

TECHNOLOGICKÝ PROCES PŘEPRAVY ZVLÁŠT' TĚŽKÝCH A ROZMĚRNÝCH PŘEDMĚTŮ

TECHNOLOGICAL PROCESS OF OVERSIZED TRANSPORT

David Crhák¹

Anotace: Příspěvek je zaměřen na problematiku technologického procesu přepravy zvlášť těžkých a rozměrných předmětů (dále jen PZTRP). Podstatou příspěvku je řešení stanovení dob trvání dílčích činností a řešení sestavení posloupnosti těchto dílčích činností PZTRP.

Klíčová slova: doba trvání, časová rezerva, uspořádání činností

Summary: This article is focused on technology process of oversized transport. Main topic is solution of particular activities duration and schedule making of these activities.

Key words: activity duration, time reserve, activities schedule

1. ÚVOD

Pojem „přeprava zvlášť těžkých a rozměrných předmětů“ je definován v §25 odst. 4 písm. a) zákona č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. Jedná se o přepravu, kdy přepravovaný předmět překračuje některý z parametrů rozměrových (délka, šířka, výška) nebo hmotnostních (celková, připadající na nápravu resp. na hnací nápravu) dle vyhlášky č. 341/2002 Sb., o schvalování technické způsobilosti vozidel, ve znění pozdějších předpisů. V praxi se spíše ujalo označení „*nadměrná přeprava*“ nebo „*přeprava nadměrných předmětů*“.

2. DOBA TRVÁNÍ DÍLČÍCH ČINNOSTÍ

Stanovit dobu trvání dílčích činností technologického procesu PZTRP se 100%-ní určitostí nelze, spíše se jedná o odhady. Tyto odhady lze formulovat dle vzorce (2.1):

$$t_i = t_{Vi} + t_{Ri} \text{ [min]}, \quad (2.1)$$

kde

- t_i ... doba trvání i-té dílčí činnosti PZTRP [min],
- t_{Vi} ... výkonná složka doby trvání i-té dílčí činnosti PZTRP [min],
- t_{Ri} ... rezervní složka doby trvání i-té dílčí činnosti PZTRP [min].

Vzhledem k tomu, že každá realizovaná PZTRP je originálem, tzn. podmínky pro její realizaci nejsou nikdy stejné s jinou (ani s opakující se) přepravou, má jen s ostatními PZTRP

¹ Ing. David Crhák, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení dopravy, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel. +420 728 607 567, e-mail: davhak@centrum.cz

společné určité znaky, a že v technologickém postupu se mohou vyskytovat takové dílčí činnosti, které se v jiných přepravách nemusí vyskytovat, lze využít pro analýzu celého technologického procesu PZTRP a zjištění rezervních dob jednotlivých dílčích činností znalosti z oblasti síťové analýzy, viz [1]-[8].

Metody síťové analýzy lze využít pro optimalizaci organizace činností při:

- sestavování plánů postupu prací řízeného projektu,
- kontrole průběhu prací,
- nápravě skluzů časového plánu prostřednictvím opatření vycházejících z časového rozboru dílčích činností plánu.

Z důvodu výskytu dílčích činností, které se nemusí opakovat, stanovení dob trvání dílčích činností formou odhadů a zjištění rezervních dob dílčích činností lze pro další zkoumání využít stochastickou metodu síťové analýzy, metodu PERT (Program Evaluation and Review Technique). V této metodě se předpokládá, že odhady dob trvání dílčích činností PZTRP (viz vzorec 2.2) mají rozdělení BETA. Tato metoda umožňuje vyhledání případných kritických činností v technologickém postupu PZTRP (činnosti bez časových rezerv), které mohou negativně ovlivnit průběh tohoto postupu PZTRP.

Odhad doby trvání dílčí činností v metodě PERT má tvar:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \text{ [min]}, \quad (2.2)$$

kde

- t_e ... odhad doby trvání dílčí činnosti [min],
 a ... optimistický odhad doby trvání dílčí činnosti [min],
 b ... pesimistický odhad doby trvání dílčí činnosti [min],
 m ... modus = odhad nejpravděpodobnější doby trvání dílčí činnosti [min].

Optimistický odhad doby trvání dílčí činnosti vychází z předpokladu jistého štěstí nebo souhry okolností. Pesimistický odhad doby trvání dílčí činnosti označuje nejdelší dobu trvání činností bez zohlednění „vyšší moci“. Modus neboli odhad nejpravděpodobnější doby trvání dílčí činnosti je čas, který by se realizoval nejčastěji při větším počtu opakování činnosti za stejných podmínek.

V případě technologického postupu PZTRP je však potřebné provést modifikaci vzorce 2.2 v závislosti na charakteru dílčí činnosti.

Dílčí činnosti lze rozdělit do dvou základních skupin:

- dynamické dílčí činnosti – spjatý s úkony pohybového charakteru,
- statické dílčí činnosti – spjatý s úkony nepohybového charakteru.

2.1. Dynamické dílčí činnosti

Do skupiny dynamických dílčích činností lze zahrnout zejména činnosti spjaté s pohybem dopravního prostředku, kterým je uskutečňováno vlastní přemístění přepravovaného předmětu. Modifikace pro dynamické dílčí činnosti je (viz vzorec 2.3):

$$t_{De} = \frac{a_D + 4m_D + b_D}{6} \text{ [min]}, \quad (2.3)$$

kde

- t_{De} ... odhad doby trvání dynamické dílčí činnosti PZTRP [min],
- a_D ... optimistický odhad doby trvání dynamické dílčí činnosti PZTRP [min],
- b_D ... pesimistický odhad doby trvání dynamické dílčí činnosti PZTRP [min],
- m_D ... odhad nejpravděpodobnější (modus) doby trvání dynamické dílčí činnosti PZTRP [min].

Optimistický odhad (a_D) doby trvání dynamické dílčí činnosti PZTRP lze určit pomocí vzorce 2.4:

$$a_D = \left(\frac{L_{sidla}}{v_{sidla}} + \frac{L_{mimosidla}}{v_{mimosidla}} \right) * 60 \text{ [min]}, \quad (2.4)$$

kde

- L_{sidla} ... celková vzdálenost ujetá dopravním prostředkem v sídlech [km],
- $L_{mimosidla}$... celková vzdálenost ujetá dopravním prostředkem mimo sídla [km],
- v_{sidla} ... rychlost dopravního prostředku v sídlech [km/h],
- $v_{mimosidla}$... rychlost dopravního prostředku mimo sídla [km/h].

Hodnota optimistického odhadu závisí tedy na rychlostech, kterými může dopravní prostředek jet v sídlech a mimo sídla, tedy nejvyšší povolenou rychlostí na daném úseku dopravní sítě nebo nejvyšší rychlostí vyznačenou zejména na přípojném vozidle.

Pesimistický odhad (b_D) doby trvání dynamické dílčí činnosti PZTRP lze stanovit dle vzorce 2.5, který je úpravou vzorce 2.4 za podmínky $v_{sidla} = v_{mimosidla} = v_{min}$. Veličina v_{min} odpovídá nejnižší rychlosti, kterou dopravní prostředek dosáhne během vlastní dopravy na zvolené trase mimo průjezdů zatáčkami malých poloměrů a dlouhých oblouků a průjezdů přes zpevněné mostní objekty. Vyloučení výše zmíněných objektů je z důvodu velmi malých rychlostí, které jsou vyžadovány kvůli přesnějšímu manévrování, které lze dosáhnout právě při velmi nízkých rychlostech hodnotově blízkých rychlosti lidské chůze i méně. V čitateli pak $L_{sidla} + L_{mimosidla}$ odpovídá délce přepravní trasy L_{PT} .

$$b_D = \frac{L_{PT}}{v_{min}} * 60 \text{ [min]}, \quad (2.5)$$

kde

- L_{PT} ... délka přepravní trasy [km],
- v_{min} ... nejnižší dosažená rychlost dopravního prostředku na přepravní trase [km/h].

Odhad nejpravděpodobnější (modus) doby (m_D) trvání dynamické dílčí činnosti PZTRP lze určit pomocí váženého aritmetického průměru z důvodu, aby bylo zajištěno maximálně objektivní stanovení (viz vzorec 2.6).

$$m_D = \frac{\sum_i (l_i * v_i)}{\sum_i l_i} * 60 \text{ [min]}, \quad (2.6)$$

kde

l_i ... délka i-tého úseku [km],

v_i ... dosažená rychlost v i-tém úseku [km/h].

2.2. Statické dílčí činnosti

Do skupiny statických dílčích činností lze zahrnout činnosti, které nejsou zahrnuté ve skupině dynamických, tj. jsou spjaté s provedením takových úkonů, které umožní zajistit nashromáždění náležitostí nutných pro realizaci nadměrné přepravy. Zejména se jedná o činnosti, které se vážou k zajištění potřebných povolení a uzavření smluv se subjekty, které se budou podílet na realizaci nebo budou nadměrnou přepravou dotčeny.

Modifikace vzorce 2.2 pro statické dílčí činnosti je (viz vzorec 2.7):

$$t_{Se} = \frac{a_S + 4m_S + b_S}{6} \text{ [min]}, \quad (2.7)$$

kde

t_{Se} ... odhad doby trvání statické dílčí činnosti PZTRP [min],

a_S ... optimistický odhad doby trvání statické dílčí činnosti PZTRP [min],

b_S ... pesimistický odhad doby trvání statické dílčí činnosti PZTRP [min],

m_S ... odhad nejpravděpodobnější (modus) doby trvání statické dílčí činnosti PZTRP [min].

Optimistický odhad (a_S) trvání statické dílčí činnosti PZTRP lze chápat jako odhad „nejdříve možné“ doby na zajištění nashromáždění náležitostí nutných pro realizaci nadměrné přepravy. Hodnota odhadu může nabývat z intervalu $\langle a_{SD}; a_{SH} \rangle$.

Dolní mez (a_{SD}) intervalu odpovídá verbálně hodnotě „vyřízení ihned“ tj. číselně nula.

Horní mez (a_{SH}) intervalu odpovídá verbálně hodnotě „co nejdříve“. Lze stanovit pomocí statistické metody, třídy četností, a vybrat tu třídu, která odpovídá verbálnímu ohodnocení „nejpozději možné z nejdříve možného“.

Pesimistický odhad (b_S) trvání statické dílčí činnosti PZTRP lze chápat jako odhad „nejpozději nutné“ doby na zajištění nashromáždění náležitostí nutných pro realizaci nadměrné přepravy. Hodnota odhadu tak odpovídá nejpozdější lhůtě splnění úkonů ze strany žádaného subjektu.

Odhad nejpravděpodobnější (modus) doby (m_s) trvání statické dílčí činnosti PZTRP je zjišťován statisticky pomocí tříd četností a odpovídá té hodnotě doby, jejíž třída početnosti je největší [9].

3. ČASOVÁ REZERVA DÍLČÍCH ČINNOSTÍ

Vzhledem k tomu, že doby trvání dílčích činností PZTRP jsou určeny jejich odhady dle vzorců 2.3 a 2.7 modifikované ze vzorce 2.2, tedy vzorce ze stochastické metody síťové analýzy (metody PERT), lze pro určení časových rezerv těchto dílčích činností použít vzorec pro výpočet časové rezervy ze zmíněné metody PERT. Časovou rezervu lze vypočítat dle vzorce 2.8.

$$R^{v_i} = T_L^{v_i} - T_E^{v_i} \text{ [min]}, \quad (2.8)$$

kde

- R^{v_i} ... časová rezerva dílčí činnosti PZTRP [min],
- $T_L^{v_i}$... nejpozději nutný konec dílčí činnosti PZTRP [min],
- $T_E^{v_i}$... nejdříve možný konec dílčí činnosti PZTRP [min].

Nejdříve možný konec dílčí činnosti PZTRP je vypočítán dle vztahu 2.9:

$$T_E^{v_i} = \sum_{h \in \tilde{m}[v_0, v_i]} t_e[h] \text{ [min]}, \quad (2.9)$$

kde $\tilde{m}[v_0, v_i]$ je maximální dráha z vrcholu v_0 do vrcholu v_i a za t_e dosazujeme příslušnou hodnotu t_{De} nebo t_{Se} v závislosti na tom, zdali se jedná o dílčí činnost dynamickou nebo statickou. Nejdříve možný konec dílčí činnosti PZTRP je tedy součtem časů t_e hran síťového grafu, které tvoří maximální dráhu z vrcholu v_0 do příslušného vrcholu v_i .

Nejpozději nutný konec dílčí činnosti PZTRP je vypočítán dle vztahu 2.10:

$$T_L^{v_i} = T_L^{v_n} - \sum_{h \in \tilde{m}[v_i, v_n]} t_e[h] \text{ [min]}, \quad (2.10)$$

kde $\tilde{m}[v_i, v_n]$ je maximální dráha z vrcholu v_i do koncového vrcholu v_n a za t_e dosazujeme příslušnou hodnotu t_{De} nebo t_{Se} v závislosti na tom, zdali se jedná o dílčí činnost dynamickou nebo statickou. Nejpozději nutný konec dílčí činnosti PZTRP je tedy součtem časů t_e hran síťového grafu, které tvoří maximální dráhu z vrcholu v_0 do příslušného vrcholu v_i .

Časová rezerva může měnit hodnotu a může nabývat i záporných hodnot.

4. UTRÍDĚNÍ DÍLČÍCH ČINNOSTÍ V TECHNOLOGICKÉM POSTUPU PZTRP

Utrídění dílčích činností, tedy vytvoření určité jejich posloupnosti vyjadřující jejich pozici v organizační struktuře a vazby mezi nimi, a případné jejich zpětné vyhledávání lze řešit pomocí prostředků systému automatizovaného projektování (SAP). Pro PZTRP jsou vhodné svými vlastnostmi zejména údajové struktury, tj. skupin záznamů s potřebnými vzájemnými vztahy, TABULKA nebo PRIORITNÍ FRONTA [10].

4.1. Údajová struktura TABULKA

Jde o dynamickou údajovou strukturu (vhodné je pro ni využít programování), která umožňuje realizaci vyhledávání, vkládání a rušení údajů podle klíče. Klíčem je zvolená položka prvku (záznamu), která tento záznam jednoznačně identifikuje a odlišuje jej od ostatních záznamů. Záznamem prvku v případě PZTRP lze považovat charakteristiku dílčích činností technologie PZTRP (doba trvání, kdo ji provádí, nároky na její uskutečnění, ohodnocení dané dílčí činnosti atd.). Prvkem je pak chápána každá dílčí činnost PZTRP. Klíčem pak může být zvolené pořadí (vzestupně) jednotlivých dílčích činností PZTRP. Toto pořadí je silně ovlivněno subjektivním hodnocením důležitosti ze strany uživatele systému (dopravce, zákazník).

Nejlépe pro potřeby zkoumání PZTRP vyhovuje implementace tabulky pomocí dynamické paměti, kdy je tabulka reprezentována seznamem. Tato implementace je možná následujícími způsoby v závislosti na požadované náročnosti přesnosti výstupu:

- *binární vyhledávací strom (BVS)*

Pro tento typ stromu platí:

Kořen (vrchol/prvek, který nemá žádného předchůdce) obsahuje prostřední prvek utříděné tabulky, vlevo je prostřední prvek levé poloviny tabulky a vpravo je prostřední prvek z pravé poloviny tabulky, stejná pravidla platí i pro všechny další úrovně. Protože se jedná o binární strom, pak každý vrchol má nejvýše dva následníky.

Princip uspořádání prvků v BVS:

1. úplně první prvek je vložen do vrcholu „kořene“ stromu,
2. pro každý vkládaný další prvek je porovnán jeho klíč s klíčem kořene stromu:
 - a) klíč vkládaného prvku je menší než klíč kořene stromu, postoupí do levého podstromu,
 - b) klíč vkládaného prvku je větší než klíč kořene stromu, postoupí do pravého podstromu.

- *AVL-strom* = vyvážený BVS

Pro tento typ stromu platí:

Pro každý vrchol platí, že výška levého podstromu se liší od výšky jeho pravého podstromu nejvýše o jednotku. Pro AVL-strom může být výška maximálně 1,4-násobně větší než výška ideálně vyváženého stromu.

4.2. Údajová struktura PRIORITY FRONTA

Jedná se opět o dynamickou údajovou strukturu (je vhodné pro ni rovněž využít programování), kterou lze využít pro výpočet nejkratších cest na dopravní síti nebo pro organizaci údajů časové osy v úlohách diskrétní simulace. Při implementaci časové osy je prioritita určena časem, ve kterém se má zařazovaná činnost, respektive událost, vykonat. Události se z fronty vybírají podle vzrůstajícího času.

Nejlépe pro potřeby zkoumání PZTRP vyhovuje implementace prioritní fronty pomocí haldy.

- *Halda* = binární strom, ve kterém pro každý vrchol platí, že hodnota klíčové položky prvku v určitém vrcholu haldy je menší než hodnoty klíčových položek obou synů tohoto vrcholu (pokud existují), vytváří vždy vyvážený strom (úrovně listů se mohou lišit nejvýše o jednotku).
- *Párová halda* = implicitní (staticky v poli) halda představovaná více-cestným stromem, který je haldově uspořádán, tj. každý vrchol může mít více následníků (synů), kteří mají všichni nižší prioritu. Tuto haldu je však nutné z důvodu komplikací v dynamické paměti transformovat na binární strom. Základní operací na párové haldě je operace párování vykonávaná se dvěma vrcholy (reprezentující dílčí činnosti PZTRP) haldy, tj. vrchol s větší hodnotou priority se stane prvním synem vrcholu s menší hodnotou.

Pro organizaci dílčích činností PZTRP je vhodným nástrojem párová halda jako více-cestný strom. Při případném programování se však musí kvůli nárokům dynamické paměti přetransformovat na binární strom. Dle požadavku přesnosti utříděnosti dílčích činností PZTRP (kladeného ze strany uživatele) je vhodné využít vlastností BVS nebo AVL-stromu. Pro experimentální účely naprogramování výše zmíněných údajových struktur je dostatečné programování provést pomocí programovacího jazyka Pascal nebo Turbo Pascal.

5. ZÁVĚR

Technologický proces PZTRP se skládá z tzv. dílčích činností, pro které je nutné zjistit způsob stanovení dob trvání alespoň v podobě odhadů. Činnosti lze rozdělit do dvou skupin v závislosti, zda-li jsou či nikoliv spjaté z pohybem dopravního prostředku. V kapitolách 2.1. a 2.2. jsou uvedena možná řešení způsobu stanovení odhadů dob trvání dílčích činností právě pro dané skupiny.

V 3. kapitole je uvedeno řešení určení časových rezerv dílčích činností PZTRP tak, aby byla garantována provázanost se způsobem stanovení odhadů dob trvání dílčích činností.

Problematiku uspořádání dílčích činností technologie PZTRP lze řešit pomocí prostředků automatizovaného systému projektování (SAP), zejména pak těch, jejichž podstatou je řešení binárního stromu. V 4. kapitole je uvedeno řešení pomocí údajových struktur TABULKA a PRIORITY FRONTA. Vhodným způsobem je skloubit dohromady přednosti výše zmíněných údajových struktur. Předností údajové struktury TABULKA je zejména způsob shrnutí charakteristiky každé dílčí činnosti pomocí záznamu prvku a

identifikace každého prvku pomocí klíče. Předností údajové struktury PRIORITNÍ FRONTA je způsob uspořádání prvků podle priorit. To může být použito při výběru těch dílčích činností PZTRP, které lze považovat za stále se vyskytující v technologickém procesu PZTRP, pro vytvoření primární kostry technologického postupu PZTRP právě z těchto vybraných dílčích činností.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Volek, J. *Operační výzkum I*, Pardubice: Tiskařské středisko Univerzity Pardubice, 2002, 111 s., skripta DFJP, ISBN 80-7194-410-6.
- [2] Dresdner, D. M., Spiech J. A., Uslan G. M. *Programmierte Einführung in PERT*, München: Oldenbourg, 1966, 149 s.
- [3] Golenko, D. I. *Statistische Methoden der Netzplantechnik*, Leipzig: Teubner, 1972, 288 s.
- [4] Götzke, H. *Netzplantechnik - Theorie und Praxis*, Leipzig: Fachbuchverlag, 1969, 260 s.
- [5] Neumann K. *Die Problematik der Verwendung der Pert-Methode in der Netzplantechnik*, Operations research-Verfahren, Meisenheim am Glan: Anton Hain, 1970, 11 s.
- [6] Russell, L. A., Maurice, W. S. *Operations research - Grundzüge der Operationsforschung*, Stuttgart: Kunst und Wissen, 1970, 483 s.
- [7] Wayne, L. Winston *Operations research - Applications and Algorithms*, Californie, Belmont: Duxbury Press, 1994, 1318 s., ISBN 0-534-20971-8.
- [8] Böhm, F. *Mathematische Standardmodelle der Operations-forschung*, Berlin: Verlag Die Wirtschaft, 1972, 719 s.
- [9] Koutková H., MOLL I. *Úvod do pravděpodobnosti a matematické statistiky (přepřacované vydání)*, Brno: CERM, 2001, 192 s., skripta VUT FAST, ISBN 80-214-1811-7.
- [10] Cenek, P., Klima, V., Janáček, J. *Optimalizace dopravních a spojových procesů*, Žilina: Edičné středisko VŠDS v Žilině, 1994, 344 s., ISBN 80-7100-197-X

Recenzenti: doc. Ing. Jaroslav Kleprlík, Ph.D.
Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra technologie a řízení dopravy
doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra technologie a řízení dopravy