštění simulace bude nezbytné, aby byla linka nadefinovaná již včetně geometrických (prostorových) parametrů. Finální simulace je předpokládaná již nad layoutem naimportovaným z některých CAD či CAM systémů, v kterých projektování linky probíhá (pravděpodobně pomocí výměnného vektorového formátu DXF popř. DWG). V případě spuštění simulace bez zadaného layoutu pouze nad dostupným schématem, se simulace zohlední pouze z časového a kapacitního hlediska.

# Zadání linky



## Nastavení parametrů linky

Při návrhu výrobní linky je v první řadě nezbytné zakreslit schéma linky. Realizace zákresu probíhá jednoduchým výběrem objektu z knihovny objektů s následným usazením do pracovní plochy aplikace. Tímto usazováním dochází zároveň k propojování objektů na pracovní ploše, tudíž je okamžitě možné vidět logické uspořádání všech objektů. Vzdálenost mezi jednotlivými objekty je uvažována tak, že spolu přímo sousedí. Pokud je na lince plánován například přejezd, je nutné přidat objekt „PŘE“ (přejezd).



Obr. 8 - knihovna objektů Obr. 9 - zakreslení schématu linky

## Pohony



Obr. 10 – výběr a nastavení pohonu

V dalším kroku návrhu výrobní linky je vhodné nadefinovat uvažované pohony dopravníků. Vstoupením do nabídky pohonů je zobrazen přehled pohonů, které je možné přidávat/ubírat. Aplikace nedovolí odebrat všechny pohony, vždy je nutné mít nastaven alespoň jeden. Pokud se rozhodneme přidat pohon, zadáme název a zvolíme pracovní rychlostní rozmezí (m/min), které je pro pohon možné deklarované. V této části jsou taktéž nastavovány rozteče palců na řetězu, viz obrázek 11.

## Nastavení parametrů objektů

Kliknutím pravého tlačítka myši na objektu [obr. 12] je zobrazeno menu konkrétního objektu, kde lze nastavit režimy objektu (stop&go, kontinuální, postprocesní), vybrat dříve nadefinovaný pohon, zvolit uvažovanou kapacitu (počet pozic v) objektu.



Obr. 13 - zobrazit formulář parametry objektu

V závislosti na nastaveném režimu je dynamicky generován formulář, který požaduje vyplnit příslušné parametry objektu vztahující se k vybranému režimu. O plánovaném rozšíření funkcionalit tohoto formuláře se zmiňuje závěrečná kapitola této dokumentace.



Obr. 14 - zobrazit formulář parametry objektu

Po tomto kroku jsou nastaveny všechny parametry linky. Jedná se tedy o nakreslení layoutu, definici pohonů, nastavení objektů, nastavení délky vozíků (které pro svoji jednoduchost nebylo popisováno, v současném přístupu se jedná pouze o jediné dva parametry, to délka vozíků-podvozku na lince a typ jeho zavěšení). Pokud jsou tyto dílčí kroky splněny, může započít definování samotných zakázek.

## Definice zakázek

Po zakreslení a nastavení objektů layoutu je možné vstoupit do formuláře **definice zakázek**, v této části jsou zadány **parametry výroby** – (tj. délka směny, počet směn, požadované množství, efektivita, počet dní, počet produktů na vozíku) a dále je zadán **plán výroby**.Plán výroby umožňuje zadávat zakázky, které mají být v lince realizovány. **Fronta navěšování** bude automaticky generována na základě zadaných parametrů v plánu výroby.



Obr. 15 – formulář definice zakázek

Zakázku je možné označit jako reálnou, fiktivní případně čistící – sloupec TYP v plánu výroby. V případě fiktivní zakázky projíždí linkou prázdné vozíky, které je nutné z nějakých důvodů umístit z místa A do místa B a zde je nechat před STOP stanici. V případě čistící zakázky prochází linkou opět prázdné vozíky, které však dodržují zadanou trasu, avšak nenesou na sobě žádné produkty, v lakovacích kabinách probíhá nástřik po procesu čištění bez produktů za účelem dokonalého vyčištění stříkacích robotů.

**Pro jednotlivé zakázky je nastavováno**

* ID (unikátní uživatelský identifikátor)
* TYP - rozlišení typů zakázek – reálné, čistící, fiktivní
* NÁZEV – název zakázky
* BARVA – označení zakázky barvou, pro lepší grafické rozlišení zakázek
* VOZÍKY/ POČET\* – zadání poměru vozíků na lince + menu pro nastavení vozíků.
* CESTA\*\* – kliknutím je vyvoláno menu na zadání technologické cesty
* TAKT – nastavení požadovaného taktu zakázky

\*Kliknutím na nastavení jigu (rámu) vozíku jsou nastavovány rozměry (délka, šířka, hloubka uvažováno včetně výrobků) a počet ks/vozík, kvůli definici obalové ochranné zóny a hlídání průjezdního profilu. Toto detailní nastavení bude využito v části simulace, kde již budou zadány prostorové (geometrické) parametry.

\*\* V tomto formuláři je uživatelem vybraná technologická cesta pro zakázku. Výběrem objektů z roletky jednotlivých v řádcích níže uvedeného formuláře je trasa/cesta definována. *(pozn. uvažované řešení: tažením myši nad schématem bude zaznamenávána cesta/trasa)*, která se postupně ukládá. V momentu, kdy je zadaní cesty hotové, je zobrazena přehledná tabulka technologických objektů za účelem doplnění Cycle Time, dále RD – rychlost dopravníku, Tv – čas výměny barev,Tč – čas čištění stříkací pistole, opakování čištění po x vozících.



Obr. 16 - nastavení technologické cesty

Po vyplnění plánu výroby je vše připraveno k aplikaci algoritmu pro zobrazení výsledků, čili po kliknutí na tlačítko OK, dojde k uložení a nyní je možné procházet jednotlivými módy, které aplikace nabízí.

V tento moment se zakreslený layout, na první pohled liší od prvotní fáze zakreslení. Nyní jsou již v layoutu zobrazeny technologické cesty, které jsou od sebe barevně rozlišeny a zároveň je zobrazen i malý čtverec, který odlišuje barevně zakázky.

Obrázek níže – světle zelená barva zobrazuje společnou trasu vozíků. Po objektu vytěkání postupují tmavě zelené vozíky přes objekty SUŠENÍ, CHLAZENÍ. Modré vozíky se těchto objektů vyhnout a jdou rovnou na BC. Tímto způsobem jsou zakázky odlišeny tak, aby již z tohoto layoutu bylo vše patrné.



Obr. 17 – znázornění zakreslených technologických cest ve schématu

## Plánovací kalendář

Za účelem se co nejvíce přiblížit reálné situaci bude vytvořen plánovací kalendář, ve kterém je možné nastavit konkrétní rozsah dnů a hodin, kdy má probíhat výroba. Tato funkcionalita bude součástí formuláře Definice zakázek. Kalendář reflektuje nastavení plánů různých typů odstávek např. servisní zásahy, odstavení linky v době státních svátků a dalších situací, kdy je nutné linku odstavit. Výsledné výstupy budou následně reflektovat toto nastavení. Pokud plánovací kalendář nebude využit, výstupy budou zobrazeny od času 0 min -> do poslední min výroby výrobního plánu. Konkrétně bude definován čas zahájení linky a časové intervaly odstávek seřazené dle data uskutečnění.

## Mód časová osa

Grafická výstupní metoda technologické procesy na časových osách (mód časová osa), jak již bylo zmíněno, znázorňuje průběh technologických procesů na časových osách je i přes svoji jednoduchost významnou vizuální interpretační pomůckou, zajišťující představu o veškerém průběhu procesů a rozložení vozíků na lince v libovolném výrobním čase včetně znázornění výstupního taktu a vyplývajících kapacit (pozic) v objektech.



### Hlavní výhody metody:

* přehledné rozložení a stav procesů a jednotlivých vozíků na časové ose
* vyplývající kapacity technologických objektů, včetně vyplývajících velikostí bufferů
* představa o realizovatelném výstupním taktu
* CT vozíků v objektu
* LT vozíků během zakázky
* celkový čas celé zakázky
* množství vyrobených kusů v určitém čase (dle počtu vozíku)
* vytížení objektů pro ukazatel OEE
* počet vozíků nutný k realizaci zakázky
* výpis stavu a informace o daném objektu (pravý klik na objekt)
* jednoznačná představa o stavu vozíků a procesů jako podklad pro úvahu za účelem návrhu optimalizace
* zobrazení fronty navěšování



### Interpretace metody

Výstup časová osa znázorňuje ucelený pohled na všechny vozíky v čase, jednoduše tedy víme, co přesně se v jaký časový okamžik na lince odehrává. Na vodorovné ose (x) je zobrazen čas zakázek a technologické objekty, přes které se postupuje. Na svislé ose (y) jsou zobrazeny vozíky v pořadí dle řazení na vstupu do linku včetně barevného rozlišení dle dané zakázky. Tento výstup tedy zachycuje komplexní pohled na celou linku. Přesunem kurzoru myši na některý z objektů se zobrazí po 2 vteřinách informace, o který vozík se jedná a v jakém časovém momentě se právě nachází. Uchopením a posunutím se pohybujeme po zobrazené ploše. Pokud např. přejdeme na poslední technologický objekt – SVĚŠOVÁNÍ, je patrné v jakém taktu opouští vozíky linku. V nastavení v pravé části lze aplikovat zohlednění rozteče palců, čištění a výměnu barev a vytížení objektů[1]. Pokud aktivujeme zakliknutím první dvě volby, vidíme, jak algoritmus přepočítá všechny časové okamžiky linky a zároveň vykreslí nové hodnoty na grafech. Jestliže nastane nějaký nesoulad se požadovaným zadání, uživatel je informován pomocí výpisu v dolní části obrazovky pod grafy. Při zakliknutí třetí volby – vytíženost objektů [obr. 6], dojde k rozdílné formě zobrazení a to takové, že na svislé ose jsou zobrazeny všechny objekty a na ose x pak obsazenost resp. vytíženost jednotlivých objektů vozíky v čase. Pokud se nechceme detailně zabývat tímto detailním rozpadem, můžeme využít k analýze souhrnné grafy popř. pouze výstupní log, které jsou popsány v dalších kapitolách.



Obr. 18 – ukázka konce časových os průběhu jednotlivých vozíků (svěšování) a znázornění TT



Po 2 sec po ustálení pohybu kurzoru myši se zobrazuje popisek v jakém čase a na jakém vozíku kurzor myši ukazuje, kliknutím na konkrétní technologický proces se vypíší podrobnější časové informace.

Obr. 19 – časové osy – orientační výpis

Obr. 20 – přímé zobrazení vytíženosti objektů a další informativní výpisy

Zobrazení vytíženosti objektů v časových osách, např. objekt sušení – v 19 min začíná být obsazen vozíky, čím více je obsazen, tím výraznější barva objektu nastává, naopak jednotlivé mezery detekují nevytíženost daného objektu

**Výstupní log aplikace** informující o správnosti navržení linky či případných chybách nebo varováních

Přesné informace v jaké minutě se kurzor myši nachází, jsou zobrazovány i na dolním panelu aplikace



Obr. 21 - vytíženost objektů přímo v časových osách

Nevytíženost objektu je např. přímo patráná na výše uvedeném obrázku u objektu ROS, kdy mezi započetím opakované činnosti a ukončením předchozí činnosti je časová prodleva.

Jak již bylo zmíněno v kapitole věnované popisu definice zakázek, v módu časových os lze zobrazit zakázky v relativním čase (0 min až konec zakázky), ale i v čase, který vychází z plánovacího kalendáře. Jinými slovy se jedná o absolutní vyjádření časové osy. Pokud tedy v plánovacím kalendáři navolím výrobu od 7.00 do 21.00, bude časová osa reflektovat toto nastavení a výroba bude začínat a končit v nastavený okamžik (samozřejmě s úvahou o nájezdu a dojezdu linky, která bude ještě diskutována)

### Příklad interpretace metody

Níže je zobrazen modelový případ, kdy je vycházeno z předpokladu, že druhá zakázka má nastaven kratší technologický čas CO2 nežli je u červené zakázky a celá linka není navržena záměrně zcela optimálně. Algoritmus vyhodnotí tuto situaci jako problematickou a graficky znázorní u druhé zakázky nutný čas strávený v CO2 (šikmé šrafování) + dopočítá čas přejezdu vozíku (kolmé šrafování) tak aby nemohlo dojít k situaci, že dojde ke kolizi vozíků. V teoretické rozvaze vlastně dochází k předbíhání vozíků v objektu CO2, což je nereálné.

Světlé odstíny barev – světle červená a světle modrá zobrazují časové prostoje, které vznikají nedokonalým navržením kapacit, jedná se tedy o jakési buffery, do kterých musejí vozíky v tomto případě vstupovat a čekat nežli budou moci pokračovat do dalších objektů. Pro názornější představu se zaměříme na vozíky V2, V3, V4, V5. Po navěšení vozíku V2 se postupuje dále do objektu CO2, dále do objektu ION, následně by měl vozík přejít do procesu LAK (Situace1 obr. níže), v tento moment to však není možné, jelikož předchozí vozík V1 se nachází ještě v tomto objektu, který je v režimu S&G a je lakován. V2 musí čekat, než bude objekt LAK prázdný a připraven pro V2. Světle červená barva tedy naznačuje místa, kde dochází k zastavení a sečkání vozíku, nežli bude možné pokračovat do dalšího objektu. Po opuštění lakování V1 je objekt připraven na vstup V2. Nyní se podíváme na vozík V3, který po absolvování ION opět nemůže vstoupit do LAK (Situace2 obr. níže), jelikož vzniká stejná situace jako u předchozího vozíku. Objekt LAK je v tento moment obsazen V2. V3 tedy opět musí čekat, až následně může přejít do objektu lakování. Podobná situace je i při pohledu na V4, zde si však musíme uvědomit ještě jednu věc. Opět světle červená nám říká, že po ION není možné ihned vstoupit do LAK (Situace3 obr. níže), ale z tohoto výstupu je patrná i kapacita bufferu, který vzniká před lakováním. Pokud se podíváme na světle červenou barvu předchozího vozíku V3 a aktuálního V4, vidíme jasně to, že v čase 21 min až 23 min jsou oba vozíky bufferovány před vstupem do LAK. Vozík V5 opouští ION v čase 23 min a vstupuje do bufferu, v tento moment (23min) zároveň opouští V3 buffer, čili postačuje kapacita=2. Čistě teoreticky, pokud by V5 skončil v objektu ION dříve, musel by buffer mít větší kapacitu (3), neboť v určitý časový okamžik by se v tomto objektu potkávaly tři vozíky současně. V této situaci však stačí kapacita 2. Tuto kapacitu lze určit i jednoduchým pohledem na světle červené zobrazení, stačí si uvědomit, že se jedná o průnik (P1,P2 obr. níže) časových intervalů bufferu, kde kapacita je dána max. počtem vozíků. Obr. 22

Na obrázku níže ukážeme ještě případ, kde je nutné kapacitu bufferu nastavit na velikost tři. Ze znázornění je i patrnější průnik, který je popisován výše.

Obr. 23

P0 a P6 – nemají žádný průnik s jiným vozíkem, v tomto případě postačuje buffer o kapacitě=1.

P1 a P5 – již průnik s jiným vozíkem nastává, kapacita=2.

P2, P3, P4 – shodné průniky, které potřebují max. kapacitu=3.

Kapacita bufferu před objektem lakování musí být alespoň 3, pro zajištění správné funkčnosti linky. Aplikovaný algoritmus tyto kapacity samozřejmě vyhodnotí sám a informuje uživatele softwaru. Pro analýzu výstupu časových os je však nezbytně nutné mít popsané grafické vyjádření takto detailněji.

První obrázky grafických výstupů ukazují reálnou situaci navržené linky. Druhý příklad (červeno-modrý) zobrazuje pouze modelovou situaci, znázorňující ošetření těchto situací ze strany aplikace.

* 1. *Doplnit prioritu zakázek/rozhodovací algoritmus*
  2. *Dořešit přechod svěšování/navěšování*
  3. *Popsat Nájezd a dojezd linky*
  4. *Přepínání požadované/zjištěné kapacity u módu vytížení technologických objektů*

## Grafy

Zobrazení grafů slouží pro snadnou a souhrnu interpretaci výstupu ze zobrazení technologických procesů na časových osách.

* Graf č. 1 zobrazuje Časové stavy zakázek – zobrazuje tedy čas, který uplyne od zahájení zakázky po její ukončení.



* Graf č. 2 zobrazuje nastavený Takt Time zakázek, zakliknutím dalších aspektů ovlivňující takt dochází k porovnání nastaveného resp. požadovaného taktu s taktem realizovatelným. Pokud jsou tyto takty rozdílné, dojde k zobrazení taktu požadovaného s taktem realizovatelným.



* Graf č. 3 zobrazuje čas zakázky strávený procesními časy vůči času prostojů (čekání).



* Graf č. 4 zobrazuje poměr resp. počet vozíků v zakázce.



* Graf č. 5 zobrazuje nastavené kapacity vůči kapacitám doporučeným po vyhodnocení algoritmem.



Tyto grafické souhrny v této fázi vývoje pouze demonstrují možnosti zobrazení, předpokládá se další rozšíření včetně statistických závěrů.

Na každém z grafů bude možné vytvořit rychlý export do obrázku pro následnou prezentaci. Pravým kliknutím myši lze vybrat možnost export.

Za účelem ještě většího zpřehlednění je vyvíjena možnost maximálního zvětšení grafu, kde bude možné se detailně zaměřit např. na konkrétní vozíky, které nebudou splňovat požadovaný takt.

Dále je vyvíjen spojnicový graf průběhu Takt Time každého vozíku, pomocí toho dojde k dalším možným analýzám nad tímto druhem výstupu.

Poslední vizí je využití koláčového grafu pro odlišení vozíků, které takt splňují vs. vozíky, které takt nesplňují (vyšší hodnoty) vs. vozíky, které jsou pod stanoveným taktem.

## Výstupní log grafické metody

Po přechodu do režimu časové osy, je v dolní části zobrazen souhrnný přehled, který informuje a případných problémů navržené linky. Údaje je možné vyčíst buď z připojených grafů, či detailního přehledu jednotlivých vozíků resp. průběhu technologických procesů v čase, přesto tento přehled celý výstup ještě více zpřehledňuje a informuje obsluhu textovým výstupem.

Tento přehled zobrazí chybovou hlášku, pokud nastavený požadovaný takt není shodný s taktem, který je uskutečnitelný dle výpočetního modulu aplikace. Dále přehled informuje, pokud nastavené kapacity jsou odlišné od kapacit, které software vypočítá jako kapacity doporučené.

Kliknutím na chybu či varování vypsané v logu, bude-li to mít v daném případě smysl, bude možné přejít na pozici chyby či varování přímo na časové ose.



Obr. 24 – výstupní log časových os

# Použité rozhodovací algoritmy



## Algoritmus čekání palec

Zohlednění doby čekání na palec, ač se vždy v daném individuálním případě jedná o malou časovou hodnotu, za určité konstelace technologických objektů je zcela nezanedbatelné v konečném důsledku součtů vlivů ovlivňující výsledný výstupní takt. Vzhledem k situaci, že dokončení časového děje technologického procesu v technologickém objektu není nijak synchronizováno s příchodem palců řetězu na odchozím dopravníku, který přebírá vystupující vozík z objektu, nezpůsobuje tato rozdílná doba čekání nejenom kolísavost dílčího výstupního taktu z objektu, ale pokud po tomto objektu nenásleduje (což ovšem nutno podotknout následuje téměř vždy) objekt v post-procesním režimu (např. buffer, vytěkání, sušení atp.), kde není nutné dodržet exaktní technologický čas, tak způsobuje i kolísavost konečného výstupního takt timu. Již minimální odchylka v navýšení hodnoty výstupního taktu způsobuje velkoobjemově koncipované výrobě významný časový a nákladový nárůst na dokončení zakázky. Minimálně je však vhodné porovnávat výstupní stavy s a bez zohledňování doby čekání na palce, to i z pohledu kolizního či kapacitního.

Algoritmus vrací hodnotu času, po kterou vozík čeká na uchycení na palec při odchodu z technologického objektu či samostatné stop stanice na dopravník. Předpoklad pro správnou návratovou hodnotu je konstantní rozteč palců na řetězu na daném dopravníku a informace o pozici palců (ať už prostorového nebo jen časového hlediska). Časový interval návratové hodnoty algoritmu je <0 až časový rozestup dvou palců), zprava se jedná o otevřený interval. Časový rozestup lze vypočítat z rychlosti dopravníku a vzdálenostní rozteče těchto palců. Vzhledem k faktu, že pravidelná rozteč palců a konstantní rychlost dopravníku zajišťuje pravidelný takt příchodu palců, lze v tomto místě, v určitém čase a za výše uvedených podmínek lze určit dobu čekání na palec. Nicméně v době návrhu výrobní linky, kdy nejsou známé prostorové (geometrické) parametry linky a tedy není zřejmá pozice jednotlivých palců, je tedy k odhadu doby čekání na palec využita buď funkce pro získání **střední hodnoty** z výše uvedeného intervalu na základě úvahy o hustotě normálního rozdělení pravděpodobnosti či **náhodná hodnota** z výše uvedeného intervalu nebo **maximální hodnota** výše uvedeného intervalu (pozn. u této funkce je zahrnuto odečtení přibližně nejmenšího možného času tak, aby se nejednalo o situaci, kdy vlastně ještě dochází zachytávání předchozím palcem, proto je výše popisovaný interval otevřený zprava).



Obr. 25 – Výběr funkce pro zohlednění doby čekání na palce

**Soubor pravidel, v kterých situacích je čekání na palce zohledňováno** (za předpokladu že toto nastavení je požadováno v celkovém vyhodnocování, vizte výše uvedený obrázek a zároveň je aplikace těchto pravidel povolena pro konkrétní technologický objekt, viz poznámka níže):

* po odchodu z objektu v S&G režimu se čeká vždy na palec
* přechod mezi objekty v režimu kontinuální -> kontinuální pokud jsou objekty na jiném dopravníku, tak se zohledňuje čekání palce
* přechod objektem v kontinuálním režimu -> postprocesením pokud jsou objekty na jiném dopravníku, tak se zohledňuje čekání palce
* přechod postprocesní -> kontinualní objekt vždy se zohledňuje čekání na palce
* přechod postprocesní -> postprocesní pokud jsou objekty na jiném dopravníku, tak se zohledňuje čekání palce
* vždy když je za objektem stopka

Pozn.: Vzhledem k situaci, že existuje možnost výjimek ze souboru těchto pravidel. Je ještě zavedeno v nastavení parametrů daného technologického objektu, možnost tří uživatelských voleb, to zda se po odchodu z daného objektu budou tato pravidla zohledňovat automaticky nebo bude či nebude zohledňovat doba čekání na palec nehledě na výše uvedená pravidla.

## Čekání na čištění pistole a výměnu barev

Během výrobního procesu lakování je nutné řešit čistění lakovacích pistolí a výměnu barvy (Č+V) robota mezi zakázkami z důvodu změny lakovací barvy výrobku, dále pak samotné čištění (Č) v průběhu zakázky z důvodu zanášení lakovací pistole, to v tomto případě po stanoveném počtu realizovaných vozíků. Obě situace mohou způsobovat nežádoucí narušení časové kontinuality výroby, varianty řešení jsou následující. Výběr varianty řešení je předmětem zákaznické strategie a preference nutného přijetí důsledků na změnu TT či ∑LT porovnaných ve výše uvedené tabulce. Při zvažování důsledků volby řešení popsaných v tabulce je také vhodné uvažovat a výši hodnoty jednotlivých časů Tčv (čas čištění a výměny barvy v pistoli mezi zakázkami) a Tč (čas čištění pistole v rámci zakázky), pro analýzu takto časově je vhodné porovnání výstupu na časových osách aplikace, toto porovnání formou grafické interpretace nachází rychlý závěr.

* začlenění prázdných (servisních) vozíků, které tráví na jednotlivých stanovištích v technologických objektech stejný čas, jako kdyby obsahovaly výrobky, nejedná se tedy o prostoj linky, takt zůstane stejný, ale o prostoj produkce tedy navýšení celkového výrobního času (tj. ∑LT)
* nebo dílčím prostojem, tedy navýšením doby čekání resp. CT v objektu konkrétního vozíku, může se jednat (ale nutně nemusí za určité konstelace časových resp. technologických procesů) o krátkodobý prostoj linky, tím pádem a jednorázovou odchylku taktu linky, celkový výrobní čas ve většině případu vzroste zcela nepatrně s porovnání s předchozí variantou
* hybridní varianta (kombinace dvou předchozích variant)
* invertovaná hybridní varianta

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **varianta** | | | **\*řešení** | | **Důsledek** | |
| **označení** | **Č+V mezi**  **zakázkami** | **Č v rámci zakázky** | **Č+V mezi**  **zakázkami** | **Č v rámci zakázky** | **TT** | **∑LT** |
| **V1** | prázdné (servisní) vozíky | | n - serv. vozíků +  n - opakování | | stejný | Vyšší |
| **V2** | navýšením CT | | Tčv, Tč +  n - opakování | | rozkolísaný | pravděpodobně nepatrně vyšší |
| **V3 – hybrid.** | prázdné vozíky | navýšením CT | n - serv. vozíků | Tč +  n - opakování | rozkolísaný | pravděpodobně nepatrně vyšší (ale nižší než u V2) |
| **V4 – invert. hybrid.** | navýšením CT | prázdné vozíky | Tčv | n - serv. vozíků +  n - opakování | stejný, pouze mezi zakázkami odchylka | vyšší (ale nižší než u V1) |

**Tabulka porování variant jedntolivých řešení a jejich důsledků**

\*Řešení – myšleno, hodnoty, které uživatel musí zadat, pro aplikaci daného řešení

\*Tčv – čas výměny a čistění mezi zakázkami, Tč- čas čištění v rámci zakázky, n - serv.vozíku – počet servisních vozíků v rámci jednoho opakování, n-opakování - po kolika vozících s výrobky bude následovat serie n - serv. vozíků.

## Změna CT času u objektů v režimu PP

U technologických objektů v režimu post-procesním nemusí exaktně souhlasit technologický čas CT uskutečněný s požadovaným. V těchto objektech jsou většinou tyto časy naddimenzované (např. na sušení, vytěkání), tato skutečnost se využívá buď k zachování vyrovnanosti výstupního taktu, což je nutné, předchází-li před tímto objektem objekt s rozkolísaným taktem (typicky kvůli čekání na příchod palce) nebo pokud po objektu v post-procesním režimu následuje objekt v režimu stop and go či kontinuálním (line tracking), a byl by-li jinak v těchto objektech nevyužitý výrobní čas, což by bylo z pohledu výrobní strategie nepřípustné.

Možnou odchylku v procentech z CT času u konkrétního objektu v post-procesním režimu je při návrhu linky nutné nastavit resp. povolit ve formuláři parametry objektu (kliknutím pravého tlačítka myši nad konkrétním objektem ve schématu linky).

### Nutné podmínky pro opuštění (otevření stop stanice) z objektu v PP režimu včetně priority

* volno v následujícím objektu
* splněn požadovány CT (včetně možné odchylky)
* příchod palce

***Otázka k diskuzi, kdy u objektu v režimu PP počítat CT***

* *od stopky*
* *od náběhu na požadovanou hodnotu procesní veličiny (teplota, otáčky atp...)*
* *od vstupu do kabiny*

## Přechody mezi zakázkami

Jedná-li se o zakázky jiného typu z pohledu užité technologické cesty a tím pádem vyplývajícího rozdílného celkového výrobního času na jeden vozík (LT), je potom nutné se zabývat přechodem mezi těmito zakázkami pro vyjádření reálné situace, to obzvláště z pohledu „buffrování“ prázdných vozíku. Předpoklad je takový, že zakázka s delší technologickou cestou (skládá se z více technologických objektů) má zároveň delší výrobní čas jednoho vozíků (LT), jedná se tedy o časově delší zakázku, vyplývající invertní předpoklad platí pro časově kratší zakázku. Nutno zdůraznit, že by teoreticky byla přípustná i varianta, kdy delší technologická cesta bude mít nastavené kratší procesní časy jednotlivých technologických objektů než u zakázky s kratší technologickou cestou a LT zakázky s delší technologickou cestou bude nižší než u zakázky s kratší technologickou cestou. Ověřením důsledků této situace je nutné se ještě zabývat.

Přechod z časově kratší zakázky na časově delší zakázku

Časově delší zakázka je navěšována ihned za kratší zakázkou, na svěšování mezi zakázkami nejdříve projíždějí prázdné vozíky, které musely být bufferovány (obsazeny) v delší větvi (technologické cestě) linky. Takt linky při průjezdu obsazených a následně neobsazených vozíků zůstává stejný, popř. je-li takt delší zakázky také stejný, nedojde ke změně či kolísavosti taktu při tomto zakázkovém přechodu.

Z časově delší zakázky na časově kratší zakázku

Před navěšováním časově kratší zakázky, je nutné obsadit všechny pozice v bufferovacích větvích, v momentě obsazení bufferů již prochází krátká zakázka, navěšování krátké zakázky však již probíhá během obsazování bufferů - je nutné spočítat, kdy a po kolika prázdných vozících zahájit navěšování.

## Přechod svěšování/navěšování

Navěšování může být buď v režimu S&G nebo kontinuálním (line-tracking), konkrétní čas vstupu vozíku do objektu navěšování je ovlivněn výstupem vozíku z posledního objektu linky (tedy nejčastěji svěšováním). Číselně vyjádřeno (a funkčně zaneseno v módu časové osy) JIG číslo N ovlivní Jig číslo n+WIP. Objekty svěšování a navěšování mohou být reálně buď samostatné objekty, mezi kterými navíc může být i mnohdy přejezd. Jsou však situace, kdy se uvažuje o jednom objektu.

## Náběh linky

Je definován jako okamžik od navěšení prvního vozíku výrobky po jeho příchod na svěšování, jinými slovy jedná se o situaci, kdy na lince již nejsou prázdné vozíky (mimo těch případně nabuffrovaných v nepoužívané větvi linky). Tuto dobu tedy lze časově přirovnat k jednomu času LT.

Náběh linky resp. stav rozložení vozíku (ač prázdných) na lince, konktrétněji v jednotlivých technologických objektech, je však nezbytné zohlednit z důvodů vytíženosti technologických objektů (i prázdný vozík setrvá v objektu stanovený čas CT, ač na něm samotný technologický proces neprobíhá) za účelem přesného vyjádření časového průchodu prvního vozíků linkou. Toto rozložení vozíku na lince může být uvažováno buď z předchozího stavu (např. při odstávce linky), nebo při zcela novém spuštění linky, kdy je uvažováno obsazení vozíky do součtu kapacit jednotlivých objektu nebo dle hodnoty WIP *(pozn. uvážit)*. Od započetí navěšování prvního vozíku se počítá čas 0, tedy náběh linky je součástí simulace či zobrazení na časových osách.

## Doběh linky

Je definován jako okamžik, kdy bylo ukončeno navěšování posledního vozíku výrobky a již dále budou místem navěšování projíždět prázdné vozíky do doby svěšování výrobků z tohoto posledně navěšovaného vozíku. Tuto dobu tedy lze časově přirovnat k jednomu času LT.

## Stop stanice

Potřeba umístění stop stanic je pro uživatele – návrháře linky patrné z módu časové osy či zkušenost. Obecná pravidla jsou však tato, jejich částečně automatizované zavedení (pod dozorem návrháře linky) bude předmětem diskuze.

* po objektu v režimu S&G vždy
* po objektu v režimu PP vždy
* na konci objektu v režimu kontinuálním, před vstupem do objektu S&G

# Popisky

Součástí vektorové vrstvy, která tvoří zákres schématu či layoutu linky, bude popisovací nástroj pro zákres **volných čar**, **šipek** a **textových** **popisků** - poznámek. Tyto vektorové objekty nebudou nijak funkčně propojené s atributy simulace. Tuto vrstvu popisku bude moci zobrazit, skrýt či uzamknout ve volbě vrstvy v nastavení aplikace.



Obr. 26 – Nastavení vrstev

# Vize

V současné implementaci aplikace je technologický objekt v režimu STOP&GO uvažován jako „black box“ se zadaným technologický časem, předepsanou kapacitou. V dalších fází vývoje je uvažováno (tj. částečně původní funkční zahrnutí) řešení technologických postupu i v rámci daného technologického objektu, tedy již specifikování konkrétních časových úseků a trajektorií, včetně hodnoty rotace rámu (jigu) vozíku v daném úseku. Pro všechny objekty (ve všech třech režimech) pak definice minimálního průjezdního profilu v rámci daného objektu. Pro objekty v režimu kontinuálním a postprocesním potom jednotná hodnota rotace jigu v celém objektu ~~a v neposlední řadě dopočítávání vyplývajících parametrů a jejich kontrola vůči těm uživatelsky zadaným.~~ Zároveň bude zvýšen význam knihovny objektů aplikace, kdy již jednotlivé objekty budou mít přednastavené předpokládané funkcionality. Objekt v objektu vs. dílčí úseky.

# Režim aplikace návrh

Výrobní linka se během návrhu dimenzuje na určitý výkon resp. výrobní parametry (tedy na takt time resp. požadované množství za určitou dobu). V tomto režimu návrháře se **neověřuje** **dosažitelnost této hodnoty TT, ale z této hodnoty se naopak vychází** pro odvození jednotlivých stěžejních parametrů linky!

Návrhář linky na základě vlastního úsudku a znalostí vlastních, od zákazníka nebo z laboratorního testování tedy **zadá**:

* požadovaný takt time linky [sekund/vozík], resp. propustnost linky [vozíků/ sekund], kdy: TH=1/TT (při 1 m dlouhém vozíku a velikosti mezery se jedná o rychlost dopravníku)
* procesní čas (PT) daného objektu popř. přímo CT
* základní technologickou cestu tvořenou konkrétními technologickými objekty a režim těchto objektů
* rozměry vozíku

Návrhář linky z těchto údajů **požaduje** výpočet hodnot u technologického objektu v režimu:

* **STOP & GO**

Zjištění kapacity (počet pozic), výchozím předpokladem je sice fakt, že je objekt v tomto režimu jedno-kapacitní, nicméně i v tomto režimu lze uvažovat o více pozicích (kapacitách) resp. o řešení v podobě rozložení objektu do dvou či více ve schématu samostatných avšak parametry totožných objektů, to za předpokladu pokud je CT objektu > TT linky (viz bližší popis v kapitole „použité zkratky a termíny“ - režim S&G). Nutnou podmínkou v režimu S&G je tedy, aby CT byl totožný s TT linky, je-li nižší, musí být CT navýšen dobou čekání (prostoj robota je ve většině případů však nežádoucí), nebo pokud to ostatní objekty linky umožňují, tak snížením TT celé linky, ve většině reálných případů se však jedná o situaci, kdy je naopak CT>TT a není technologicky možné dosáhnout nižšího CT (např. nejde urychlit činnost robota z důvodu fyzikálních možností), v takovém případě se nabízí řešení v podobě rozložení objektu na dva a více objektů, které sice dohromady dosahují hodnoty původního CT, nicméně CT rozdělených objektů je již shodný s TT linky, další variantou je řešení, za předpokladu, že to technické a ekonomické faktory umožňují, je změna režimu objektu na režim kontinuální.

* **KONTINUÁLNÍM** (line-tracking)

V tomto režimu je požadován především výpočet kapacity resp. počtu pozic vozíků, rychlost dopravníku, délka dopravníku, případně může být vyžadován výpočet CT. Veličiny jsou vypočítávány za předpokladu jedné známé z této množiny korelačních hodnot. Rychlost dopravníku zde ovlivňuje velikost mezery mezi vozíky, jejíž velikost vyplývá z rozteče mezi palci dopravníku v objektu, ale i z důvodu časového (typicky dodržení technologického času), technologického (dodržení rychlosti pohonu vůči požadovanému taktu) či prostorového (přesah výrobků nad rozměry vozíku). V tomto případě není většinou kapacita srovnatelná s počtem pozic, což prezentuje níže uvedený příklad s obrázkem.

* **POSTPROCESNÍM**

V tomto režimu je předpokládán výpočet kapacity a délky dopravníku, případně z délky dopravníku resp. kapacity stanovení CT. Ve většině případu se v tomto režimu předpokládá řazení vozíku bez mezer, z tohoto důvodu je kapacita srovnatelná s počtem pozic vozíků. Ovšem jsou i situace, kdy se vyskytují postprocesní objekty s mezerami mezi vozíky, to většinou z výše popsaného prostorového důvodu, zde se ovšem nezohledňuje velikost rozteče palců dopravníku v objektu, ale vzniká nutnost implementace stop stanic, které zajišťují pozicování jednotlivých vozíků, v takovém případě se výpočet počtu pozic uvažuje stejně jako u výše uvedeného režimu.

**Následně použité (dříve nezavedené) zkratky:**

* **K** - kapacita, počet vozíků a mezer v objektu [vozíky a mezery]*, pozn. jedná se o reálné kladné číslo*
* **P** - počet pozic, počet vozíků v objektu/kabině [vozíků]*, pozn. jedná se o reálné kladné číslo*
* **DD** - délka dopravníku v objektu/délka kabiny [metry]
* **RD** - rychlost dopravníku v objektu/kabině [metrů/minutu]
* **UV** - užitná délka vozíků v objektu (tedy ta strana, která je dle nastavené rotace v objektu užita) [metry]
* **M** - mezera mezi vozíků [metry]
* **mM** - minimální mezera mezi vozíky, vyplývající z rozteče mezi palci řetězu a rozměru vozíku
* **R** - rozteč mezi palci (unášeči) řetězu užitého dopravníku [metry]
* **Rz** - rozestup mezi aktivními palci, které unášejí vozíky [metry]
* **Rx** – rozestup v podobě počet palců mezi jednotlivými vozíky [palců řetězu]

**Výpočty** sloužící jako podklad pro tvorbu dynamických formulářů**, nutným předpokladem pro část výpočtů je známé TT, DV a M:**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **vstup →** | **CT**  [sekund] | **DD**  [metrů] | **RD**  [metrů/sekund] | **K**  [vozíků a mezer] | **M**  [vozíků a mezer] |
| **↓výstup** |
| **CT**  [sekund] |  | **DD/RD** | **DD/RD** | **TT\*K** | **TT\*DD/(DV+M)** |
| **DD**  [metrů] | **RD\*CT** |  | **RD\*CT** | **RD\*TT\*K** | **K\*(DV+M)** |
| **RD**  [metrů/sekund] | **DD/CT** | **DD/CT** |  | **DD/(TT\*K)** | **(DV+M)/TT** |
| **K**  [vozíků a mezer] | **CT/TT** | **DD/RD/TT** | **DD/RD/TT** |  | **DD/(DV+M)** |
| **M**  [metrů] | **TT\*DD/CT-DV** | **DD/K-DV** | **TT\*RD-DV** | **DD/K-DV** |  |

**Tabulka elementárních výpočtů**

|  |  |
| --- | --- |
| **R**  [metrů] | **(M+DV)/Rx** |
| **(TT\*RD)/Rx** |
| **Rz/Rx** |
| **Rz**  [metrů] | **M+DV** |
| **TT\*RD** |
| **Rx\*R** |
| **Rx**  [palců řetězu] | **(M+DV)/R** |
| **(TT\*RD)/R** |
| **Rz/R** |
| **M**  [metrů] | **Rz-DV** |
| **(Rx\*R)-DV** |

**Tabulka souvislostí mezery mezi vozíky, roztečí mezi palci řetězu popř. rychlostí pohonu**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **vstupní**  **proměnná** | **vstupní**  **konstanta** | **výstup**  **proměnná** | **ovlivněná**  **proměnná** | **výpočet** | **metoda** |
| **CT** | **RD** | **DD** | **K** | **RD\*CT=DD** | **input\_CT** |
| **DD** | **RD** | **K, M** | **DD/CT=RD** |
| **DD** | **RD** | **CT** | **K** | **DD/RD=CT** | **input\_DD** |
| **CT** | **RD** | **K, M** | **DD/CT=RD** |
| **RD** | **CT** | **DD** | **K** | **RD\*CT=DD** | **Input\_RD** |
| **DD** | **CT** | **K,M** | **DD/RD=CT** |

**Tabulka zamykání parametrů udávající prioritu výpočtů**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **komponenta** | **výchozí**  **stav** | **výstupní**  **stav** | **další událost** |
| **ICO** |  |  | **odemknout ostatní komponenty** |
|  |  | **zamknout následující komponentu** |
| **EDIT\_BOX** |  |  | **žádná akce** |
|  |  | **zamknout následující komponentu** |
| **\*pozn při kliku do editboxu K či M volat událost jako při kliku na editbox CT** | | | |

**Tabulka událostí při kliku na ikonu zámku či editboxu přidruženému k zámku**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **pořadí objektu**  **na lince** | **režim**  **objektu** | **CT**  [sekund] | **DD**  [metrů] | **RD**  [metrů/sekund] | **K**  [vozíků] |
| **první** | **S&G** | **CT=TT** | **DD ∈ R+**  **DD ≥ DV** | **nerelevantní\*** | **K = 1** |
| **Kont.** | **CT=TT\*K** | **dle výpočtu**  **DD ∈ R+** | **dle výpočtu**  **RD ∈ R+** | **K=CT/TT**  **K ∈ R+** |
| **popř. PP** | **nerelevantní\*** |
| **další** | **S&G** | **CT≤TT** | **DD ∈ R+**  **DD ≥ DV** | **nerelevantní\*** | **K = 1** |
| **Kont.** | **∀ CT≥TT ⇔ CT=TT\*K**  **∀ CT<TT ⇔ CT/K≤TT1)** | **dle výpočtu**  **DD ∈ R+** | **dle výpočtu**  **RD ∈ R+** | **K=CT/TT**  **K≥CT/TT**  **K ∈ R+** |
| **PP** | **nerelevantní\*** |
| **\* přiřazený pohon musí splňovat u těchto objektů vztah RD≥(DV+M)/TT** | | | | | |

**Tabulka oboru hodnot parametrů objektů**

**Při splnění výše uvedených předpokladů platí:**

* **Takt linky ovlivňuje:**
  + **První objekt na lince v libovolném režimu poměrem CT/K udává TT linky.**
  + **Další objekty na lince v režimu S&G s maximální hodnotou CT udávají TT linky.**
* **Pokud je na lince jediný objekt v režimu S&G a jeho CT<TT, tak lze nabídnout snížení TT celé linky za předpokladu aktualizace souvisejících parametrů všech objektů linky (možno v období prvo-návrhu, kdy je možné měnit kapacitu resp. délku objektu popř. CT)**
* **Mimo prvního objektu mohou mít další objekty na lince v libovolném režimu CT nižší než TT.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **stav** | **podmínka** | | **povolit**  **tlačítko**  **uložit** | **další akce** |
| **CT=TT** | **-** | | **ano** | **-** |
| **CT>TT** | **CT modulo TT je 0** | | **ano** | **rozklad, tlačítko ANO** |
| **CT modulo TT > 0** | | **ne** | **doporučení na změnu režimu či na rozklad** |
| **CT<TT** | **první objekt na lince** | **počet objektů S&G je 1** | **ne** | **doporučit snížení TT v PL** |
| **počet objektů S&G > 1** | **ne** | **doporučit CT totožný s TT** |
| **ostatní objekty na lince** | | **ano** | **-** |

**Tabulka akcí dle hodnoty CT objektu v režimu S&G**



**Vývojový diagram výpočtu počtu pozic vozíků v objektu**



**Vývojový diagram výpočtu kapacity vozíků a mezer v objektu vycházející z počtu pozic vozíků**









**Vývojový diagram výpočtu minimální mezery zohledňující rozteč pohonu.**

Výpočet doporučené rychlosti pohonu je pak pouze **dopRD=(DV+min\_mezera)/TT**.

**Aktualizace parametrů objektů na základě globálních změn parametrů linky**

**GAPO – globální aktualizace parametrů objektu**

popisuje výpočty volané změnou ve formuláři parametry linky a volané ve většině případů ve formuláři PL\_priority

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **změna TT∆∆** | | | | | |
| **kontinuální režim** | | **S&G** | | **postprocesní** | |
| **změnit** | **zůstává** | **změnit** | **zůstává** | **změnit** | **zůstává** |
| RD, CT**∆∆** | DD, K, P, Rz, Rx, M**∆∆** | CT | DD, K | CT | DD, K, P, M, |
| RD, DD, K, P**∆∆** | CT, Rz, Rx, M**∆∆** | **+ kontrola**  **u společně přiřazeného pohonu:2)** | | DD, K, P | CT, M |
| Rz, Rx, M, DD, P, CT**∆∆** | RD, K**∆∆** | aRD>=DD/CT | | M, DD, P, CT | K |
| Rz, Rx, M, K, P**∆∆** | RD, DD, CT**∆∆** | K, M, P | DD, CT |
|  | | | | **+ kontrola**  **u společně přiřazeného pohonu: 2)** | |
| aRD>=DD/CT | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **změna rozměrů vozíku ∆∆** | | | | | |
| **podmínka** | **kontinuální režim** | | **S&G** | **postprocesní** | |
| **změnit** | **Zůstává1)** | \*\***pouze kontrola**  **u společně přiřazeného pohonu:** | **změnit** | **zůstává** |
| pův.(DV+M) je totožné s DV+dop.M | M**∆**,P | RD, Rz, Rx, CT, DD, K | DD>=DV | M**∆**,P | CT, DD, K |
| pův.(DV+M) není totožné s dop.M+DV | RD, M, Rz, Rx, K, CT, P**∆∆** | DD**∆∆** | aRD>=DD/CT | K, CT, P | DD, M∆ |
| RD, M, Rz, Rx, DD, P**∆∆** | K, CT**∆∆** | P, DD | K, CT, M∆ |
| ∆ M v režimu KK se musí měnit vždy, změna M v režimu postprocením je volitelná | | | | **+ kontrola u společně přiřazeného pohonu: 2)** | |
| aRD>=DD/CT | |

**∆∆** Změny řešit samostatně pouze pro objekty bez přiřazeného pohonu nebo samostatně přiřazeného pohonu (pohon je využíván pouze jedním objektem) či které nejsou v kontinuálním režimu. U objektů v kontinuálním režimu, jež využívají pohony několika četně přiřazené k dalším objektům, je nutné tyto aktualizační změny řešit společně, pouze je pro tyto situace možný individuální výběr pro konkrétní objekt, a to v rámci daného dvouřádku (označeno **∆∆**), tzn. je nutné se zabývat otázkou, zda je možné aplikovat změny, které ovlivní aRD (aktuální rychlost daného pohonu) vzhledem k délce resp. času přejezdu objektů v režimu S&G a postprocesním přiřazené na totožný pohon s měněným objektem v režimu kontinuálním.

**1)**Podtržené hodnoty zároveň indikují možnost uzamčených voleb

**2)**Pravděpodobně nutno řešit na úrovni validace, ještě před samotným ukládáním tlačítkem uložit

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **změna aRD, Rz, Rx, R3) ∆∆∆** | | | |
| **kontinuální režim** | | | **S&G a postprocesní** |
| **Změněno4)** | **změnit** | **Zůstává1)** | **pouze kontrola: 2)** |
| **aRD, Rz, Rx,** popř. **R** | RD, M, K, CT, P | DD | aRD>=DD/CT  DD>=DV (S&G) |
| RD, M, DD, P | K, CT |

**∆∆∆** Změna má vliv pouze na objekty přiřazené k pohonu, jehož parametry jsou při změně měněny.

**1)** Podtržené hodnoty zároveň indikují možnost uzamčených voleb

**2)** Pravděpodobně nutno řešit na úrovni validace, ještě před samotným ukládáním tlačítkem uložit

**3)** Nutnost změn při měněném R nastene pouze za předpokladu, že změna R ovlivní hodnotu Rz, resp. RD (aRD), tzn. *pokud platí* *pův. R modulo nové R není rovno 0, pokud neplatí ovlivní pouze hodnotu Rx*

**4)** Změna probíhá na úrovní okamžitého přepočtu korelací Rz=aRD\*TT resp. R=Rz/Rx na úrovni formuláře parametry linky, ještě před zahájením globální aktualizace parametrů objektu, navíc tato změna na zmíněné úrovni, probíhá u všech měněných pohonů bez závislosti na přiřazený či nepřiřazený pohonu k objektům

**Všude kde je ovlivněna M kontrolovat, zda není záporná a zda má dostatečnou časovou rezervu pro čekání na palec při přechodu na další pohon (nejedná-li se pohon stejný, pokud ano vliv by měla ještě stopka…) rozesat**

**Vývojový diagram pro globální aktualizaci parametrů objektů způsobené změnou Rz,Rx,R a aRD** 

**Aktualizace korelačních parametrů objektu**

slouží pro zobrazení korelace parametrů ve formuláři parametry objektu

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **změna** | **kontinuální režim** | | | | **postprocesní režim** | |
| **vypočítat** | | **neměnit** | | **vypočítat** | **neměnit** |
|  | **ostatní** |  | **ostatní** |  |  |
| **CT** | **RD** | K,P,Rz,Rx,M | **DD** |  |  |  |
| **DD** | K,P | **RD** | Rz,Rx,M | DD,K,P | M |
| **RD** | **CT** | K,P,Rx,Rz,M | **DD** |  |  |  |
| **DD** | P,Rx,Rz,M | **CT** | K |  |  |
| **DD** | **CT** | K,P | **RD** | Rz,Rx,M | CT,K,P | M |
| **RD** | P,RzRx,M | **CT** | K |  |  |
| **K** | CT**, RD** | P | **DD** | Rz,Rx,M |  |  |
| CT**, DD** | P | **RD** | Rz,Rx,M | CT,DD,P | M |
| Nelze | | **CT** |  |  |  |
| **P** | **RD**,CT,K, | Rz,Rx,M | **DD** |  |  |  |
| **DD**,CT,K |  | **RD** | Rz,Rx,M | CT,DD,K | M |
| Nelze | | **CT** |  |  |  |
| **Rotace** | **CT**,RD | K,P,M,Rz,Rx | **DD** |  |  |  |
| RD,**DD** | M,Rz,Rx,P- dle výběru uživatele, pokud nastane volba | **CT** | K,P- dle výběru uživatele, pokud nastane volba | P,M | CT,DD,K,P,M  Zde by se nabízela volba K a DD vs. M |
|  | M kde M>=0, tj. lze rotovat | **RD** | CT,DD,K,P, Rz,Rx |  |  |
|  | Situace M<0, tj. nelze rotovat | **RD** |  |  |  |
| **M** | **CT**,RD,**K** | P,Rz,Rx | **DD** |  |  |  |
| RD,**DD** | P,Rz,Rx | **CT,K** |  | DD, P | CT,K,M  Zde by se nabízela volba K vs. DD |
| Nelze | | **RD** |  |  |  |
| **Rz,Rx** | **CT**,RD,**K** | P,Rz,Rx | **DD** |  |  |  |
| RD,**DD** | P,Rz,Rx | **CT,K** |  |  |  |
| Nelze | | **RD** |  |  |  |

\*U Režimu S&G nedochází ke korelačním změny parametrů, délka objektu/kabiny je zadaná uživatelsky a je výpočtem neměnná

**Validace hodnot**

slouží pro hlídání zadání hodnot parametrů ve formuláři parametry objektu

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **režim** | **událost** | | | | **informační výpis** | **tlačítko uložit** | **akce klik na výpis** | **VID** |
| vše | všechny zbývající níže neuvedené události | | | |  | povoleno |  | **-1** |
| RD,CT,DD,K,P není větší než 0 | | | | Neplatná hodnota! | zakázáno |  | **0** |
| S&G | v případě přiřazení pohonu RD<DD/CT | | CT<TT a objekt není první na lince | | Vozík nestíhá přejezd! Zvolte jiný pohon nebo upravte délku kabiny či tech. čas. | zakázáno | zrušit přiřazení | **11** |
| Ostatní stavy | | Vozík nestíhá přejezd! Zvolte jiný pohon nebo upravte délku kabiny. |
| CT>TT | CT modulo TT je 0 | | | Chcete rozložit do více totožných objektů? | povoleno  text: Ano, rozložit |  | **12** |
| CT modulo TT > 0 | | | Změňte režim nebo rozložte na více objektů! | zakázáno |  | **13** |
| CT<TT | první objekt na lince | | počet objektů S&G je 1 | Zvažte snížení TT | zakázáno | zavolat formulář parametry linky nebo nabídnou přímé snížení s voláním aktualizace všech objektů dle změny TT | **14** |
| počet objektů S&G > 1 | Nastavte CT totožný s TT! | zakázáno | CT=TT | **15** |
| ostatní objekty na lince | | |  | povoleno |  | **16** |
| KK | CT<TT | \*situace první objekt na lince stav CT/TT>K, nenastane, ošetřeno zámky | | | |  |  |  |
| ostatní objekty na lince | | CT/TT>K | Nastavte K na hodnotu ≥ CT/TT | zakázáno | K=CT/TT | **21** |
| Nastavte P na hodnotu ≥ K2P(CT/TT) | zakázáno | P= K2P(CT/TT) | **22** |
| M<0 | M+DV-(DV+90°)≥0 | | | Zkuste rotaci jigu | zakázáno | rotace vozíku | **23** |
| ostatní situace | | | Zvažte změnu parametrů jigu | zakázáno | zavolání PL | **24** |
| RD>rozmezí RD max | | | | RD nedopovídá zadanému pracovnímu rozmezí pohonu! | zakázáno | zavolat formulář parametry linky, nebo nabídnou přímou změnu rozmezí | **25** |
| RD<rozmezí RD min | | | | **26** |
| RD není totožný s dop. RD a R>0 a P přiřazen | | | | Doporučená rychlost dopravníku je dop.RD | zakázáno | RD=dop.RD | **27** |
| M neodpovídá dop.M | | | | Vypsat dop.M | zakázáno | M=dop.M | **28** |
| Přiřazen používaný pohon, RD<minimální možné RD objektů (S&G či PP) na přiřazeném pohonu (fce minRD) | | | | Při zvolené rychlosti pohonu, by nebylo možné stíhat přejezd v těchto objektech (fce vypis\_objekty\_nestihajici\_prejezd), navyšte hodnotu RD minimálně na (fce minRD) [m/s] (jednotky dle jednotek RD) | zakázáno | RD= fce minRD | **29** |
| Přiřazen používaný pohon s definovanou roztečí, odemčená RD | | Při změně CT, neodpovídá RD dop.RD | | Zvolte technologický čas (vyp. DD/dop.RD) | zakázáno | CT=DD/dop.RD | **30** |
| Při změně DD, neodpovídá RD dop.RD | | Zvolte délku objektu (vyp. CT\*dop.RD) | zakázáno | DD=CT\*dop.RD | **31** |
| Při změně K, neodpovídá RD dop.RD | | Zvolte kapacitu objektu (vyp. DD/dop.RD/TT) | zakázáno | K=DD/dop.RD/TT | **32** |
| Při změně P, neodpovídá RD dop.RD | | Zvolte počet pozic objektu (vyp. K2P(DD/dop.RD/TT)) | zakázáno | P=K2P(DD/dop.RD/TT) | **33** |
| PP | v případě přiřazení pohonu RD<(DV+M)/TT | | | | Vozík nestíhá přejezd! Zvolte jiný pohon nebo upravte délku kabiny či technologický čas. | zakázáno | zrušit přiřazení | **40** |
| M<0 | M+DV-(DV+90°)≥0 | | | Zkuste rotaci jigu | zakázáno | rotace vozíku | **41** |
| ostatní situace | | | Zvažte změnu parametrů jigu | zakázáno | zavolání PL | **42** |
| CT<TT | \*situace první objekt na lince stav CT/TT>K, nenastane, ošetřeno zámky | | | |  |  | **43** |
| ostatní objekty na lince | | CT/TT>K | Nastavte K na hodnotu ≥ CT/TT | zakázáno | K=CT/TT | **44** |
|  | CT/TT>P2K(P) | Nastavte P na hodnotu P2K(P)≥ CT/TT | zakázáno | P2K(P)=CT/TT | **45\*** |

\*pozn. jednotlivé řádky prezentují logické operandy operátoru OR, jednotlivé sloupce událostí operandy operátoru AND

\*VID – validační ID použité k volání opravné události

\*VID 45 – v kódu aplikace realizováno pomocí výpočtu z K (tj. K2P(CT/TT)), mělo by se jednat o totožnou funkcionalitu

Zpracování digitálního modelu a následná počítačová simulace významně usnadňuje projektování výrobního systému, protože lze s vysokou mírou pravděpodobnosti ověřit požadované parametry pro nový, ale také existující diskrétní výrobní systém založený na událostech.

Identifikují se úzká nebo kolizní místa, ověřují se zvolené rychlosti, výrobnost za jednotku času, dostatečný počet definovaných zdrojů resp. kapacita mezioperačních zásobníků apod. Pomáhá při zavedení nového produktu do výroby a ke zvýšení produktivity práce.

Počítačový model dopravníkového systému zahrnuje všechna podstatná data projektovaného nebo modifikovaného reálného systému (viz obrázek 1), přičemž výsledkem počítačové simulace jsou informace potřebné nejdříve k optimalizaci layoutu

# Generování geometrického plánu linky

Současně realizovaná aplikace  umožňuje uživateli (tedy projektantovi linky) vytvořit ucelený podklad v podobě seznamu hodnotu nutných pro tvorbu grafického a geometrického plánu projektu (layoutu) linky v aplikacích typu CAD či CAM. Záměrem dalšího rozšíření aplikace by bylo rozšíření o funkcionalitu, která by tento úvodní plán včetně souřadnic na základě zadaných i vypočtených hodnot vygenerovala. Další možností by bylo tento plán vyexportovat do CAD či CAM aplikací k dalšímu zpracování. Toto rozšíření by zajistilo významnou úsporu lidské práce.

Princip tvorby takto automaticky generovaného plánu napočátku vychází z principiálně jednoduchého algoritmu, kdy je stanoven počet technologických objektů a jejich délky a šířky v metrech, ty tvoří v součtu celkovou délku. Tato délka udává obvod celkového uzavřeného geometrického obrazce resp. linky. Objekty nejsou tvořené z geometrického hlediska pouze liniovými profilem, ale i obloukovým či kombinacemi. Některé objekty mohou být ze svého technologického charakteru pouze liniového charakteru. Naopak u objektů obsahující segmenty s obloukovým charakterem je nutné hlídat ochranné obalové zóny a průjezdní profily jednotlivých vozíků, které po lince transportují jednotlivé výrobky. V neposlední řadě tvorba plánu spočívá v geometrických omezeních např. v podobě rozměrů výrobní haly.  Níže je graficky zcela  zjednodušeně přiblížena daná problematika.

1. Tvorba layoutu linky (zjednodušeně)



1. Funkce na detekci konfliktů resp. překryvů v obalových ochranných zónách vozíku

Např. v zatáčkách (levý níže uvedený obrázek) či  při nájezdech (pravý níže uvedený obrázek) do vyššího či nižšího patra linky je třeba ošetřit stav možných konfliktů vozíků resp. samotných výrobků. Na základě tohoto ošetření by navrhnutý algoritmus upravil návrh vygenerovaného geometrického plánu linky tak, aby k těmto konfliktům nedocházelo. V praxi, kdy je tuto problematikou zabýváno se na manuální úrovni či v krajním případě až pří zjištění v testovacím provozu linky, se jedná o časově a mnohdy i finančně nákladné ošetřování v podobě tvorby nového řešení. Z tohoto pohledu by implementace toto ošetření již v úvodní fázi návrhu linky byla významným přínosem.

****

1. Optimalizace výrobního procesu

Základní výrobní proces nativně zpracovaný aplikací, je z principu návrhu linky časově optimalizovaný, jelikož dodržuje jednotný výrobní takt. Tento takt má velmi pozitivní vliv na pružnost a snižování zásob v celém dodavatelském řetězci. Na základě možné predikce vyrobených kusů v čase umožňuje velmi přesné plánování dodávek výrobků, což přináší užitek v podobě:

* Snížení doby dodání
* Snížené náklady na zásoby
* Méně zastaralých zásob
* Zlepšení dodávek
* Snížení plýtvání
* Zvýšení produktivity
* Zlepšení návratnosti investic
* Snížené variabilní náklady na kus

Jedná se tak tedy o implementaci metody Just In Time (právě včas) , která  je jedním z klíčových a zároveň požadovaných nástrojů pro snižování nákladů zásob (interních a externích) všech subjektů realizujících výrobek určený pro koncového zákazníka. Aplikace metody Just in Time zajišťuje dodání materiálu, polotvarů či výrobků na místě použití, právě když jsou potřeba. Dodávky nejsou v množství, které vyhovuje dodavateli, ale odběrateli. Vzhledem k obecnému principu výrobního řetězce (aplikovatelném i opakovaně na dalších článcích tohoto řetězce), kdy dodavatel dodává své výrobky více odběratelů a ti většinou odebírají více výrobků (někdy i od stejného dodavatele) a to konkrétní výrobek opakovaně a někdy i v řádu několika let, vzniká požadavek směrem k dodavateli, aby dodával a tedy vyráběl různé výrobky souběžně. Nicméně v případě výrobních linek není mnohdy možné z finančních a  prostorových omezení realizovat výrobní linku specializovanou pouze na jeden výrobek a tedy provozovat z časového hlediska několika takovýchto linek zároveň. Z těchto důvodů se se navrhují, v rámci daného oboru, univerzální výrobní linky (to i z pohledu na budoucí využití), které dokáží co nejvíce a nejdříve pokrýt odběratelské potřeby. Ve skutečnosti je tedy situace taková, že se během výrobní doby vyrábí v určitých dávkách a opakovaně různé typy výrobků tak, aby byl neustále plněn odběratelský požadavek na dodávání výrobků pravě v čas. Vzhledem k faktu, že každá takováto výrobní dávka má svá specifika v podobě změny materiálu (v případě lakovacích linek se jedná o výměnu barev a čištění pistolí) a odlišných technologických časů, ale i změny výrobních postupů (nevyužívají se všechna stanoviště linky), a každá z takovýchto změn má své důsledky v podobě vzniků nákladů časových i finančních, **je vhodné se tedy již zabývat optimalizací celkového výrobního procesu z pohledu řazení zakázek a stanovení velikosti (množství) jedné výrobní dávky konkrétního výrobku to tak, aby byly stále co nejvíce plněny odběratelské potřeby, ale vznikaly zároveň co nejnižší náklady na výrobu ze strany dodavatele.**

**Rozšíření realizované aplikace by tedy mělo za účel řešit vhodné řazení zakázek, tedy návrh výrobního plánu, ale také vhodnou volbu strategie při změnách výrobních dávek.** Pro ilustraci popisu situace jsou v následujících dvou kapitolách podrobně popsány technické principy a důsledky související se změnami zakázek ve výrobních linkách zaměřených na lakování. Stručně vyjádřeno, **z níže popsaných principů a důsledků vyplývá jednoznačná nutnost volby vhodné výrobní strategie, za účelem dosažení požadovaného optimálního stavu.** V současné realizované aplikace spočívá  tato volba na provozovateli linky.

1. Přechody mezi zakázkami

Jedná-li se o zakázky jiného typu z pohledu užité technologické cesty (postupu, receptury) a tím pádem vyplývajícího rozdílného celkového výrobního času na jeden vozík (dále jen LT - lead time), je potom nutné se zabývat přechodem mezi těmito zakázkami pro vyjádření reálné situace, to obzvláště z pohledu „buffrování“ prázdných vozíku. Předpoklad je takový, že zakázka s delší technologickou cestou (skládá se z více technologických objektů) má zároveň delší výrobní čas jednoho vozíků (LT), jedná se tedy o časově delší zakázku, vyplývající invertní předpoklad platí pro časově kratší zakázku. Nutno zdůraznit, že by teoreticky byla přípustná i varianta, kdy delší technologická cesta bude mít nastavené kratší procesní časy jednotlivých technologických objektů než u zakázky s kratší technologickou cestou a LT zakázky s delší technologickou cestou bude nižší než u zakázky s kratší technologickou cestou. Ověřením důsledků této situace je nutné se ještě zabývat.

**Přechod z časově kratší zakázky na časově delší zakázku**

Časově delší zakázka je navěšována ihned za kratší zakázkou, na svěšování mezi zakázkami nejdříve projíždějí prázdné vozíky, které musely být bufferovány (obsazeny) v delší větvi (technologické cestě) linky. Takt linky při průjezdu obsazených a následně neobsazených vozíků zůstává stejný, popř. je-li takt delší zakázky také stejný, nedojde ke změně či kolísavosti taktu při tomto zakázkovém přechodu.

**Z časově delší zakázky na časově kratší zakázku**

Před navěšováním časově kratší zakázky, je nutné obsadit všechny pozice v bufferovacích větvích, v momentě obsazení bufferů již prochází krátká zakázka, navěšování krátké zakázky však již probíhá během obsazování bufferů - je nutné spočítat, kdy a po kolika prázdných vozících zahájit navěšování.

1. Čekání na čištění pistole a výměnu barev

Během výrobního procesu lakování je nutné řešit čistění lakovacích pistolí a výměnu barvy (Č+V) robota mezi zakázkami z důvodu změny lakovací barvy výrobní dávky, dále pak samotné čištění (Č) v průběhu zakázky z důvodu zanášení lakovací pistole, to v tomto případě po stanoveném počtu realizovaných vozíků (resp. výrobků). Obě situace mohou způsobovat nežádoucí narušení časové kontinuality výroby, varianty řešení jsou následující. Výběr varianty řešení je předmětem zákaznické strategie a preference nutného přijetí důsledků na změnu TT či ∑LT porovnaných ve výše uvedené tabulce. Při zvažování důsledků volby řešení popsaných v tabulce je také vhodné uvažovat a výši hodnoty jednotlivých časů Tčv (čas čištění a výměny barvy v pistoli mezi zakázkami) a Tč (čas čištění pistole v rámci zakázky), pro výběr nejvhodnější vybrané varianty by bylo vhodné navrhnout funkcionalitu, která by byla součástí aplikace a porovnávala výsledky resp. dopady jednotlivých voleb a umožňoval výběr té nejvhodnější.

**Varianty voleb:**

* začlenění prázdných (servisních) vozíků, které tráví na jednotlivých stanovištích v technologických objektech stejný čas, jako kdyby obsahovaly výrobky, nejedná se tedy o prostoj linky, takt zůstane stejný, ale o prostoj produkce tedy navýšení celkového výrobního času (tj. ∑LT)
* nebo dílčím prostojem, tedy navýšením doby čekání resp. CT v objektu konkrétního vozíku, může se jednat (ale nutně nemusí za určité konstelace časových resp. technologických procesů) o krátkodobý prostoj linky, tím pádem a jednorázovou odchylku taktu linky, celkový výrobní čas ve většině případu vzroste zcela nepatrně s porovnání s předchozí variantou
* hybridní varianta (kombinace dvou předchozích variant)
* invertovaná hybridní varianta

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **varianta** | | | **\*řešení** | | **předpokládaný důsledek** | |
| **označení** | **Č+V mezi**  **zakázkami** | **Č v rámci zakázky** | **Č+V mezi**  **zakázkami** | **Č v rámci zakázky** | **TT** | **∑LT** |
| **V1** | prázdné (servisní) vozíky | | n - serv. vozíků +  n - opakování | | stejný | vyšší |
| **V2** | navýšením CT | | Tčv, Tč +  n - opakování | | rozkolísaný | pravděpodobně nepatrně vyšší |
| **V3 – hybrid.** | prázdné vozíky | navýšením CT | n - serv. vozíků | Tč +  n - opakování | rozkolísaný | pravděpodobně nepatrně vyšší (ale nižší než u V2) |
| **V4 – invert. hybrid.** | navýšením CT | prázdné vozíky | Tčv | n - serv. vozíků +  n - opakování | stejný, pouze mezi zakázkami odchylka | vyšší (ale nižší než u V1) |

**Tabulka porovnání variant jednotlivých řešení a jejich důsledků**

\*Řešení – myšleno, hodnoty, které uživatel musí zadat, pro aplikaci daného řešení

\*Tčv – čas výměny a čistění mezi zakázkami, Tč- čas čištění v rámci zakázky, n - serv.vozíku – počet servisních vozíků v rámci jednoho opakování, n-opakování  - po kolika vozících s výrobky bude následovat serie n - serv. vozíků.

1. Analýza a syntéza technologického objektu v režimu STOP & GO

Pro srozumění záměru je nutné nejdříve popsat aktuální stav. Již realizovanou aplikaci probíhá zadání technologických parametrů objektů výrobní linky dle režimu, v kterém z logického hlediska pracují, tj. STOP & GO, LINE TRACKING, POSTPROCESNÍ. Tyto jednotlivé módy jsou závislé na technologii a hlavně na technologickém procesu vztaženého pohybu produktů po lince (dopravníkovém systému). Tyto módy se týkají hlavně robotických aplikací. V režimu **STOP & GO** se produkt přesune do přesně definované stacionární polohy a robot provede příslušnou aplikaci dle technologického postupu, zatímco v režimu  **LINE TRACKING** robot provádí příslušnou aplikaci během continuálního přesunu produktu dle technologického postupu. Tyto režimy je nutné při simulaci volit v závislosti na použitých technologiích a to zejména na provedení dopravníkového systému a zvolené robotické aplikaci. Jelikož se jedná o principiálně odlišné módy, tak algoritmy jejich simulací jsou taktéž odlišné. Objekty se zvoleným režimem **POSTPROCESNÍ** jsou objekty, které neovlivňuje robotická aplikace a jsou tedy z hlediska složitosti jednoduššího chakteru pro simulační proces. V technologickém procesu jsou to objekty, které následují v technologickém postupu za objekty aplikačního charakteru a které jsou hlavní částí technologického procesu.

Z technologického výrobního hlediska jsou nejsložitější objekty v režimu S&G, tyto objekty primárně ovlivňují výsledný takt linky. V současně realizované aplikaci je na tyto objekty pohlíženo zcela globálně, kdy se pouze zadává časová náročnost procesu v tomto objektu, navíc za předpokladu, že objekt obsahuje resp. zpracovává pouze jeden výrobní vozík. Nicméně záměrem budoucí aktualizace aplikace by bylo umožnit podrobnější analýzu těchto objektů. Složitost těchto objektů se v některých případech pohybuje na úrovni složitosti kontinuální linky bez výhybek, protože objekt ve zmíněném režimu může obsahovat dílčí objekty v různých režimech (např. výrobek přijede do objektu, čeká na proces, probíhá technologický proces, otáčí se, čeká na další proces, proběhne proces, otáčí se, přesouvá se, čeká, opuští objekt atp., vše v různých technologických časech),  jedná se tedy o jakousi inkluzi výrobní linky do celkové výrobní linky za podmínky dodržení společného taktu linky.

Účelem budoucího rozšíření aplikace by byla tedy implementace nástroje na podrobný rozbor a tvorbu objektů v tomto režimu, včetně grafického ať už  uživatelského, tak výstupně simulačního rozhraní.

Další vhodnou a jednoznačně přínosnou související funkcionalitou pro návrhové činnosti nad těmito objekty by byl algoritmus na rozklad daného objektu na více objektů.  Nutnou podmínkou v režimu S&G je tedy, aby celkový technologický čas (dále CT) objektu byl totožný s taktem linky (dále TT), je-li nižší, musí být CT navýšen dobou čekání (prostoj robota je ve většině případů však nežádoucí), nebo pokud to ostatní objekty linky umožňují, tak snížením TT celé linky, ve většině reálných případů se však jedná o situaci, kdy je naopak CT>TT a není technologicky možné dosáhnout nižšího CT (např. nejde urychlit činnost robota z důvodu fyzikálních možností), v takovém případě se nabízí řešení v podobě rozložení objektu na dva a více objektů, které sice dohromady dosahují hodnoty původního CT, nicméně CT rozdělených objektů je již shodný s TT linky.  

# Předpokládány harmonogram a vývojový diagram