

VLIV STABILIZACE VÝROBY NA NÁKLADY DODAVATELSKÉHO ŘETĚZCE S OMEZENOU VÝROBNÍ KAPACITOU A S MOŽNOSTÍ KUMULACE NEDODĚLKŮ

THE EFFECT OF PRODUCTION SMOOTHING IN A CAPACITATED PRODUCTION-INVENTORY SYSTEM WITH BACKLOGGING

Lucie Synáková¹

¹ Ing. Lucie Synáková, MBA, Technická univerzita v Liberci, Ekonomická fakulta, lucie.synakova@tul.cz

Abstract: This paper considers a decentralized two-echelon supply chain: a single retailer holds finished goods inventory to meet customer demand and a single manufacturer produces the retailer's replenishment orders for a single item on a make-to-order basis. Finite production capacity in each period and backordering of excessive demand is considered. The manufacturer operates close to his production capacity. In this setting the retailer's order decision has direct impact on the manufacturer's production utilization. Most inventory-focused literature research control inventory levels and allow production levels to vary substantially each period. The manufacturer, however, prefers stable level of production, i.e. smooth order pattern from the retailer. In this paper we explore the effects of production smoothing on total system per-unit costs while considering inventory related costs as well as production related costs.

Keywords: production-inventory system, capacitated system, backlogging, base-stock policy, total system costs

JEL Classification: M11, M21, C44

ÚVOD

V praxi naráží řada výrobních systémů na hranice dané kapacitou. Vyrobené množství je omezené stávající pracovní silou, instalovaným výrobním zařízením a dostupností surovin. Výrobní kapacita bývá plně vytižená a množství produkce tak naráží na jasně vymezenou hranici možností.

Hranice dané výrobní kapacitou jsou často opomíjeny v literatuře věnující se řízení zásob a dodavatelským řetězcům. Kapacita je obvykle výsledkem předchozích investičních rozhodnutí a v okamžiku, kdy se rozhoduje o úrovni výroby, je již fixní.

Zásoby představují odpověď na omezení výrobní kapacitou. V rámci výzkumu řízení zásob je kontroly nad systémem dosahováno převážně řízením a optimalizací úrovně zásob, zatímco úroveň výroby kolísá takřka neomezeně. Nicméně, tyto fluktuace mohou být ve svém důsledku velmi drahé a mít také nepříjemné následky pro zaměstnance.

Přesčasy na jedné straně a nečinnost na straně druhé negativně ovlivňují jednotkové náklady výrobce a mohou být silně demotivující pro zaměstnance. Výrobce tak preferuje stabilní využití výrobní kapacity.

V tomto příspěvku uvažujeme decentralizovaný dvouúrovňový dodavatelský řetězec sestávající z jednoho prodejce a jednoho dodavatele, jehož výroba operuje v blízkosti výrobní kapacity, kterou si tyto dva vzájemně dohodli ještě před začátkem dodávek. V takových podmínkách dodavatel upřednostňuje stabilní úroveň produkce. Prodejce zase optimalizuje své náklady spojené se zásobami uplatňováním objednacích strategie doplňování zásob do předem dané úrovně.

Tento příspěvek neřeší optimální parametry prodejcovy objednacích strategie, nebo optimální kapacitu výroby. Pracuje s danými parametry a zkoumá, jak vyrovnávání úrovně využití výrobní kapacity výrobce ovlivňuje jednotkové náklady celého řetězce. Přinese stabilizace výroby nižší

jednotkové náklady pro dodavatele a také pro celý řetězec?

Efekty vyrovnávání využití výrobní kapacity bude znázorněno a zkoumáno srovnáním dvou modelů: V prvním modelu prodejce objednává dle objednacích strategie doplňování zásob do předem dané úrovně (dále nazýváno OUT model, z angl. „Order up-to“) omezené dohodnutou výrobní kapacitou. Ve druhém modelu pak dodavatel omezí objednávky prodejce zdola minimálním objednacím množstvím (dále MOQ model, z angl. „Minimum order quantity“).

Model řízení zásob s periodickým objednávaním, omezenou kapacitou, který čelí stochastické poptávce konečných zákazníků, je pro vyhodnocení výpočetně náročný (Levi et al., 2008). Efekty stabilizace výroby na jednotkové náklady řetězce budeme zkoumat prostřednictvím numerické simulace. To navíc umožní vzít v úvahu také nákladově různé typy výroby.

Konstrukce modelu vychází z běžného stavu prostředí B2B, zejména v automobilovém průmyslu, kde je běžně kladen důraz na výrobu na objednávku s minimalizací, až eliminací zásob u dodavatele. Z následujícího přehledu literatury zjistíme, že zkoumání takového modelu řízení zásob v dodavatelském řetězci spojeném s kontinuální výrobou s omezenou výrobní kapacitou bylo dosud věnováno velmi málo pozornosti. Tento příspěvek se tedy oproti majoritnímu trendu výzkumu nezaměřuje pouze na zásoby, ale pozornost soustředí na výrobu, její stabilizaci a vliv této stabilizace na jednotkové náklady celého řetězce.

1. TEORETICKÁ VÝCHODISKA

S ohledem na množství literatury na témata spjatá s řízením zásob a s dodavatelským řetězcem, omezíme tento přehled na příspěvky týkající svou podstatou přímo jevu zkoumanému v tomto příspěvku.

1.1 Modely zásob

Literatury spojené s optimalizací zásob lze nalézt hojně a může být klasifikována podle mnoha znaků. Např. podle typu poptávky a zásobování na deterministickou a stochastickou, podle plánovacího horizontu na

konečnou a nekonečnou, podle množství úrovní na jednoúrovňovou nebo víceúrovňovou, podle množství produktů na modely s jedním či více produkty, podle omezenosti produkce nebo zdrojů na kapacitně omezenou či neomezenou. Podle možností při nedostatku zásob pak dělíme modely zásob na ty, kde je možné nedodělky kumulovat, a modely se ztracenou poptávkou. Dále je možné systémy pozorovat neustále nebo v diskrétních okamžicích. Z hlediska doplňování zásob lze rozlišit modely statické a dynamické.

Základní jednoúrovňové modely s jedním produktem, které stály na počátku výzkumu řízení zásob, je statický model zvaný problém prodavače novin (z angl. „Newsvendor problem“) a dynamický EOQ model (z angl. „Economic order quantity“) s deterministickou stacionární poptávkou formulovaný Harrisem (1913) a dále rozvinutý Wilsonem (1934), který se snaží minimalizovat celkové náklady spojené s objednávaním a držením zásob. Optimální objednacích množství je kompromisem mezi těmito dvěma typy nákladů. Stejnou klíčovou otázku řeší také deterministický model s časově proměnnou poptávkou známý jako Wagner-Whitinův model (Wagner a Whitin, 1958).

Karlin a Scarf (1958) uvažují verzi problému prodavače novin s více periodami. Ukazují, že při sledování kritéria diskontovaných nákladů je optimální přístup objednávaním dle základního stavu zásob (z angl. „base-stock policy“) neboli doplňování zásob do předem stanovené výše (z angl. „order-up-to“), pokud lze kumulovat nedodělky a zásoby k naplnění požadavků neuspokojené poptávky jsou doobjednány.

1.2 Rozhodování o zásobách v dodavatelských řetězcích

Na problematiku optimální objednacích strategie a optimalizace zásob ve víceúrovňových dodavatelských řetězcích bez jakýchkoliv kapacitních omezení se ve svém výzkumu zaměřili Clark a Scarf (1960). Ve svém klíčovém příspěvku uvažují čistě sériový dodavatelský řetězec, periodické doplňování zásob, lineární náklady na držbu zásob a doobjednávání, žádné náklady na seřízení a stochastickou poptávku konečných zákazníků. V případě konečného plánovacího horizontu pak zjišťují, že optimální objednacích strategie pro

celý dodavatelský řetězec může být rozložena na rozhodnutí založená výhradně na stavu zásob jednotlivých úrovní řetězce. Představují koncept stavu zásob na celé úrovni řetězce (z angl. „echelon stock“) a prokazují, že optimální objednávací strategie je doplňování zásob do předem stanovené výše (z angl. „base-stock policy“). Federgruen a Zipkin (1984) rozšiřují toto zjištění i pro případ nekonečného plánovacího horizontu. Chen a Zheng (1994) poskytují jednoduchý způsob jak prokázat optimalitu této objednávací strategie. Cachon (1999) rozšiřuje platnost výsledků pro verzi se ztracenou poptávkou.

Všechny výše zmíněné modely předpokládají, že kapacita výroby je neomezená s buď konstantními, nebo nezávislými dodacími lhůtami. Federgruen a Zipkin (1986a, 1986b) však uvažují jednoúrovňový model s diskrétním časem, s jedním produktem, s periodickým doplňováním zásob, se stacionární stochastickou poptávkou a s omezenou výrobní kapacitou. Za těchto podmínek ukazují na kritériu průměrných a poté i diskontovaných nákladů, že optimální objednávací strategií je modifikovaná verze doplňování zásob do předem stanovené výše (z angl. „modified base-stock policy“). Při uplatňování této strategie necháme v každém časovém úseku úroveň produkce kolísat až do předem stanovené maximální výrobní kapacity. Pozornost se přitom soustředí na minimalizaci nákladů na držení zásob a doobjednávání.

Tayur (1993) předkládá metodu výpočtu optimální hodnoty cílové úrovně stavu zásob při této objednávací strategii. Ve své analýze Tayur používá „proces nedostatku“ (modelovaný jako Markovův řetězec) k popisu vývoje objednávek, které nebyly vyrobeny právě z důvodu omezené výrobní kapacity.

Kapuscinski a Tayur (1998) navazují na tuto analýzu a rozšiřují závěry Federgruena a Zipkina na model se stochastickou cyklickou poptávkou. Aviv a Federgruen (1997) pak uvažují model s omezenou kapacitou, ve kterém dochází k cyklickým změnám parametrů.

Výzkum víceúrovňových modelů s omezenou kapacitou v každé jednotce se objevuje jen zřídka. Glasserman and Tayur (1994, 1995)

studují stabilitu takových víceúrovňových modelů s omezenou kapacitou za předpokladu používání objednávací strategie doplňování zásob do předem dané výše. Docházejí k závěru, že pokud je průměrná poptávka nižší než kapacita každého článku řetězce, pak zásoby i nedodělky jsou stabilní.

1.3 Integrované systémy

Je dobře známo, že v decentralizovaných dodavatelských řetězcích, kde každý článek rozhoduje ve svůj vlastní prospěch, dochází k neefektivnostem a ztrátě zisku. V dodavatelském řetězci o jednom dodavateli a jednom prodejci Spengler (1950) pozoroval, že když oba články řetězce sledují své vlastní zájmy a dělají decentralizovaná rozhodnutí, celkový zisk řetězce je nižší než, když jim centrální autorita vnutí svá rozhodnutí o ceně a množství. Pro tento efekt se vžil název dvojitá zisková marže.

Goyal (1977) je považován za prvního, který formuluje myšlenku o koordinaci dodatele a prodejce. Zaměřuje se na minimalizaci celkových relevantních nákladů jak prodejce, tak také dodavatele pomocí objednávacího množství v dvouúrovňovém řetězci s deterministickou poptávkou.

Průlomové rozšíření Goyalovy práce poskytl ve svém příspěvku Banerjee (1986), když ve svém modelu uvažoval omezenou rychlost doplňování zásob u dodavatele. Tak vlastně poprvé je dodavatel výrobcem. Celkové relevantní náklady zahrnují vedle nákladů na držbu a objednání zásob také náklady na výrobu. Podobně jako v klasickém EOQ modelu počítá optimální objednávací množství jako společné ekonomické množství (z angl. „Joint economic lot size“).

Integrované modely zásob se stochastickou poptávkou obvykle zdůrazňují otázku dodací lhůty a její kontroly, viz např. Boute et al. (2007). Detailní přehled literatury v oblasti integrovaných systémů poskytuje např. Glock (2012).

1.4 Vyrovnávání výroby

Většina výzkumu týkající se zásob kontroluje model přes řízení úrovně zásob, zatímco úroveň výroby nechává kolísat od jedné periody k druhé. Nicméně, fluktuace ve výrobě mohou

být poměrně nákladné, někdy takové kolísání ani výrobní technologie neumožňuje. Modigliani a Hohn (1955) poskytují jeden z prvních modelů vyrovnávání výroby, základní rámec pak byl shrnut např. Johnsonem a Montgomerym (1974).

Výrobní zařízení mají horní limit výroby stanovený výrobní kapacitou. Je to dáno zejména instalovaným strojním vybavením a obsazením personálem. Pokud poptávka převyšuje tuto kapacitu, tento přebytek poptávky může být uspokojen ze zásob, doobjednán nebo ztracen. Ke zmírnění přebytku poptávky může být použita přesčasová práce ve výrobě, ta ale stojí dodatečné náklady.

Pokud je poptávka nižší než výrobní kapacita a výrobce se rozhodne nevyrábět na sklad, zařízení a pracovníci jsou nevyužiti. Oba případy, práce přesčas i nevyužití plné kapacity, má následky. Následky na pracovníky zahrnují např. to, že unavení pracovníci s větší pravděpodobností udělají při práci chybu, nevyužití pracovníci zase mohou ztrácet schopnosti a motivaci.

Jak nevyužití pracovníci, tak přesčasová práce ovlivňuje náklady na jednotku produkce. Proto Chan a Muckstadt (1999) uvažují nad efekty svázání výroby nejen horním limitem daným kapacitou, ale také dolním limitem, tj. minimálním využitím výrobního zařízení. Navázali na tradiční koncept nedostatku (viz Tayur, 1993) a představili a analyzovali „proces čistého nedostatku zásob“ (také jako Markovův řetězec) a prokazují, že výroba by měla být řízena modifikovanou-modifikovanou strategií doplňování zásob do předem dané úrovně. Tato strategie minimalizuje očekávané náklady řetězce na jednotku produkce v neomezeném časovém horizontu.

2. MODEL

V tomto příspěvku uvažujeme model sériového dodavatelského řetězce sestávajícího z jednoho prodejce a jednoho výrobce s periodickým doplňováním zásob. Výrobce vyrábí jeden produkt, který od něho prodejce kupuje tak, aby uspokojil stochastickou

stacionární poptávku. Výrobní kapacita je stanovena předem, na základě dohody mezi oběma články řetězce, a to lehce nad průměrnou poptávkou. Přebytek poptávky je doobjednán při příští objednávce a uspokojen v některé z dalších period. Ovšem toto doobjednání s sebou nese penalizaci (tj. náklady na doobjednání). Lze si je představit i jako slevu poskytnutou zákazníkovi, aby byl ochotný na zboží čekat do další časové periody. Výrobce vyrábí zboží na objednávku, nedrží žádné zásoby hotových výrobků.

Prodejce drží zásoby hotových výrobků k uspokojení stochastické poptávky koncových zákazníků, a pokud by se řídil zjištěním Clarka a Scarfa (1960), preferoval by řídit úroveň svých zásob za pomoci strategie doplňování zásob do předem stanovené výše (jinak také angl. „order-up-to“, zkráceně OUT).

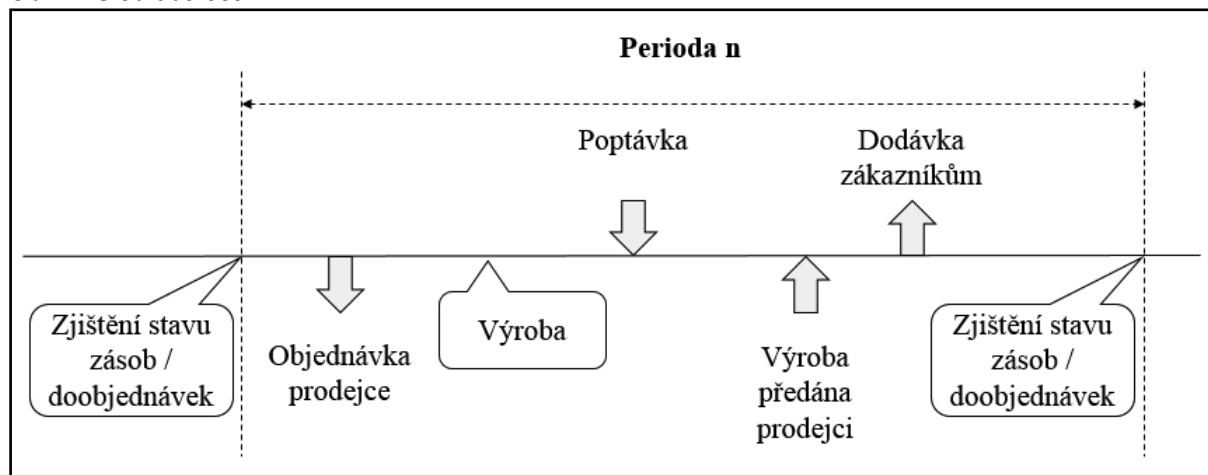
V prvním ze dvou porovnávaných modelů, bude prodejce kupovat dle modifikované verze objednávání zásob do předem stanovené úrovně, jak ji představili Federgruen a Zipkin (1986a). Objednává tedy tak, aby doplnil stav zásob do předem stanovené výše, ale přitom je omezený kapacitou výroby, kterou si s dodavatelem předem dohodli. Tento model budeme v dalším zkráceně nazývat OUT.

Ve druhém modelu není omezena jen kapacita výroby, ale souběžně výrobce omezuje také spodní limit pro objednávky prodejce, tzv. minimálním objednacím množstvím (z angl. „minimum order quantity“). V tomto modelu (dále zkráceně nazývaný MOQ), jsou tedy objednávky prodejce omezeny shora kapacitou výroby a zdola minimálním objednacím množstvím. Prodejce uplatňuje modifikovanou-modifikovanou strategii doplňování zásob do předem dané úrovně tak, jak byla představena Chanem a Muckstadtem (1999).

2.1 Zápis modelu

Základ tohoto modelu byl postaven podobně, jako to ve svém příspěvku učinili Kijima a Takimoto (1999). Sled událostí v modelu během každé periody je zobrazen na Obr. 1.

Obr. 1: Sled událostí



Zdroj: Adaptováno dle Kijima a Takimoto (1999)

Při popisu modelu bude využíván následující zápis:

C = pevně daná předem stanovená výrobní kapacita ($C > 0$);

S = výše pro doplňování zásob ($S > 0$);

D_n = poptávka během periody n (poptávka je stochastická stacionární; nezáporné celé číslo);

I_n = fyzický stav zásob na konci periody n ;

B_n = aktuální výše doobjednávek na konci periody n ;

$J_n = I_n - B_n$ = stav zásob / výše doobjednávek na konci periody n ;

P_n = aktuální výše produkce v periodě n ($0 \leq P_n \leq C$).

Vzhledem k tomu, že $I_n > 0$ a $B_n > 0$ nikdy nenastávají společně, můžeme o stavu zásob / doobjednávek J_n také psát:

$$J_n = \begin{cases} \text{když } I_n > 0; I_n \\ \text{když } I_n = 0; -B_n \end{cases} \quad (1)$$

Prodejce vystavuje svou objednávku tak, aby doplnil aktuální stav zásob do předem stanovené výše S . V prvním modelu, OUT, je

$$Rout_n = \min\{S - J_{n-1}; C\} \quad (2)$$

Ve druhém modelu, MOQ, ve kterém je objednávka prodejce omezena také zdola

$$Rmoq_n = \max\{\min\{S - J_{n-1}; C\}; MOQ\} \quad (3)$$

Protože dodavatel nedrží žádné zásoby hotového zboží (tento stav může být sjednán smluvně mezi prodejcem a dodavatelem),

$$P_n = R_n \quad (4)$$

Prodejce objednává zboží dříve, než je známá poptávka koncových zákazníků dané časové

$$Del_n = \min\{D_n; I_{n-1} + P_n\} \quad (5)$$

Pokud dostupné hotové zboží neuspokojí celou poptávku zákazníků, chybějící zboží je doobjednáno v další časové periodě. Na

$$B_n = B_{n-1} + D_n - Del_n \quad (6)$$

a také aktuální stav zásob:

prodejce limitován vzájemně odsouhlasenou kapacitou výroby dodavatele. Jeho rozhodnutí tedy vypadá následovně:

minimálním objednacím množstvím, objednáva prodejce následovně:

dodavatel vyrábí přesně tolik zboží, kolik prodejce objedná:

periody. Velikost dodávky zákazníkům lze popsat takto:

konci každé periody se zjišťuje velikost doobjednávek:

$$I_n = I_{n-1} + P_n - Del_n \quad (7)$$

2.2 Náklady v modelu

Prodejce prodává hotové zboží koncovým zákazníkům za pevnou cenu pr. Zboží nakupuje od dodavatele za fixní cenu ps. Prodejce nese náklady spojené s vystavením objednávky (OC) a s držením zásob (HC). V případě nedostatku zásob prodejce doobjedná chybějící zboží v další časové periodě. S touto doobjednávkou jsou však spojeny náklady (BC), které si

$$RTC_n = OC + \frac{(I_n + I_{n-1})}{2} HC + B_n BC + P_n p_s \quad (8)$$

Dodavatel prodává své výrobky prodejci za pevnou cenu ps. Nakupuje materiál pro svou výrobu od svých dodavatelů (MC), nese personální náklady (PC) a fixní náklady (FC) za instalované zařízení.

MC = materiálové náklady na jednotku produkce;

PC = personální náklady za jednu časovou periodu;

můžeme představit např. jako slevu za to, že je zákazník ochoten čekat.

OC = fixní objednávací náklady na objednávku, nezávislé na velikosti objednávky;

HC = náklady na držení jednotky zásob po jednu časovou periodu;

BC = náklady na doobjednání jednotky zásob.

Celkové náklady prodejce v periodě n:

FC = fixní náklady za instalované zařízení za jednotku času, nezávislé na velikosti aktuální výroby.

Ačkoliv obecné ekonomické vnímání řadí personální náklady spíše mezi variabilní náklady, délka (nebo spíše krátkost) časové periody uvažované v tomto modelu neumožňuje změnu počtu zaměstnanců z periody na periodu, a proto se personální náklady chovají jako náklady fixní.

Celkové náklady dodavatele v periodě n:

$$STC_n = P_n MC + PC + FC \quad (9)$$

Celkové náklady řetězce v periodě n jsou součtem náklady prodejce a dodavatele:

$$TC_n = RTC_n + STC_n \quad (10)$$

Celkové náklady jsou ovlivněny množstvím zboží, které dodavatel vyrobí a prodejce prodá zákazníkům. Větší vypovídací schopnost mají

náklady na jednotku. V případě prodejce jsou náklady na jednotku v periodě n:

$$RCU_n = \frac{1}{Del_n} \left(OC + \frac{(I_n + I_{n-1})}{2} HC + B_n BC + P_n p_s \right) \quad (11)$$

Náklady dodavatele na jednotku v periodě n lze popsat následovně:

$$SCU_n = \frac{1}{P_n} (P_n MC + PC + FC) = MC + \frac{1}{P_n} (PC + FC) \quad (12)$$

Jednotkové náklady řetězce v periodě n jsou součtem jednotkových nákladů prodejce a dodavatele:

$$CU_n = RCU_n + SCU_n \quad (13)$$

produkce striktně omezena kapacitou danou vzájemnou dohodou prodejce a dodavatele. Druhá část pak zkoumá model, ve kterém se dodavatel snaží vyjít vstříc požadavkům prodejce na dodání vyšších objemů (jak se často děje v reálném hospodářském životě) a

3. ČÍSELNÁ STUDIE

Tato kapitola pojednává o výsledcích získaných studiem konkrétního číselného modelu. První část se zabývá modelem, ve kterém je

používá přesčasové práce, aby navýšil výrobní kapacitu.

3.1 Model bez přesčasové práce

Uvažujeme stochastickou stacionární poptávku s průměrnou hodnotou 500 jednotek za časovou periodu a směrodatnou odchylkou 75. Výrobní kapacita je stanovena 5% nad průměrem poptávky, tedy $C=525$. Jedna časová perioda je jeden týden a každá simulace sestává z 52 týdnů. Každý scénář je simulován v 1 000 opakováních. Cena pro konečného zákazníka je stanovena na $pr = 4\ 000$, dodavatel prodává své zboží prodejci za $ps = 3\ 000$. Náklady prodejce na objednání jsou $OC = 50$ za objednávku, náklady na držení jedné jednotky zásob po dobu jednoho týdne $HC = 10$ a náklady na doobjednání jedné jednotky zásob $BC = 40$ za jednu periodu. Pro náklady dodavatele je uvažováno 11 rozličných scénářů (viz Tab. 1) tak, aby byly znázorněny různé typy výroby, tj. výroba s vysokým podílem materiálových nákladů, ale také výroba s

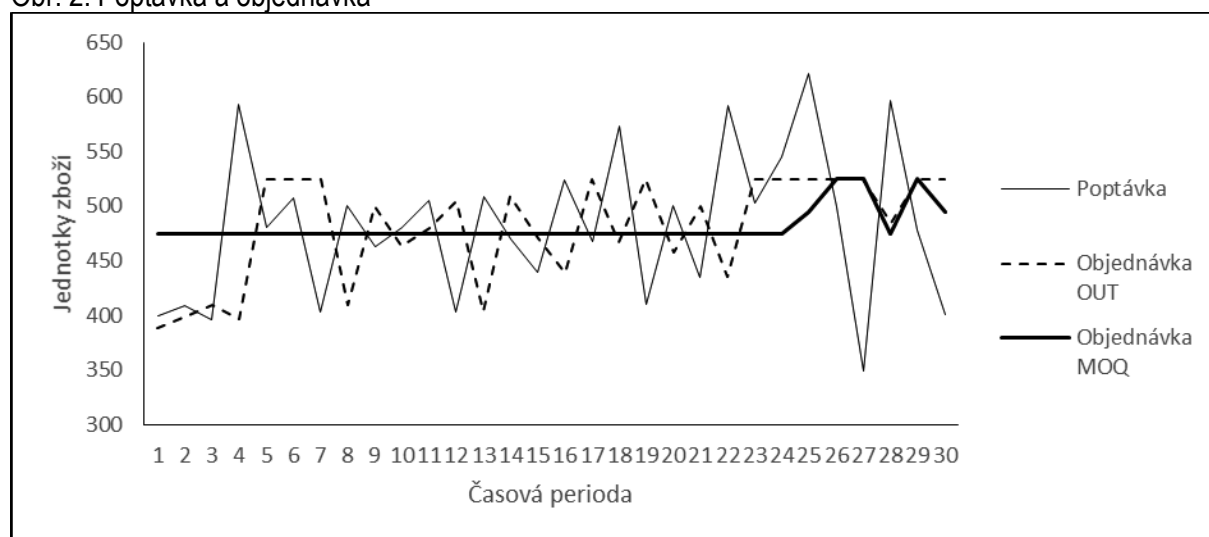
vysokým podílem fixních (fixních a personálních) nákladů.

Tyto podíly nákladových druhů jsou platné pouze za předpokladu plného využití výrobní kapacity. V takovém případě celkové náklady dodavatele dosahují 1 181 250, tj. 2 250 za jednotku. Jakmile využití kapacity klesá, jsou nižší celkové náklady, ale náklady na vyrobenou jednotku jsou vyšší, stejně tak stoupá také podíl fixních nákladů.

Úroveň zásob, do které se prodejce snaží doplnit aktuální stav svých zásob při vystavování objednávky, je stanovena na $S = 563$ jednotek a počáteční stav zásob $I_0 = 175$ jednotek.

Jak bylo zmíněno výše, porovnáváme dvě varianty modelu. V modelu OUT jsou objednávky prodejce omezeny pouze shora kapacitou výroby. V modelu MOQ mají objednávky prodejce i dolní limit v podobě minimálního objednaného množství. Minimální objednané množství je stanoveno na úrovni 5% pod výrobní kapacitou, tj. $MOQ = 475$ jednotek.

Obr. 2: Poptávka a objednávka



Zdroj: Vlastní zpracování autora

Cílem dodavatele v modelu MOQ je omezit fluktuaci ve využití své výrobní kapacity v porovnání s OUT modelem. Jak lze snadno předpokládat, při omezení objednávek nejen shora, ale i shora, výsledkem by měla být stabilnější křivka. Porovnání křivek poptávky a

příslušné objednávky z modelu OUT a také MOQ je na Obr. 2. Pokud se nechceme spoléhat pouze na grafické vyjádření, můžeme se obrátit na měřítko síly efektu biče, který používají Disney et al. (2006). Jedná se o poměr rozptylu objednávky a rozptylu poptávky:

$$Bullwhip = \frac{\sigma_R^2}{\sigma_D^2} \quad (14)$$

S jeho využitím můžeme konstatovat, že poměr efektu biče v modelu OUT dosahuje 0,376 a v

modelu MOQ tento poměr dosahuje 0,086. Oba modely tedy tlumí efekt biče, ale model MOQ ho tlumí silněji.

Stabilizace úrovně využití výrobní kapacity by intuitivně mělo vést k nižším jednotkovým nákladům dodavatele. Tab. 1 také názorně ukazuje, že tomu tak skutečně je a ve všech 11

scénářích jsou jednotkové náklady dodavatel nižší v modelu MOQ v porovnání s modelem OUT. Na 5% hladině významnosti můžeme potvrdit, že omezením objednávek prodejce zdola minimálním objednacím množstvím dojde ke snížení jednotkových nákladů dodavatele ve všech 11 scénářích.

Tab. 1: Jednotkové náklady dodavatele a řetězce

Scénář	Materiálové náklady	Fixní a personální náklady	Jednotkové náklady dodavatele OUT	Jednotkové náklady dodavatele MOQ	Statisticky významné zlepšení	Jednotkové náklady řetězce OUT	Jednotkové náklady řetězce MOQ	Statisticky významné zlepšení
1	90%	10%	2 263,2	2 262,5	ano	5 252,6	5 259,0	ne
2	80%	20%	2 276,4	2 274,9	ano	5 265,8	5 271,5	ne
3	70%	30%	2 289,6	2 287,4	ano	5 279,0	5 283,9	ne
4	60%	40%	2 302,9	2 299,8	ano	5 292,2	5 296,4	ne
5	50%	50%	2 316,1	2 312,3	ano	5 305,4	5 308,8	ne
6	40%	60%	2 329,3	2 324,8	ano	5 318,7	5 321,3	ne
7	30%	70%	2 342,5	2 337,2	ano	5 331,9	5 333,7	ne
8	20%	80%	2 355,7	2 349,7	ano	5 345,1	5 346,2	ne
9	10%	90%	2 368,9	2 362,1	ano	5 358,3	5 358,7	ne
10	5%	95%	2 375,5	2 368,4	ano	5 364,9	5 364,9	ne
11	2%	98%	2 379,5	2 372,1	ano	5 368,9	5 368,6	ne

Zdroj: Vlastní zpracování autora

Hlavním cílem tohoto příspěvku je ovšem prozkoumat vliv vyrovnávání úrovně využití výrobní kapacity na řetězec jako celek. V mnoha případech prodejce kvůli danému minimálnímu objednacím množství objednáva podstatně více, než by v tu chvíli chtěl, což zvyšuje jeho průměrný stav zásob. Prodejce na jedné straně nese vyšší náklady na držbu zásob, což navyšuje jednotkové náklady řetězce, ale na druhé straně mu tato vyšší zásoba umožňuje obsloužit více konečných zákazníků, tedy dodat větší množství zboží, čímž se zvýší celkový zisk řetězce a jednotkové náklady mají tendenci klesat. Zásadní otázka pak je, který vliv je silnější a určí konečný efekt pro jednotkové náklady celého řetězce.

V Tab. 1 vidíme také výsledky simulací jednotlivých scénářů. Ve scénářích s vysokým podílem materiálových nákladů má vyrovnávání úrovně využití výrobní kapacity negativní vliv na jednotkové náklady řetězce jako celku. Nicméně s klesajícím podílem materiálových nákladů a stoupajícím podílem fixních (včetně personálních) nákladů je tento efekt stále slabší. Ale až ve scénáři 11, v němž je drtivá většina nákladů fixních, jsou jednotkové

náklady řetězce nižší v modelu MOQ než v modelu OUT. V žádném scénáři nelze na 5% hladině významnosti potvrdit snížení jednotkových nákladů řetězce.

Můžeme tedy shrnout, že v nadefinovaném prostředí, pokud dodavatel vůči prodejci prosadí minimální objednacím množství, dojde ke stabilizaci využití jeho výrobní kapacity a ke snížení jeho jednotkových nákladů, a to ve všech zkoumaných scénářích. Vliv na jednotkové náklady celého řetězce není zdaleka tak pozitivní. Čím vyšší je podíl variabilních nákladů na nákladech dodavatele, tím negativnější je vliv vyrovnávání výroby na jednotkové náklady řetězce.

3.2 Model s přesčasovou prací

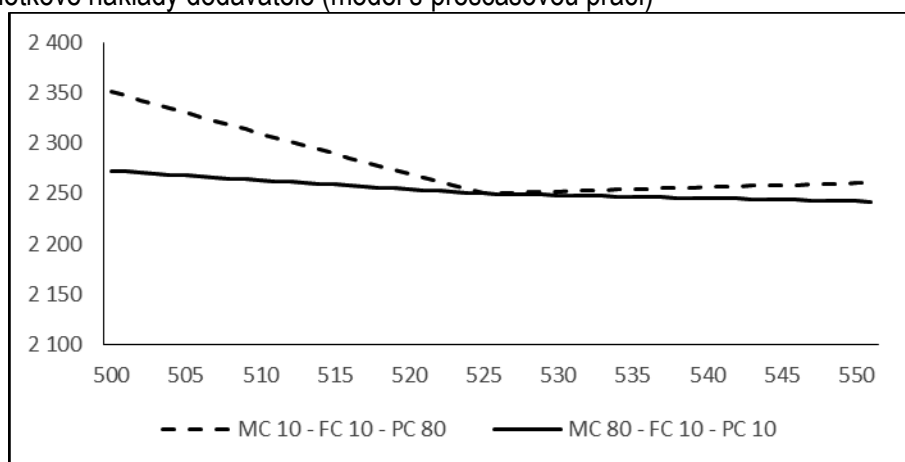
V této části pracujeme se stejně definovaným modelem jako v předchozí podkapitole s jednou výjimkou. Tou je skutečnost, že v této verzi modelu lze využít práci přesčas k rozšíření výrobní kapacity o 5 %, tj. $C_e = 551$ kusů za jednotku času. Tato hodnota je považována za horní hranici pro objednávky prodejce.

Za práci přesčas jsou zaměstnanci odměněni mzdovou sazbou navyšenou o 25 %

(přesčasová sazba: $OR = 1,25$). V tomto modelu je tedy důležité rozlišovat mezi náklady fixními a personálními. Personální náklady jsou zde totiž částečně variabilní. V rámci standardní výrobní kapacity jsou fixní stejně jako v předchozí verzi modelu, ale při práci přesčas se započítá jen tolik práce, kolik je k výrobě potřeba, ale se zvýšenou sazbou (pozor, pouze za přesčasovou práci, ne v rámci standardní pracovní doby).

$$STCO_n = P_n MC + FC + PC + OR \frac{(P_n - C)PC}{C} \quad (15)$$

Obr. 3: Jednotkové náklady dodavatele (model s přesčasovou prací)



Zdroj: Vlastní zpracování autora

Chování jednotkových nákladů dodavatele je znázorněno na Obr. 3 na příkladu dvou vybraných scénářů s různými proporcemi nákladových druhů. Z obrázku je patrné, že v závislosti na podílu nákladových druhů jednotkové náklady dodavatele mohou s rostoucím množstvím výroby klesat, ale i stoupat (pokud je podíl personálních nákladů vysoký).

Efekt vyrovnávání úrovně využití výrobní kapacity (model MOQ vs. model OUT) zkoumáme na příkladu 11 scénářů, které představují různé kombinace podílů jednotlivých nákladových druhů (viz Tab. 2).

Znovu dodavatel používá minimální objednávkové množství jako prostředek jak vyhladit objednávky prodejce a stabilizovat využití své výrobní kapacity. S využitím již zmíněného měřítka síly efektu biče můžeme konstatovat, že poměr efektu biče v modelu OUT dosahuje 0,623 a v modelu MOQ tento poměr dosahuje 0,163. Oba modely tedy tlumí efekt biče, ale model MOQ ho tlumí silněji. Výsledkem

Jinými slovy v rámci standardní výrobní kapacity $C = 525$ jednotek zboží za jednu časovou periodu dodavatel nese fixní náklady, personální náklady a materiálové náklady stejně jako v předchozí podkapitole. Když ale vyrábí zboží v rámci přesčasu, nese materiálové náklady na tyto jednotky a zvýšené personální náklady, ale už žádné další fixní náklady. Takže pro periody, ve kterých se přesčas využívá, nese dodavatel tyto náklady:

vyrovnávání je, že jednotkové náklady dodavatele jsou vždy nižší v modelu MOQ proti modelu OUT (při jakémkoliv rozložení nákladových druhů) – viz Tab. 2.

Otázka jednotkových nákladů celého řetězce je ovšem komplikovanější. Celkový výsledek ovlivňuje více parametrů a jejich hodnocení není snadné. V případě vysokého podílu materiálových (tedy čistě variabilních) nákladů, kdy jednotkové náklady dodavatele jsou téměř konstantní a s aktuální velikostí produkce se mění jen velmi málo, není pro stabilizovat úroveň využití výrobní kapacity, vedlo by to totiž spíše k negativním důsledkům pro řetězec, kdy by nárůst jednotkových nákladů na straně prodejce převýšil jen nepatrné úspory na straně dodavatele.

Nicméně, jak stoupá podíl personálních nákladů, snižuje vyrovnávání úrovně využití výrobní kapacity dodavatele jednotkové náklady řetězce stále silněji. Personální náklady se totiž až do původní kapacity výroby (tj. $C = 525$ jednotek) chovají jako fixní náklady a čím méně

je vyrobeno, tím vyšší jsou náklady přepočtené na jednotku produkce. V případě, že překročíme původní kapacitu a zajistíme práci přesčas, stanou se z personálních nákladů vlastně náklady jednotkové, ale s vyšší „sazbou“ na jednotku vyrobenou přesčas. Personální náklady přepočtené na jednotku produkce tak s rostoucí produkcí opět stoupají. Tento jev je dobře patrný na Obr. 3. Tento jev také stojí za tím, že s rostoucím podílem personálních nákladů přináší vyrovnávání úrovně výroby stále silnější pozitivní dopad do jednotkových nákladů řetězce. Statisticky

významné zlepšení zaznamenáváme v našem modelu ve scénářích s podílem personálních nákladů 30 % a vyšším – viz Tab. 2.

Můžeme shrnout, že v definovaném modelu ustanovení minimálního objednávacího množství dodavatelem vůči prodejci vede k stabilnějšímu využití výrobní kapacity dodavatele a snížení jeho jednotkových nákladů. Vliv na jednotkové náklady celého řetězce závisí na podílech jednotlivých nákladových typů, s rostoucím podílem smíšeného nákladového typu (zde reprezentovaného personálními náklady) je vliv vyrovnávání úrovně využití výroby pozitivnější.

Tab. 2: Jednotkové náklady dodavatele a řetězce (model s prací přesčas)

Scénář	Fixní náklady	Materiálové náklady	Personální náklady	Jednotkové náklady dodavatele OUT	Jednotkové náklady dodavatele MOQ	Statisticky významné zlepšení	Jednotkové náklady řetězce OUT	Jednotkové náklady řetězce MOQ	Statisticky významné zlepšení
1	10%	10%	80%	2 410,8	2 384,9	ano	5 400,1	5 383,2	ano
2	20%	10%	70%	2 405,0	2 381,5	ano	5 394,4	5 379,8	ano
3	20%	30%	50%	2 368,0	2 350,8	ano	5 357,4	5 349,1	ano
4	40%	20%	40%	2 375,0	2 359,4	ano	5 364,4	5 357,8	ano
5	30%	30%	40%	2 362,3	2 347,4	ano	5 351,6	5 345,8	ano
6	30%	40%	30%	2 343,8	2 332,1	ano	5 333,1	5 330,4	ano
7	10%	60%	30%	2 318,3	2 308,1	ano	5 307,6	5 306,4	ne
8	60%	20%	20%	2 363,5	2 352,7	ano	5 352,8	5 351,1	ne
9	10%	70%	20%	2 299,8	2 292,7	ano	5 289,1	5 291,0	ne
10	80%	10%	10%	2 370,5	2 361,4	ano	5 359,8	5 359,7	ne
11	10%	80%	10%	2 281,3	2 277,4	ano	5 270,6	5 275,7	ne

Zdroj: Vlastní zpracování autora

ZÁVĚR

V tomto příspěvku zkoumáme a hodnotíme vliv stabilizace využití výrobní kapacity na jednotkové náklady celého řetězce v decentralizovaném dvouúrovňovém řetězci sestávajícím z jednoho prodejce držícího zásoby hotových výrobků, čelícího stochastické poptávce konečných zákazníků a z jednoho výrobce s omezenou výrobní kapacitou vyrábějícího dle objednávky prodejce. Chybějící zboží k uspokojení poptávky zákazníků je možno doobjednat při další objednávce. Přínos tohoto příspěvku k již existujícímu výzkumu spočívá v tom, že uvažuje v tomto kontextu neprozkoumaný typ výroby z prostředí B2B, tj. nepřetržitou, kontinuální výrobu (neuvažují se jednotlivé výrobní dávky ani příprava výrobní linky), která navíc operuje v blízkosti své kapacity. Využití této výrobní kapacity má

významný vliv na jednotkové náklady produkce. Proto se zkoumá vliv stabilizace využití kapacity na materiálové, personální a fixní náklady výrobce.

Prodejce objednává dle objednávací strategie doplňování zásob do předem stanovené výše (OUT model), přičemž jsou objednávky shora omezeny předem vzájemně dohodnutou výrobní kapacitou. Vyrovnávání úrovně využití výrobní kapacity v druhém modelu (MOQ) je dosaženo omezením objednávek prodejce také zdola minimálním objednávacím množstvím.

Efekty stabilizace výroby jsou sledovány ve dvou modifikacích modelu. V prvním lze vyrábět pouze do výše výrobní kapacity. Ve druhém je pak k jistému navýšení této kapacity využívána přesčasová práce. Vše je vždy pozorováno ve vícero scénářích, které simulují různé typy výroby, co se týče podílu jednotlivých nákladových typů.

V obou modifikacích modelu stabilizace využití výrobní kapacity přináší snížení jednotkových nákladů na straně dodavatele. Efekt na jednotkové náklady řetězce není jednoznačný. Doplňujeme tak zjištění Chana a Muckstadta (1999), závisí totiž na poměru jednotlivých nákladových typů. V modelu bez využití přesčasů ovšem nemůžeme potvrdit snížení jednotkových nákladů řetězce. U modelu s využitím přesčasů je situace o něco komplikovanější, můžeme zde sledovat, že čím vyšší je podíl personálních nákladů, tím pozitivnější je efekt stabilizace výroby pro jednotkové náklady řetězce, a naopak čím je vyšší podíl materiálových nákladů, tím je efekt stabilizace výroby pro jednotkové náklady řetězce méně výhodný.

ZDROJE

- Aviv, Y., & Federgruen, A. (1997). Stochastic inventory models with limited production capacity and periodically varying parameters. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 11, 107-135.
- Banerjee, A. (1986). A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor. *Decision Sciences*, 17 (3), 292-311. ISSN 0011-7315.
- Boute, R. N., Lambrecht, M. R., & Van Houdt, B. (2007). Performance Evaluation of a Production/Inventory System with Periodic Review and Endogenous Lead Times. *Naval Research Logistics*. 54 (4), 462-473.
- Cachon, G. (1999). *Competitive and cooperative inventory management in a two-echelon supply chain with lost sales*. Fuqua School of Business, Duke University, Durham, NC. Working paper.
- Chan, E. W., & Muckstadt, J. A. (1999). *The Effects of load smoothing on inventory levels in a capacitated production and inventory system*. School of Operations Research and Industrial Engineering (No. 1251). Technical Report.
- Chen, F., & Zheng, Y. S. (1994). Lower bounds for multi-echelon stochastic inventory systems. *Management Science*, 40(11), 1426-1443.
- Clark, A. J., & Scarf, H. (1960). Optimal policies for a multi-echelon inventory problem. *Management science*, 6(4), 475-490.
- Disney, S. M., Farasyn, I., Lambrecht, M., Towill, D., & Van de Velde, W. (2006). Dampening variability by using smoothing replenishment rules. Available at SSRN 873588.
- Federgruen, A., & Zipkin, P. (1984). Computational issues in an infinite horizon multiechelon inventory model. *Operations Research*. 32(4) 818-836.
- Federgruen, A., & Zipkin, P. (1986a). An inventory model with limited production capacity and uncertain demands I. The average-cost criterion. *Mathematics of Operations Research*, 11(2), 193-207.
- Federgruen, A., & Zipkin, P. (1986b). An inventory model with limited production capacity and uncertain demands II. The discounted-cost criterion. *Mathematics of Operations Research*, 11(2), 208-215.
- Glasserman, P., & Tayur, S. (1994). The stability of a capacitated, multi-echelon production-inventory system under a base-stock policy. *Operations Research*. 42(5) 913-925.
- Glasserman, P., & Tayur, S. (1995). Sensitivity analysis for base-stock levels in multiechelon production-inventory systems. *Management Science*. 41(2) 263-281.
- Glock, C. H. (2012). The joint economic lot size problem: A review. *International Journal of Production Economics*, 135, 671-686. ISSN 0925-5273.
- Goyal, S. K. (1977). An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem. *The International Journal of Production Research*, 15 (1), 107-111. ISSN 1366-588X.
- Harris, F. W. (1913). How many parts to make at once. *Factory, The Magazine of Management*, 1913, vol 10, iss. 2, pp. 135-136.
- Johnson, L. A., & Montgomery, D. C. (1974). *Operations research in production planning, scheduling, and inventory control* (Vol. 6). New York: Wiley.
- Kapuscinski, R., & Tayur, S. (1998). A capacitated production-inventory model with periodic demand. *Operations Research*, 46(6), 899-911.
- Karlin, S., & Scarf, H. (1958). Inventory models of the Arrow-Harris-Marschak type with

time lag. *Studies in the mathematical theory of inventory and production*, 1, 155.

Kijima, M., & Takimoto, T. (1999). A (T, S) inventory/production system with limited production capacity and uncertain demands. *Operations research letters*, 25(2), 67-79.

Levi, R., Roundy, R. O., Shmoys, D. B., & Truong, V. A. (2008). Approximation algorithms for capacitated stochastic inventory control models. *Operations Research*, 56(5), 1184-1199.

Modigliani, F., & Hohn, F. E. (1955). Production planning over time and the nature of the expectation and planning horizon. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 46-66.

Spengler, J. (1950). Vertical integration and antitrust policy. *Journal of Political Economy*, 58, 347-352.

Tayur, S. R. (1993). Computing the Optimal Policy for Capacitated Inventory Models. *Communication in Statistics, Stochastic Models*, 9(4), 585-598.

Wagner, H. M., & Whitin, T. M. (1958). Dynamic version of the economic lot size model. *Management science*, 5(1), 89-96.

Wilson, R. H. (1934). A scientific routine for stock control. *Harvard business review*, 13(1), 116-128.