

# Modelování hodnotového toku MHTOK, 1. Úvod do problematiky

David Kruml

26. 9. 2024

## Cíle a motivace

- ▶ Řešení projektů MPO a TAČR ve spolupráci s dataPartner (České Budějovice) a DTO (Ostrava). Tým MU vede J. Paseka.
- ▶ Vytvoření matematického modelu hodnotového toku pro simulaci a plánování průmyslové výroby.
- ▶ Už si věříme i na výuku, ovšem zejména ekonomická témata berte s rezervou.
- ▶ Podpora nového předmětu v rámci projektu MŠMT Zelené dovednosti.
- ▶ Pilotní běh, příští rok definitivní podoba (možná jiný název a kód, Teorie plýtvání?).
- ▶ Rádi bychom přilákali i studenty mimo ÚMS.
- ▶ Získání zpětné vazby pro případné změny ve strukturaci předmětu, podněty pro rozšíření.

# Osnova

1. Procesy a zdroje — příklady, definice, strukturace.
2. Zásobníky a stavy — příklady, definice, strukturace.
3. Ekonomika výroby — sériová výroba, štíhlá výroba, vytíženost zařízení, ziskovost, zdroje plýtvání, ekologická měřítka.
4. Výrobní plán — Ganttův diagram, moderní plánovací systémy, sběr dat.
5. Modely toku — grafy, mapování, Petriho sítě, stromové a kategoriální struktury, víceúrovňová abstrakce, datový jazyk.
6. Validace toku na zásobnících — iterace lineárními aproximacemi.
7. Číselné hodnocení toku — vícekritériální rozhodování, pojem defektu a jeho výpočet.
8. Optimalizace toku — heuristické metody, metody AI.
9. Pravděpodobnostní pojetí toku — zjednodušená parametrizace náhodných veličin a její kalkulus, lineární aproximace.

# Zdroje

- ▶ Diskuze s řešiteli projektů — zejména I. Formánek, A. Vápeníček, V. Volko.
- ▶ Internet.
- ▶ Napsali jsme 5 článků.
- ▶ BP a DP našich studentů (česky, víc příkladů).
- ▶ Stevenson W. J., Operations Management (13th ed.), McGraw-Hill Education, 2018.
- ▶ Hopp W. J., Spearman M. L., Factory Physics: Third Edition, Waveland Press, 2011.

# Povinnosti, hodnocení, doporučení

- ▶ Předmět je ukončen kolokviem = rozpravou.
- ▶ Součástí kolokvia je obhajoba vlastního projektu (v rozsahu cca 5 stran A4 nebo 10 slidů), kterým se rozumí
  - ▶ rozpracování jakéhokoli „příkladu ze života“ metodami hodnotového toku,
  - ▶ vytvoření několika příkladů do sbírky včetně vzorového řešení,
  - ▶ naprogramování nebo rozvinutí některého algoritmu, atp.
- ▶ Lze se domluvit na vyposání tématu bakalářské nebo diplomové práce.
- ▶ Představení (obhajoba) projektů proběhne ideálně ve vyučování v závěru semestru (po probrání nezbytné látky), v horším případě ve zkuškovém období (včetně „oprav“).
- ▶ Rozmýšlejte si průběžně vhodné téma.
- ▶ Požadavky na znalosti: osvojení pojmů a metod, zjistí se rozpravou.

# Proces

**Cvičení:** Co si představíte pod pojmem *proces*?

# Příklady procesů

- ▶ Průmysl — obrábění, lakování, montáž, ...
- ▶ Logistika — transport z bodu  $A$  do bodu  $B$ .
- ▶ Ekonomika — nákup, prodej, půjčka, ...
- ▶ Administrativa — rozhodování, schvalování, ...
- ▶ Příroda — růst, predace, rozmnožování, rozklad, spánek, procesy v neživé přírodě, ...
- ▶ Informatika — příkaz, program, procedura.
- ▶ Vzdělávací proces.
- ▶ Soudní proces.

## Společné vlastnosti procesů / pokus o definici

- ▶ Proces *transformuje vstupy na výstupy*, zpravidla bývá cílem nějaké „zušlechtování“.
- ▶ Proces je obvykle chápán obecněji než jako jednorázový. Lze jej opakovat nebo provést s podobnými vstupy a očekávat podobné výstupy.
- ▶ Předpokládáme ustálené a parametrizovatelné chování procesu, zejména jeho *časovou náročnost*.
- ▶ Proces často nahodilý a k parametrizaci uvažujeme náhodné veličiny.
- ▶ Černá skříňka, do níž dodáme vstupy a po určité době dostaneme výstupy. (Viz medvídek Pú a hra na medvědí proutky.)



# Vstupy a výstupy procesů

**Cvičení:** Rozmyslete si vstupy a výstupy:

- ▶ Vaření.
- ▶ MHD.
- ▶ Dnešní výuka.
- ▶ Nákup v obchodě.

Které vstupy jsou procesem zušlechťovány a které spíš naopak?

# Zdroje

- ▶ Vstupy a výstupy jsou relativní (ke konkrétnímu procesu). Obecně hovoříme raději o *zdrojích*.
- ▶ Procesu se obvykle účastní více zdrojů: materiál, stroje, dělníci, atp.
- ▶ Dále můžeme zahrnout informace (řídící signál, měření), energie, finance, atd. (Nákup/prodej = procesy přeměňující peníze na věci a obráceně.)
- ▶ V našem chápání tak zdroje odpovídají i *meziproduktům* výroby, *stavům* zařízení (např. nastaveným strojům), atp.
- ▶ Rozlišování stavů umožňuje modelovat údržbu strojů, dodržování pracovních přestávek pro zaměstnance, atd.
- ▶ Přípravenost zdrojů budeme řešit pomocí zásobníků.

# Souslednost procesů, receptura

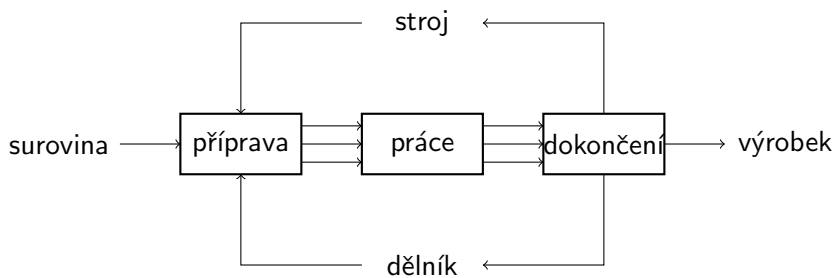
**Cvičení:** Rozepište podrobně fáze vaření čaje (včetně přípravných úkonů) a uveďte, které zdroje se jich účastní.

- ▶ *Recepturou* rozumíme schéma respektující příčinnou (kauzální) vazbu navazujících procesů. (Ve výrobě bývá závazná.)
- ▶ Vazbu můžeme formalizovat jako binární relaci či orientovaný graf.
- ▶ Prvky relace odpovídají zdrojům.
- ▶ Dualita grafů — můžeme si vybrat, zda procesy budou vrcholy a zdroje hrany, nebo naopak.

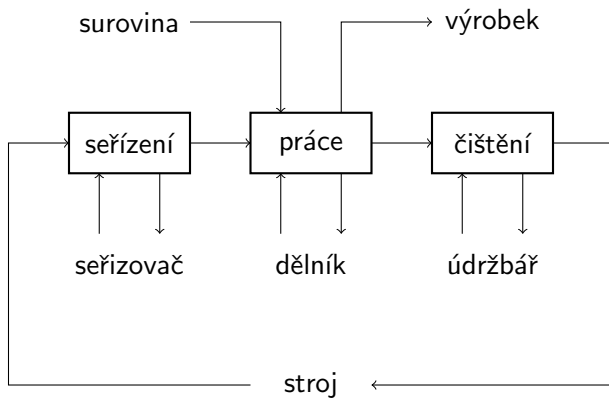
# Rozpad na podprocesy

- ▶ Členění procesu na podprocesy zpravidla bývá postupné a vytváří *rozpadovou strukturu* (process breakdown structure = PBS).
- ▶ Kořenem je celá receptura, případně sjednocení více receptur (když se současně vyrábí různé věci).
- ▶ Listové podprocesy se často označují jako *operace*.
- ▶ Operace ale nemusí být „doopravdy elementární“ — jsou elementární jen v rámci zvoleného přiblížení.
- ▶ Pojem operace je diskutabilní — obecný pojem procesu neomezuje možnost dalšího rozkladu.

# Typická schémata procesů I



## Typická schémata procesů II





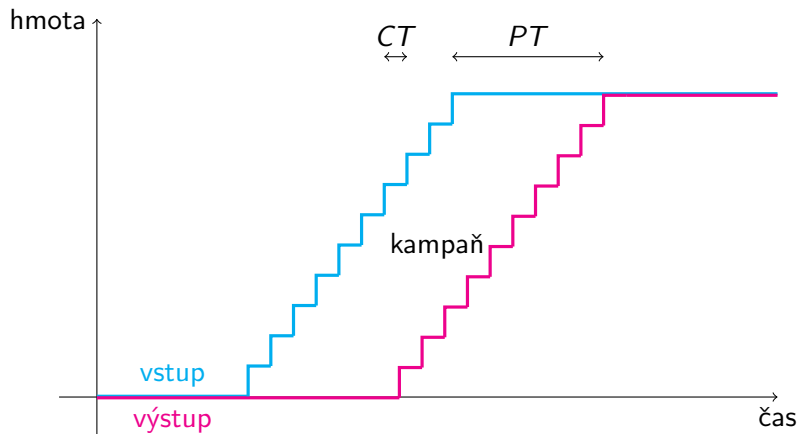
## Opakované (iterované) procesy

- ▶ U sériové výroby je běžné opakování procesu na stejném stroji.
- ▶ Opakování procesu na stejném výrobku je méně typické (ruční hoblování, damascenská ocel, lístkové těsto, ...).
- ▶ Proces sériové výroby obvykle probíhá s předem daným počtem opakování, hovoříme o sérii, šarži, kampani, atd. (Analogie cyklu FOR v programování.)
- ▶ Předpokládáme, že všechny iterace procesu lze jednotně parametrizovat. Rozlišujeme zejména:
  - ▶ Procesní čas (process time) — čas strávený výrobkem v procesu (tj. mezi jeho vstupem do a výstupem z), značíme  $PT$ .
  - ▶ Čas cyklu (cycle time) — čas mezi vstupy dvou po sobě jdoucích výrobků (nebo výstupy), značíme  $CT$ .
  - ▶ V ideální výrobě jsou  $PT$  i  $CT$  konstantní, v reálné mohou kolísat (náhodné veličiny).

**Cvičení:** Uveďte příklady iterovaných procesů, kde a)  $PT = CT$ , b)  $PT > CT$ , c)  $PT < CT$ .



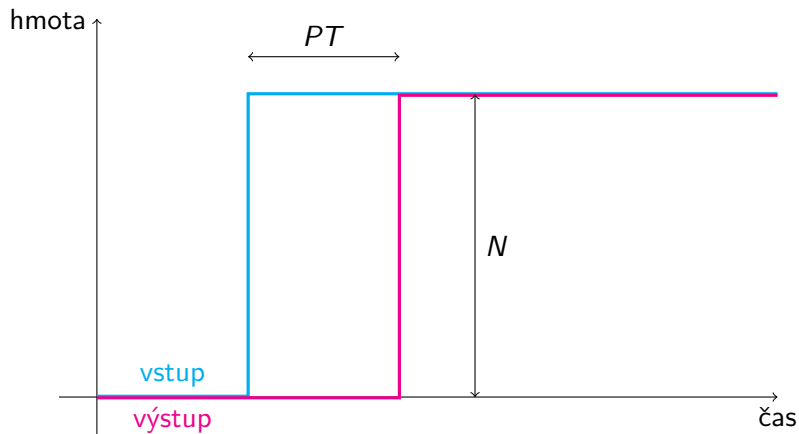
# Časohmotový diagram pro (ideální) iterovaný proces



# Dávkové zpracování

- ▶ Některé procesy probíhají hromadně pro větší počet výrobků, mluvíme o *dávkovém zpracování* — např. lakování, vaření švestkových knedlíků, atd.
- ▶ Všechny výrobky zpracované ve stejné dávce mají společný *PT*.
- ▶ Nezaměňujme dávkové a sériové zpracování! (Dávkové zpracování je v jistém smyslu paralelní.)
- ▶ Lze si ovšem představit i kombinaci obojího.

# Časohmotový diagram pro (ideální) dávkový proces



## Přenastavení, prodleva

- ▶ Změna režimu stroje si může vyžádat čas, který nazýváme *časem přenastavení* (changeover time) a značíme  $C/O$ .
- ▶  $C/O$  může zahrnovat např. seřízení, vyčištění, v obecnějším pojetí transport stroje, atp.
- ▶ Přenastavení může mít různou časovou náročnost,  $C/O$  tedy závisí na charakteru přechodu mezi procesy — např. výměna jednoho nástroje v obráběcím stroji vs. výměna více nástrojů, podobné barvy vs. velmi rozdílné barvy, atd. I pro jediný stroj tak  $C/O$  odpovídá spíš matici.
- ▶ Když se s některým zdrojem neděje nic, hovoříme o *prodlevě* (idle time). Čas strávený v prodlevě značíme  $IT$ .
- ▶ Pokud je stroj toliko přenastaven a nedojde k prodlevě, odpovídá  $C/O$  rozdílu časů mezi vypuzením posledního výrobku jedné kampaně a přijetím prvního výrobku další kampaně. (Ještě za předpokladu, že stroj nelze přenastavit za chodu.)

## Cvičení na časy

**Cvičení:** Které z časů *PT*, *CT*, *C/O*, *IT* lze naměřit na cestě  
a) výrobku, b) stroje, c) pracovníka?

**Cvičení:** Co jsou zdroje ve školní výuce?

Čemu tyto zdroje odpovídají ve výrobě?

Je výuka z nějakého pohledu sériová nebo dávková?

Pokuste se interpretovat *PT*, *CT*, *C/O*, *IT*.

## Vedoucí čas

- ▶ Pro výrobu je často klíčový *celkový výrobní čas* (lead time), značíme  $LT$ .
- ▶  $LT$  odpovídá součtu všech procesních časů a prodlev na cestě výrobku (případně i odpovídajících  $CT$  v případě měření času výroby celé kampaně).
- ▶ Dostáváme legrační vzoreček:

$$LT = \sum_i PT_i + \sum_j IT_j.$$

O  $IT_j$  mnoho nevíme, netýkají se procesů, závisí na šikovnosti plánovače.

## Spojité a obecnější procesy

- ▶ *Spojité proces* — nezpracovávají se kusy ani dávky, materiál proudí spojitě (tekutiny, sypké hmoty, ...). Časohmotový diagram je grafem spojitě rostoucí funkce (typicky lineární).
- ▶ *Spojité proces* lze aproximovat diskrétním (např. rozbitím časové osy na určité jednotky — myšlenka Riemannova integrálu a odpovídajících numerických metod). Nebo obráceně.
- ▶ *Montáž* — více materiálových vstupů, jeden výstup.
- ▶ *Demontáž* — jeden materiálový vstup, více výstupů.
- ▶ U obecnějších typů procesu se členění časů (na  $PT$ ,  $CT$ , ...) nemusí podařit, ale může pomoci rozčlenění na vhodné podprocesy. Optimální je rozdělit proces na úseky podle sdílení zdrojů (viz seřizování stroje).

**Cvičení:** Najděte příklad receptury s montáží i demontáží.

**Cvičení:** Najděte příklad receptury s diskrétními i spojitými procesy.

# Relativizace časových parametrů

- ▶ Jestliže zdroje (materiál, stroje, lidé, ...) „zrovnoprávníme“, nemá moc cenu trvat na typologii časů.
- ▶ Význam má pouze rozlišení „pracovních“ (*PT*) a „čekacích“ *IT* časů.
- ▶ Např. pokud na stroj nahlédneme jako na materiál, bude *C/O* procesním časem procesu přenastavení.
- ▶ Další zastávkou „cesty stroje“ může být *údržba*, tu můžeme také definovat jako proces.
- ▶ Závěr: Síť určenou zvolenými recepturami, plánem a „vedlejšími cestami“ dalších zdrojů lze popsat jako schéma procesů. Chování (diskrétního) procesu je popsáno procesním časem, velikostí dávky a počtem cyklů. (Ještě časem upřesníme.)



## Další speciální zdroje a procesy

- ▶ Výstupem výroby může být třídění podle jakosti, např. nejlepší, průměrná, zmetek. To je také typ procesu s jedním vstupem a více výstupy.
- ▶ Třídící proces je nahodilý. (Není předem jasné, jak se výroba povedla.)
- ▶ Zmetky tvoří nežádoucí zdroj.
- ▶ Výrobní odpad je také často nežádoucí. V lepším případě jej recyklujeme přímo ve výrobě nebo prodáváme do sběru.
- ▶ Výrobní schéma lze rozšířit o další externí zdroje a procesy a studovat na nich vedlejší projevy výroby.
- ▶ Stejným způsobem jako na výrobní nedostatky můžeme pohlížet na enviromentální škody a pokusíme se je analogicky měřit.
- ▶ Výroba je obvykle součástí celého dodavatelského řetězce, což je pořád (komplexní) výroba. Měřítko modelování není podstatné, řešíme dílčí i složené procesy.

# Zásobník

**Cvičení:** Pokuste se (vymezením proti procesu) o definici zásobníku.

K čemu jsou zásobníky dobré?

Jaké mají parametry?

# Pokus o definici zásobníku

- ▶ Zásobník má také vstupy a výstupy.
- ▶ V (ideálním) zásobníku nedochází k přeměně zdrojů.
- ▶ Zásobníkem lze vyjádřit sklad materiálního zdroje, stav zařízení nebo třeba logickou podmínku. Může tak být zcela virtuální.
- ▶ Množství zdroje v zásobníku může být shora i zdola ohraničeno (kapacita = max. zásoba, min. zásoba).
- ▶ Při sledování zásobníku v určitém časovém intervalu je podstatná jeho *počáteční zásoba*.
- ▶ Množství zdroje se mění v čase.

# Typy zásobníků podle určení

- ▶ Strategické zásoby — vstupní materiál, hotové výrobky, rozpracovanost.
- ▶ Vyrovnávací buffery:
  - ▶ různé dávky,
  - ▶ více vstupních/výstupních procesů,
  - ▶ nahodilost procesních časů.
- ▶ Nežádoucí — objevují se v plánu spontánně, když neumíme vyřešit plynulost.
- ▶ Stavové.
- ▶ Logické — většinou umělé pro indikaci a řízení. Obsahem je booleovský příznak.

## Výrobní síť

- ▶ *Výrobní síť* míníme sjednocení zvolených receptur (s ohledem na možné překryvy), případně rozšířenou o cesty zařízení, pracovníků aj. vstupů.
- ▶ Lze předpokládat, že se v síti střídají (alternují) procesy a zásobníky.
- ▶ V nejhorším lze síť docpat triviálními procesy a zásobníky.
- ▶ Příklad s elektrickým obvodem — procesy = rezistory/spotřebiče, zásobníky = kondenzátory/cívky.
- ▶ Náš „proud“ je spíš stejnosměrný, ale iterované procesy vytváří periodicitu příznačnou pro střídavý proud.
- ▶ Analogie Kirchhoffova zákona: v kanálech (vodičích) se nic nehromadí, v delším časovém měřítku ani jinde (zboží prodáme, peníze investujeme nebo utratíme, ...).

**Cvičení:** Jakým procesem nahradíte dva po sobě jdoucí procesy?

A jakým zásobníkem dva po sobě jdoucí zásobníky?

## Agregace zásobníků

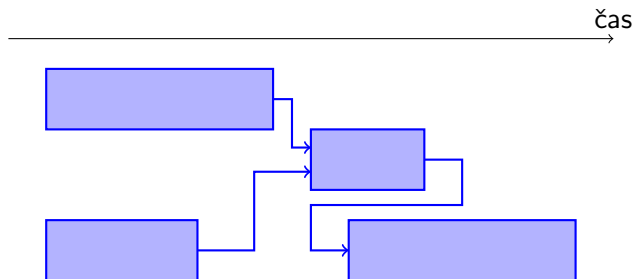
- ▶ Podobně jako procesy lze i zásobníky organizovat do rozpadových struktur - working breakdown structure (WBS), kusovníky.
- ▶ Nejpřirozenější je sdružování zásobníků podle zaměnitelného materiálu (nebo stavu), což už vlastně činíme.
- ▶ Opačný postup provedený do extrému by vedl k rozčlenění sítě až na individuální výrobky a jejich receptury a rozlišování stavů strojů po každé činnosti (usměrněný graf, bez cyklů).
- ▶ Tak podrobné členění určitě není účelné, ale je dobré vědět, že síť je ve skutečnosti již *faktorizací* nějaké primitivní sítě. (Usměrněný diagram v kategorii, viz později.)
- ▶ V agregaci lze pokračovat i nad rámec stejného a sdružovat zásobníky podle podobnosti nebo sdílené kapacity (fyzické umístění skladu).
- ▶ *Supermarket* — vícezdrojový zásobník, hlídáme minima zásob všech složek a maximum sdílené kapacity (snad ve smyslu lineárního/celočíselného programování).

# Plán

- ▶ *Plánem* rozumíme výrobní síť spolu s volbou velikostí dávek/kampaní a *časovým rozvrhem* činností.
- ▶ Realizovanému plánu nebo jeho části budeme říkat *tok*. (Příliš rigidní v rozlišování plán/tok nebudeme.)
- ▶ Spojnice objektů (šipky) nazýváme *kanály*. V technické praxi se někdy hovoří o *kontrolních bodech* toku.
- ▶ Za předpokladu alternace spojuje každý kanál právě jeden proces a právě jeden zásobník (v některém pořadí ze dvou možných).
- ▶ Funkci popisující průtok zdroje kanálem v čase nazýváme *signálem*.
- ▶ Pokud se nevyskytnou problémy, signál je vytvářen procesem příslušného kanálu.
- ▶ Proces je člen *aktivní*, zásobník *pasivní*.

**Cvičení:** Jak poznáme *dobry* plán?

# Ganttův diagram



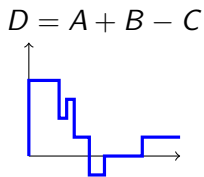
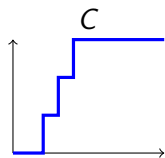
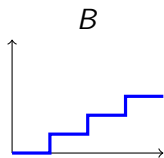
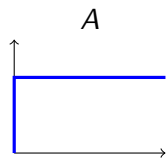
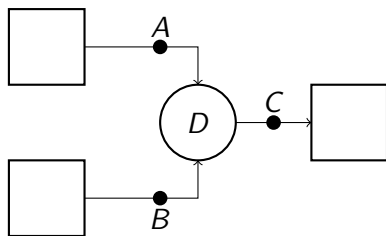
- ▶ Patentován v 19. století, přinesl pokrok.
- ▶ Řádky obvykle odpovídají pracovištím (strojům), šipky jen cestám materiálu.
- ▶ Časově (a zdrojově) zaplánované procesy můžeme nazvat *úkony* (činnosti, joby).
- ▶ Překryv navazujících úkonů — *kaskádové plánování*.



# Validace zásobníku

- ▶ Zásobník prohlásíme za *validní* (ve zvoleném časovém intervalu), pokud se jeho zásoby vyvíjejí ve povoleném rozmezí.
- ▶ V obecnějším pojetí bychom mohli uvažovat i změnu mezí v čase. Pak požadujeme, aby se křivka vývoje v časohmotovém diagramu nacházela v určité oblasti.
- ▶ Křivku počítáme jako rozdíl součtu vstupních a součtu výstupních signálů (a také ji lze považovat za signál).
- ▶ Zjednodušení validace lineárními aproximacemi — využití opakovaných procesů.
- ▶ Trik s počáteční zásobou (pro programování) — zásobník lze na začátku naplnit jednorázovou dávkou z pomocného procesu.

# Signál na zásobníku — ilustrace



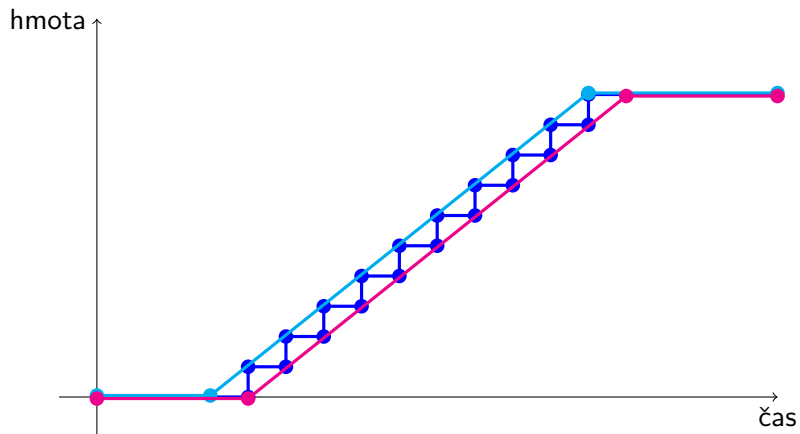
# Validace plánu

- ▶ Procesy necháme pracovat, jak jsou rozvrženy v plánu.
- ▶ Validitu kontrolujeme na zásobnících.
- ▶ Pokud jsou všechny zásobníky validní, prohlásíme celý plán za validní.
- ▶ „Závada“ zásobníku indikuje *kolizi procesů* na zásobách zdroje, která se ve skutečnosti projeví na některém z procesů.
- ▶ Hovoříme o *hladovění* (vyčerpání/podtečení vstupního zásobníku), resp. *blokování* (přetečení kapacity výstupního zásobníku).
- ▶ Oproti skutečnosti vznikají „paradoxy“: Zásobník přetéká přes kapacitu nebo podtéká pod nulu, což se v reálu nemůže stát.
- ▶ Zadáním ovšem je pouze zjištění, zda daný plán je validní. Na otázku postup odpovídá a dokonce lokalizuje kolizi zásobníkem a časem.

# Událost

- ▶ *Událostí* v toku/plánu se obvykle míní změna hodnoty některé signální funkce.
- ▶ V obecnějším pojetí budeme událostí rozumět bod zlomu na grafu signální funkce, nebo ještě obecněji, jakýkoli bod na grafu signální funkce.
- ▶ Cílem rozšíření definice události je zjednodušení popisu (a následné implementace) signálu jako lomené čáry propojující posloupnost událostí — želví grafika.
- ▶ Lineární aproximaci pravidelně schodovité funkce lze pak snadno získat vypuštěním vnitřních událostí — ponecháváme jen začátek a konec kampaně (s případným posunutím o  $CT$ ).
- ▶ Kolizi tak můžeme přesněji definovat jako událost nacházející se mimo předem určenou podmnožinu *přípustých událostí*.

# Události opakovaného procesu



# Technologický pohled

- ▶ Události nemusíme organizovat podle zásobníků, ale i podle průchodu konkrétního kusu zdroje výrobou.
- ▶ Průchod recepturou chápáme jako pohyb podél další osy (vedle času a hmoty) a nazveme *prostorem*.
- ▶ Vzniklý diagram událostí nazýváme *časoprostorový*.
- ▶ Pojem události tedy můžeme zpřesnit jako trojici  $[t, n, l]$ , kde
  - ▶  $t$  je čas,
  - ▶  $n$  je hmota (proteklé množství zdroje),
  - ▶  $l$  je prostor (pozice ve výrobní síti).
- ▶ Nabízí se možnost vytvářet třetí typ diagramu, a sice *hmotoprostorový*. Jedná se v podstatě o *snímek* toku v určitém časovém okamžiku, z něž lze vyčíst momentální zásoby.
- ▶ Každopádně tok si lze představit jako plochu v třírozměrném časohmotoprostoru, jejímiž řezy podél souřadných rovin jsou právě diskutované tři typy diagramů.

# Příklady pohledů/průchodů

- ▶ Průchod  $n$ -tého výrobku sítí:

$$[t_1, n, 1], [t_2, n, 2], \dots, [t_L, n, L],$$

kde  $t_i$  vznikají součtem dílčích  $PT$  a  $IT$ ,  $t_L$  je tedy  $LT$ .

- ▶ Činnost stroje:

$$[t_1, 1, l], [t_2, 2, l], \dots, [t_N, N, l]$$

.

- ▶ Zrovnoprávněním zdrojů lze na hmotu a prostor nahlížet jako na dvě složky téže entity, čas je ale pořád něco jiného a odděleného.

# Kapacitní plánování

- ▶ Cílem kapacitního plánování je vytvořit validní plán (prozatím) se zohledněním parametrů procesů a zásobníků.
- ▶ Uvažujme dvě extrémní strategie plánování:
  - ▶ Máme spoustu strojů/dělníků a minimální zásoby. Jakmile získáme zakázku, můžeme ji vyrobit velmi rychle, protože máme volné výrobní kapacity. Výroba samotná není příliš efektivní, spousta zařízení stojí a čeká, až přijde na řadu.
  - ▶ Máme málo strojů/dělníků, ale robustní zásoby surovin, rozpracovaných výrobků i hotových výrobků. Vyrábíme ve velkých kampaních, s malým počtem přenastavení, tedy efektivně, ale velmi pomalu (velký  $LT$ ). Kapacity zařízení jsou dobře využity (malé  $IT$ ), výrobky dlouho čekají. Výroba na sklad.
- ▶ Kolegové nazývají tyto typy plánu jako *flexibilní* a *efektivní*.
- ▶ V praxi obvykle hledáme rozumný kompromis.

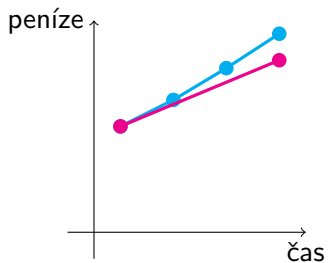
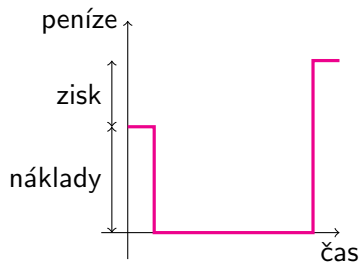
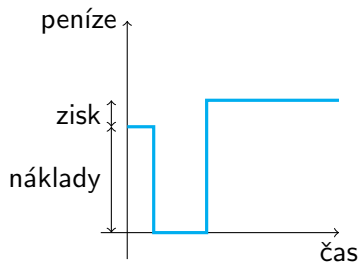


# Odhad ekonomické návratnosti

- ▶ Žádný extrém není dobrý, dochází k *utopeným nákladům* = kapitál dlouhodobě blokován v zařízeních nebo materiálu.
- ▶ Skladové i výrobní prostory samy o sobě něco stojí. I kdyby byly naše, můžeme zvážit jejich jiné využití, pronájem nebo prodej.
- ▶ Dobrý továrník řeší *ziskovost* i *rychlost návratnosti* investice. („Otáčení peněz“.)
- ▶ Další položkou je samozřejmě *riziko* (necháváme na později).

**Cvičení:** Je lepší za rok vydělat 10% nebo za tři roky 25%?

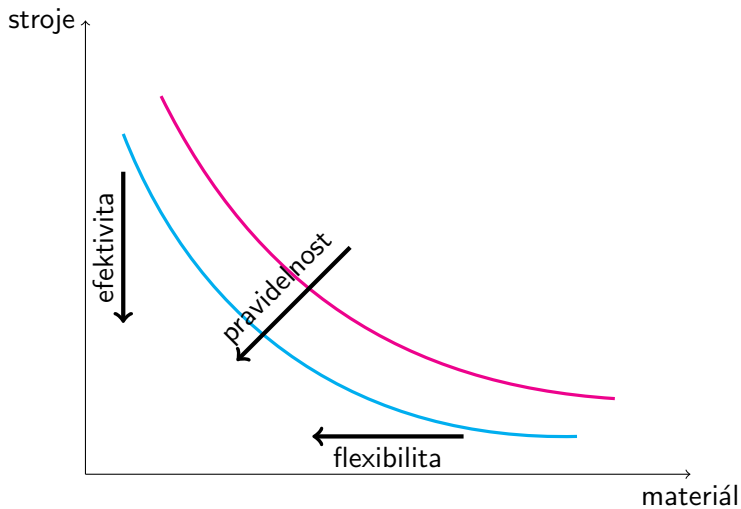
# Odpověď na cvičení



# Plánovací strategie

- ▶ Obecně platí, že je dobré:
  - ▶ snažit se zkrátit *LT* a zásoby (tlak na flexibilitu) — strategie *just in time* (JIT),
  - ▶ hledat optimální využití strojů (tlak na efektivitu),
  - ▶ snažit se výrobu učinit co nejvíc pravidelnou — snižuje se potřeba vyrovnávat tok zásobníky = *štíhlá výroba*.
- ▶ Využití stroje se obvykle počítá jako *overall equipment effectiveness* (OEE) — podíl času aktivního využití k celkovému (= aktivní + jalový).
- ▶ *Úzké hrdlo* sítě — klíčový proces na vysoce využitém zařízení s velkou frontou zdrojů, důsledkem je celkové zpomalení výroby.
- ▶ Další strategií tedy je snažit se identifikovat úzká hrdla a pokusit se je lépe vyřešit (nákup dalšího stroje, outsourcing).
- ▶ Opatrně s redukcí zásob — přiměřené zásoby jsou nutné.
- ▶ Nákup surovin může být i spekulativní investicí (čipy v době krize), ale to je jiný sport.

# Zvyšování ziskovosti



# Příklad na pravidelnost

**Cvičení:** Popište historický vývoj knihtisku.

Rozeberte procesy jednotlivých metod a jejich režimy z hlediska pravidelnosti (dávky, kampaně).

# Typy výrob z hlediska pravidelnosti

- ▶ Kusová výroba — každý kus originál, umění, žádná pravidelnost, simulace hrubou silou, nic nevymýšlet.
- ▶ Sériová výroba — pravidelnost na úrovni procesů, kampaně nebo dávky, mezi procesy mohou být nepravidelnosti, simulace může využít opakování, prostor pro chytré metody.
- ▶ Linková výroba — pravidelnost všude, žádné čekání, není moc co řešit,  $LT$  je součtem  $PT$ .
- ▶ „Kustomizovaná“ výroba — kombinace základních typů, často způsobená začleněním speciálních požadavků zákazníka (např. výbava auta).

## Víceúrovňová pravidelnost

- ▶ Snaha o redukci zásob materiálu (suroviny, rozpracované výrobky, hotové zboží) nutně vede ke zmenšování kampaní.
- ▶ Důsledkem je zvýšení časů přenastavení a tedy snížení OEE, ale pořád se to vyplácí.
- ▶ Citlivě stanovené velikosti kampaní mohou vést ke „stabilnímu rozvrhu“ pro menší časové jednotky (den, týden) a vnést tak do plánu *pravidelnost vyšší úrovně* — *heijunka*.
- ▶ Vedle úspor z redukce zásob má systém výhody i z hlediska řízení či redukce „mentálního přenastavení“ (každý ví, co se kdy dělá).
- ▶ Zásoby jsou nejen menší, ale i vyrovnané v čase — flexibilní odbyt.
- ▶ Validační algoritmus může mít víc úrovní aproximace, rychlejší běh.

## Příklad na heijunku

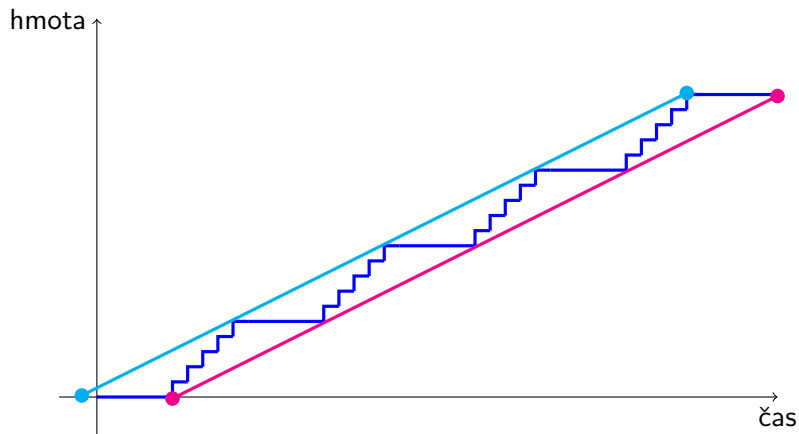
Po	Út	St	Čt	Pá	
<i>AAAAB</i>	<i>BBBBB</i>	<i>BBBCC</i>	<i>CCCDD</i>	<i>DDDDD</i>	$A^*B^*C^*D^*$
<i>ABBCD</i>	<i>ABBCD</i>	<i>ABBCD</i>	<i>ABBCD</i>	<i>BCDDD</i>	$(A^*B^*C^*D^*)^*$

Algebra — jazyky, regulární výrazy.

Čím víc heijunka, tím víc hvězdiček.



# Dvojúrovňová lineární aproximace



## Příčiny plýtvání (podle Toyoty)

- ▶ *muda* — nevyužívání zásob nebo kapacit, čekání, stroj musí pracovat, když už se koupil, stejně tak materiál (zkažení, morální zastarání, chybí kapitál na užitečnější nákupy),
- ▶ *mura* — nepravidelnost (výroby nebo dodávek), nutné vyrovnávat,
- ▶ *muri* — přetěžování (strojů nebo lidí), opotřebení, opravy, vyhoření, nehody, ...
- ▶ Velká pozornost je také věnována HR (inovace, bezpečnost, obměna činností, firemní kultura, ...).
- ▶ Výroba bude vždy obsahovat minimální neodstranitelné množství „přirozeného“ plýtvání — *entropie*.

## Modelování plýtvání

- ▶ Muda se vidí na signálech zásobníků, mura na nezbytné kapacitě a počáteční zásobě, muri souvisí s režimy procesů, ale lze ji také pozorovat na zásobnících jako nežádoucí stavy.
- ▶ Hlavním cílem předmětu je nalezení *souhrnné kvantifikace plýtvání* a její využití jako účelové funkce pro optimalizaci plánu.
- ▶ Nezapomínejme na projevy plýtvání na externích tocích — energie, zmetkovost, recyklovatelnost strojů na konci životnosti, atd.
- ▶ Uvnitř výroby jsou ekonomické a ekologické zájmy o snížení plýtvání v souladu. Nesoulad vzniká jako snaha přenést zodpovědnost na ostatní u odpadních zdrojů (vypouštění látek do vzduchu a vody, pneumatiky v lese, ...).
- ▶ V případě potřeby (pro měření plýtvání) můžeme vytvářet umělé zásobníky.
- ▶ Sociální efekty — reklamní kampaň, skandál, ... Chování trhu je obecně velmi nevyzpytatelné a těžko se modeluje.

# Řízení výroby a projektové řízení

- ▶ Námi navržený model zatím počítá s pevně stanoveným rozvrhem činností (Gantt) a zkoumá kolize na zásobnících.
- ▶ V praxi se často aplikuje podmíněné spuštění procesu:
  - ▶ *Řízení tlakem* (push). — „Až doděláš *A*, začni následné *B*.“ Proces je spuštěn plněním vstupního záznamu. Většinou se týká materiálu, u stroje odpovídá zpracovávání *fronty* kampaní (tlačím uvolněný stroj do další kampaně).
  - ▶ *Řízení tahem* (pull). — Proces předjímá hladovění a spouští předcházející proces nebo procesy, aby měl z čeho vyrábět. Rozlišují se systémy, kde požadavek směřuje jen k blízkým předchůdcům a kde směřuje rovnou třeba až k dodavateli.
- ▶ Řízení tahem pomáhá stanovit prerekvizity u projektového řízení — co a kolik koupit materiálu, náradí, koho zaměstnat, atd.

# Kanban a systémy řízení

- ▶ Řízení tahem vyžaduje pečlivou evidenci zásob: *kanban* — aktualizovaná nástěnka se štítky (nebo display), v širším významu zahrnuje i samotné řízení výroby. Viz snímek toku.
- ▶ Systémy řízení výroby, liší se přidáváním dalších zdrojů a „vnitřní chytrostí“:
  - ▶ material requirements planning (MRP) — vymyslel český emigrant J. Orlicky, jenom materiální zdroje,
  - ▶ manufacturing resource planning (MRP II) — i stroje, lidé, peníze, . . .
  - ▶ enterprise resource planning (ERP) — přímé řízení výroby počítačem, další nástroje.

# Průmyslové revoluce

- ▶ Průmysl 1.0 — strojní pohon (mlýnské kolo, parní stroj, hutnictví, železnice, spalovací motor, elektřina).
- ▶ Průmysl 2.0 — sériová výroba (začala v textilních manufakturách, zejména ale linková výroba — H. Ford)
- ▶ Průmysl 3.0 — roboti.
- ▶ **Průmysl 4.0** — všechno automatizované, chytré a komunikující, internet of things (IoT), digitální dvojče.
- ▶ Průmysl 5.0 — udržitelnost (minimalizace plýtvání, recyklace, rozložitelnost odpadů, sociální rozměr).
- ▶ Kritika P 4.0 (i P 5.0): (typicky politické) cíle stanoveny, všichni je chtějí, ale ještě se moc neví, jak jich dosáhnout. Z P 4.0 se stal *buzzword*, na který jsou mnozí už alergičtí, nemluvě o P 5.0.

# Obsluha informačního toku

- ▶ S rozvojem řídicích systémů se informační tok významně rozrůstá.
- ▶ Sám využívá a spotřebovává zdroje — počítače, datové sklady, (velmi drazí) odborníci, elektřina, kabely, snímače, tabule, software.
- ▶ Správa IT systému je sama o sobě hodnotovým tokem.
- ▶ Může se řešit stejnými modely. Zpracování toku je také tok, stává se tak „součástí sama sebe“.
- ▶ Za součást informačního toku můžeme považovat i *zavádění inovací*. Proces mění „starý tok“ na „nový tok“.

# Shrnutí první části

- ▶ Pojmy proces, zásobník, zdroj, kanál, signál, kolize.
- ▶ Tok jako plocha modelovaná událostmi.
- ▶ Základní myšlenka validační procedury.
- ▶ návratnost investice, typy plýtvání.
- ▶ Nástin principů plánování a řízení.