

Jak TOC proměnit ve funkční řízení diskrétní výroby

Od identifikace úzkého místa přes Drum-Buffer-Rope až po architekturu plánovacího řešení založenou na simulaci

Roman Slanina



Pokročilé plánovací systémy (Advanced Planning and Scheduling, APS) tento problém zmírňují, samy o sobě však k řízení podniku nestačí. Pokud APS pouze sekvencuje operace na strojích bez nadřazené logiky, optimalizuje lokálně – v rozsahu krátkého horizontu nebo jedné dílny. Globální propustnost podniku, která je hlavním ekonomickým ukazatelem, zůstává nadále řízena mimo systém. To je hlavní mezera, kterou TOC v plánování zaplňuje.

Co TOC dodává nad rámec klasického APS

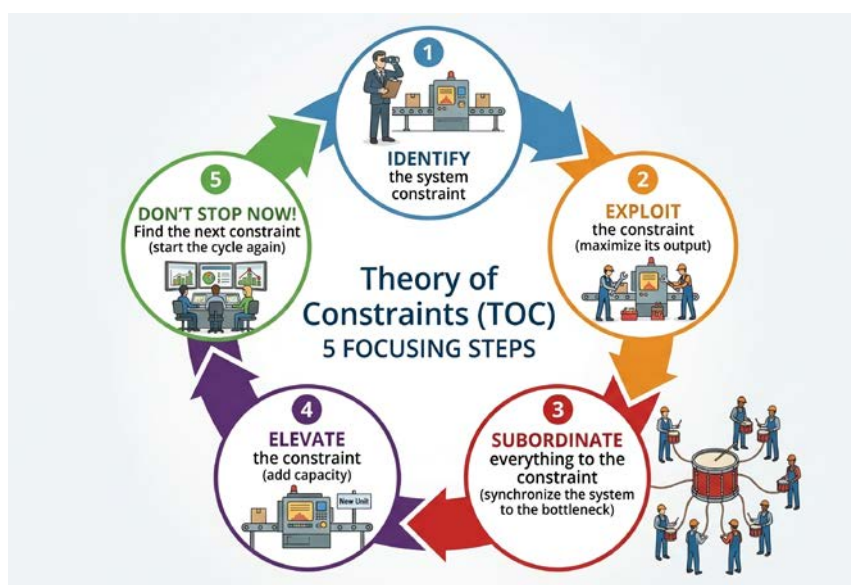
Teorie omezení tvrdí, že každý systém má v daném okamžiku právě jedno (vzácně dvě) skutečné omezení – tzv. úzké místo. Propustnost celého systému je dána propustností tohoto úzkého místa. Z toho vyplývá pět kroků TOC (Five Focusing Steps), které jsou v literatuře dobře popsány:

1. **Identifikuj úzké místo.** Nikoli jako trvalý atribut konkrétního stroje, ale jako dynamicky proměnný stav výrobního systému.

Teorie omezení (Theory of Constraints, TOC) patří k nejcitovanějším koncepcím průmyslového managementu posledních čtyř dekad. Přesto v denní praxi mnoha výrobních podniků zůstává spíše inspirativní knihou než provozovaným systémem. Důvod přitom není v samotné teorii, nýbrž v plánovacích nástrojích, které ji nedokážou do svého jádra zabudovat. Tento článek shrnuje, co je třeba k tomu, aby TOC v podniku skutečně fungoval – a jak vypadá architektura plánovacího řešení, které principy TOC nedoplňuje, ale staví na nich.

Proč klasické plánování dle MRP v diskrétní výrobě naráží

Standardní logika podnikových informačních systémů ERP (Enterprise Resource Planning) a jejich materiálového rozpadu MRP (Material Requirements Planning) plánuje výrobu „proti nekonečné kapacitě“. Materiálové potřeby se rozpadnou, kapacitní zatížení se nahlásí jako informace, ale plán sám o sobě dodržení termínů negarantuje. V realitě každého strojírenského provozu pak nastávají dva známé jevy: úzká místa se přetěžují, zatímco zbytek pracovišť čeká, a rozpracovaná výroba (WIP) přibývá rychleji, než klesá. Plánovači reagují eskalací priorit, ručními zásahy do plánu a hašením operativních problémů.



2. **Plně využívej úzké místo.** Žádné prostroje na úzkém místě nesmí vznikat z důvodů, které jsou pod kontrolou plánování.
3. **Podříď úzkému místu vše ostatní.** Ostatní pracoviště pracují v rytmu, který diktuje úzké místo, nikoli vlastním tempem.
4. **Zvyšuj kapacitu úzkého místa.** Investice mají směřovat tam, kde reálně rozhodují o propustnosti podniku.
5. **Po odstranění omezení se vrať na začátek.** Úzké místo se přesouvá; řízení musí být průběžné, nikoli jednorázové.

Většina podnikových implementací TOC selhává mezi kroky I a III. Úzké místo se sice identifikuje (nezřídka „pohledem zkušeného mistra“), ale plánovací systém samotný neumí plán přepočítávat s ohledem na skutečnou propustnost úzkého místa. Plán na monitoru tedy ukazuje něco jiného než plán na dílně. A protože plán na dílně dříve či později vyhrává, plánovací systém ztrácí důvěru.

Goldrattův koncept TOC byl v evropském akademickém prostředí formálně rozpracován a metodicky zasazen do širšího rámce produkčního plánování. Tento směr propojuje simulaci se zohledněním omezených kapacit, intralogistiku a metodiku

identifikace úzkých míst v jeden ucelený přístup k řízení výroby a poskytuje formální základ pro to, co Goldratt formuloval jako pět kroků TOC – tedy algoritizaci, datový model, optimalizační kritéria a kvantifikaci přínosu jednotlivých zlepšení. Pro českého čtenáře je tento směr relevantní především v tom, že se přímo promítá do návrhu pokročilých plánovacích systémů, které dnes na evropském trhu pokrývají oblast diskretní strojírenské výroby.

Úzké místo není atribut stroje. Je to stav výrobního systému – mění se s mixem zakázek, sezonou, stavem zásob a lidskou kapacitou. Plánovací logika, která to nereflektuje, řídí podnik podle mapy z minulého kvartálu.

Drum-Buffer-Rope: jak úzké místo začne řídit celý podnik

Plánovacím mechanismem TOC je Drum-Buffer-Rope (buben-zásobník-lano). Buben (Drum) je rytmus úzkého místa – tempo, jakým úzké místo dokáže vyrábět. Zásobník (Buffer) je časová rezerva, která chrání úzké místo před výpadky předcházejících operací. Lano (Rope) je

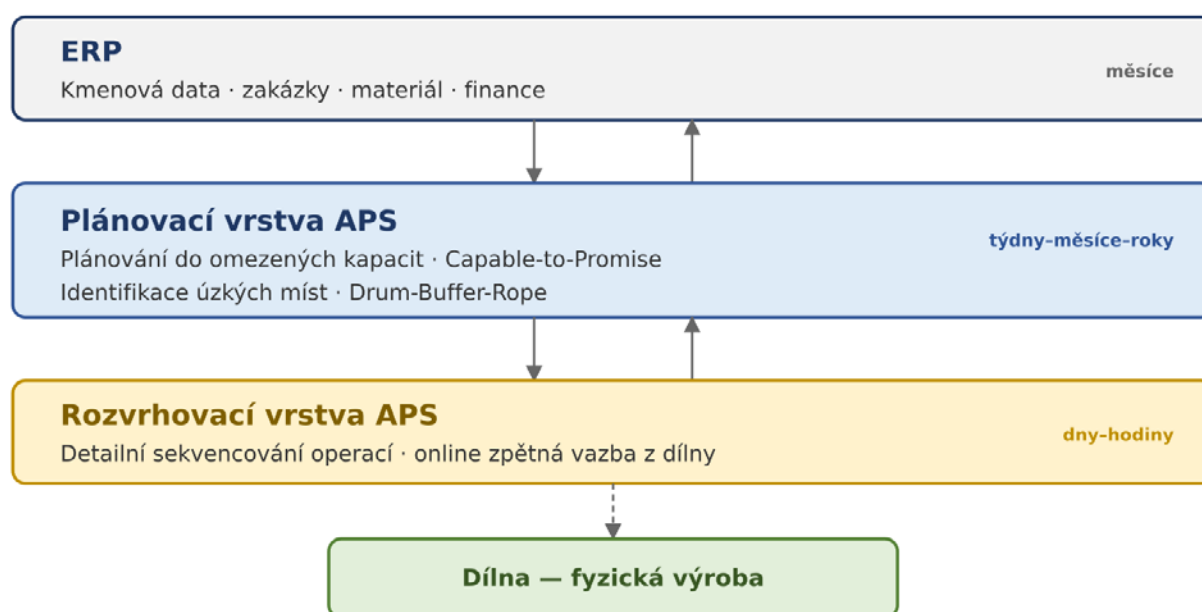
mechanismus, který reguluje vstup materiálu do výroby tak, aby kopíroval rytmus úzkého místa – nikdy ne rychleji.

V plánovacím systému to znamená tři konkrétní funkce. Za prvé, plán na úzkém místě respektuje jeho omezenou kapacitu. Za druhé, ostatní operace se rozvrhují tak, aby na úzké místo přicházely materiály a polotovary s definovaným časovým předstihem (zásobník), ne dříve a ne později. A za třetí, uvolňování zakázek do výroby je svázáno s plánem úzkého místa, nikoli s expedčním datem nebo MRP rozpadem. Bez této regulace se WIP nezadržitelně kumuluje – a každá další zakázka v systému zhoršuje průběžné doby u všech ostatních.

Architektura plánovacího řešení: tři vrstvy a jejich role

Aby TOC v podniku skutečně fungovalo, je nutné rozlišit tři plánovací vrstvy a důsledně dbát na to, aby každá z nich plnila svou roli. Je třeba zdůraznit, že zkratka APS (Advanced Planning and Scheduling) ve svém původním významu pokrývá dvě odlišné funkce – plánování a rozvrhování. Mají odlišné horizonty, data, optimalizační cíle i uživatele. Slévání obou pod jediný nerozlišený nástroj je nejčastější příčinou, proč TOC v plánovacích projektech nedostojí očekávání.

Třívrstvá architektura plánovacího řešení podle TOC



▲ Třívrstvá architektura plánovacího řešení. ERP poskytuje data a přijímá výsledky; plánovací vrstva APS realizuje TOC kroky 1–3 a metodu Drum-Buffer-Rope; rozvrhovací vrstva APS překládá master-plán do dílenského rozvrhu a reaguje na zpětnou vazbu z výroby.

Vrstva ERP – evidence a transakční jádro

ERP je zdrojem kmenových dat (kusovníky, technologické postupy, zdroje, kalendáře), evidence zakázek, materiálových dispozic a finančních dopadů. ERP nemá řídit plán; má poskytnout vstupy a přijmout výstupy z plánování. Pokus realizovat TOC přímo v ERP končí v parametrizaci, která je nákladná, neudržitelná a stále nedává to, co plánovač potřebuje.

Plánovací vrstva APS – plánování do omezených kapacit a CTP

Plánovací vrstva pracuje s digitálním modelem výroby (často nazývaným digitální dvojčec), který dokáže simulovat zakázkové sítě se zohledněním omezených kapacit. Plánuje typicky horizont týdnů až let, identifikuje úzká místa, modeluje varianty („what-if“), a poskytuje robustní termínové předpovědi včetně Capable-to-Promise (CTP). Toto je vrstva, kde se v podniku skutečně rozhoduje o tom, co se vyrobí a kdy.

Klíčové je, že tato vrstva nepřevzme úlohu detailního dílenského rozvrhování. Její úkol je jiný: zajistit, aby celkový průchod zakázek systémem respektoval kapacitu úzkého místa, dispoziční omezení materiálů a strategická rozhodnutí (priority zákazníků, segmentace výroby, plánovaná údržba). Tato vrstva také zpravidla obsluhuje obchodní oddělení – CTP odpovídi pro nové poptávky se generují právě zde. Z hlediska TOC je tato vrstva, ve které se odehrávají kroky 1 až 3 (identifikace úzkého místa, jeho plné využití a podřízení ostatních zdrojů jeho rytmu).

Samostatnou pozornost si zaslouží průběžné řízení omezení (Constraint Management, CM). Goldrattův pátý krok – „po odstranění omezení se vrací na začátek“ – v praxi znamená, že úzké místo není pevný atribut, ale stav, který se v čase přesouvá podle mixu zakázek, dostupnosti materiálu, sezony a kapacitních výkyvů. Plánovací vrstva proto musí měnit se úzká místa sama identifikovat v každém plánovacím cyklu – nikoli spoléhat na to, že omezení bylo definováno při zavedení systému – a všechny další kroky (uvolňování zakázek, CTP,

podřízení ostatních zdrojů) okamžitě adaptovat na aktuální stav. Bez této schopnosti kontinuálního CM se i jinak korektní plán velmi rychle rozejde s realitou výroby.

Rozvrhovací vrstva APS – sekvencování s online zpětnou vazbou

Rozvrhovací vrstva pracuje na úrovni dnů, hodin a minut. Sekvencuje operace na konkrétních strojích, optimalizuje pořadí podle více kritérií (přestavba, materiálové dávky, kvalifikace pracovníků) a v reálném čase reaguje na zpětnou vazbu z dílny – odvádění práce, výpadky, zpoždění materiálu. Zde mají své místo i pokročilé optimalizační techniky včetně metod multikritériální optimalizace a strojového učení.

Detailní rozvrhování samo o sobě TOC nezajišťuje – pokud není vsazené do plánovací sítě nadřazené plánovací vrstvy, optimalizuje pouze lokálně. Naopak, v kombinaci s plánovací vrstvou zajišťuje, že rytmus úzkého místa diktovaný master-plánem se na dílně skutečně realizuje. Spojení obou vrstev je tedy nutnou podmínkou; každá z nich samostatně poskytuje jen polovinu výsledku.

Plánování bez rozvrhování je strategie bez exekuce.
Rozvrhování bez plánování je exekuce bez strategie.
Funkční TOC vyžaduje obojí – a důslednou hranici mezi nimi.

Capable-to-Promise jako přímý důsledek TOC

Capable-to-Promise je v moderním pojetí slibování termínu nikoli na základě dostupnosti materiálu (Available-to-Promise, ATP), ale na základě reálné dostupnosti kapacity, materiálu a celkové průchodnosti systému. CTP je tedy přímou aplikací TOC: termín, který obchod slíbí zákazníkovi, je termín, který úzké místo dovolí dodržet. V praxi nová zakázka prochází simulační kontrolou ještě před potvrzením a systém vrátí buď termín, který je realizovatelný, nebo nejbližší dostupný.

Důsledek je dvojitý: vůči zákazníkovi roste dodací spolehlivost, uvnitř roste transparentnost obchodního rozhodování. CTP přestává být jen technickou kontrolou a stává se nástrojem, kterým obchod simuluje dopad nové poptávky na plán a rozhoduje, zda zakázku přijmout, kdy ji nasadit, případně za jakou cenu nabídnout.

Simulace a digitální dvojčec výroby

Funkční CTP a funkční DBR mají společný technický základ: simulační jádro, které dokáže výrobu modelovat se zohledněním omezených kapacit, dostatečně rychle, aby simulace byla použitelná v provozu (typicky vteřiny až minuty pro přepočty středně velkého závodu).

Simulační jádro – v praxi často označované jako digitální dvojčec výroby – udržuje aktuální model všech zakázkových sítí, kapacitních zatížení, materiálových dispozic a vazeb mezi operacemi. Nad tímto modelem lze provádět tři typy operací:

- **Plánovací přepočty.** Master-plán, dílenský rozvrh, dopady změn priorit, výpadků, urgentních zakázek.
- **Scénářové simulace („what-if“).** Dopad přidání další směny, nasazení dalšího stroje, přesunu zakázky mezi závody, výpadku dodavatele.
- **Diagnostika a kořenové analýzy.** Identifikace skutečného úzkého místa v daném horizontu, analýza příčin zpoždění, vyhodnocení dopadu navrhovaných opatření.

Bez simulačního jádra je řízení podle TOC odkázáno na statické tabulky a zkušenost plánovače. Se simulačním jádrem se TOC stává každodenním provozním nástrojem – stejně přirozeným jako kontrola pokladny v účetnictví.

Rozšíření na vícezávodové prostředí

V holdingových strukturách s více výrobními závody se TOC promítá do dalšího rozměru – mezizávodového plánování (Master-Planning, Multi-Site). Úzké místo se zde může nacházet nejen uvnitř jednoho závodu, ale i v alokaci zakázek mezi závody. Holding s pěti lokalitami nemá pět nezávislých výrobních systémů; má jeden

distribuovaný výrobní systém, jehož úzké místo se může nacházet kdekoli – a nezřídka se přesouvá mezi závody podle sezóny, mixu zakázek a stavu kapacit.

Vícezávodové plánování proto vyžaduje, aby simulační jádro pracovalo nad jednotným modelem všech závodů, byť každý z nich může provozovat odlišný ERP systém. Standardizace probíhá na úrovni plánovací vrstvy – ta zajišťuje jednotný datový model, jednotné chápání kapacit a jednotnou logiku CTP směrem k zákazníkům. Pro skupinu, která uvažuje o organickém i akvizičním růstu, je to zásadní vlastnost: nasazení v jednom závodě se v budoucnu přirozeně rozšíří na holdingovou úroveň, aniž by bylo nutné měnit plánovací platformu.

Závěr: co dělat zítra ráno

Pro výrobní podnik, který se s TOC chce začít vážně zabývat, lze formulovat několik praktických doporučení:

- **Začněte identifikací, ne investicí.** Před nákupem jakéhokoli systému proveďte krátkou analýzu, kde se v současné výrobě skutečně nachází úzké místo a jak často se přesouvá. Pokud jste schopni odpovědět jedním pevným pracovištěm, možná hledáte špatně.
- **Oddělte tři plánovací vrstvy.** ERP, plánovací vrstva a rozvrhovací vrstva mají různé úkoly a různé horizonty. Snaha vyřešit vše v jednom systému je nejčastější příčinou neúspěšných projektů.
- **Hleďte APS řešení, které tento dvouvrstvý přístup skutečně podporuje.** Mnoho nástrojů na trhu se prezentuje jako „APS“, ale ve skutečnosti pokrývá pouze rozvrhovací funkci, nebo naopak pouze plánovací – a druhou polovinu předpokládá v Excelu. Při výběru je rozhodující, aby plánovací a rozvrhovací vrstva pracovaly s konzistentním obrazem kapacit, vzájemně provázanou identifikací úzkého místa a obousměrnou výměnou dat (rytmus úzkého místa shora dolů, stav exekuce zdola nahoru). Není přitom nutné, aby šlo o jediný monolitický datový model; ucelená dvouvrstvá řešení s vyhrazeným modelem pro každou vrstvu a robustním rozhraním mezi nimi tuto úlohu plní obvykle lépe než pokus zahrnout obě vrstvy do jednoho stromu objektů.
- **Trvejte na simulačním jádru.** Bez simulace se zohledněním omezených kapacit v dostatečné rychlosti není TOC v denním provozu udržitelný. Tabulkové procesory tuto roli neplní.
- **Postavte CTP na simulaci, ne na slibech.** Termín slíbený zákazníkovi musí být termín, který systém prokazatelně dokáže splnit. Vše ostatní je hazard se vztahem se zákazníkem.
- **Plánujte rozšíření na holdingovou úroveň od začátku.** I když implementujete v jediném závodě, datový model

a architektura by měly s mezizávodovým rozšířením počítat. Pozdější přepracování bývá dražší než celá původní implementace.

Teorie omezení nedává podniku zázračné nástroje – dává mu jiný úhel pohledu. Nicméně bez plánovacího řešení, které tento pohled umí konzistentně exektovat napříč ERP, master-plánováním i dílenským rozvrhováním, zůstává TOC v knihovně. Investice do takového řešení mívá nejvyšší návratnost ze všech digitalizačních projektů ve výrobě – nezavádí novou technologii, ale odstraňuje překážku, kvůli které nefunguje naplno to, co už podnik dávno platí. ■

Ing. Roman Slanina

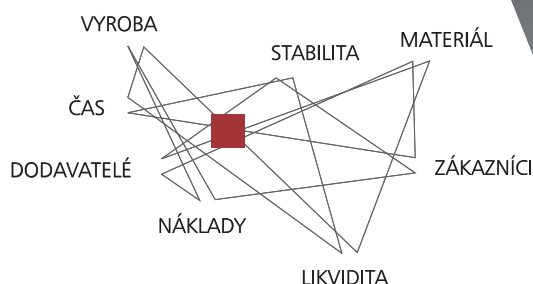


Autor je jednatelem společnosti BERGHOF SYSTEMS s.r.o. a má mnohaleté zkušenosti z projektů implementace ERP/MES/APS systémů pro diskrétní výrobu v České republice a v Německu. Specializuje se na propojení strategického plánování (S&OP, master-plánování) s detailním dílenským rozvrhováním.

Inzerce

BERGHOF

ERP tuning: Dodáváme přínosy.



Zvyšte průtok výrobou,
spolehlivost dodávek
a snižte skladové
zásoby

www.berghof.systems

BERGHOF SYSTEMS s.r.o.

+420 734 464 986

info@berghof.systems

DIGITALIZUJTE VAŠE PLÁNOVÁNÍ – SPOJTE SE S NAŠIMI EXPERTY