Plánování servisních zásahů

Jan Kelbel, Libor Waszniowski, Zdeněk Hanzálek
Katedra řídicí techniky
Elektrotechnická fakulta, ČVUT v Praze
Karlovo nám. 13, 121 35 Praha 2
e-mail: kelbelj@fel.cvut.cz

Úvod

- Spolupráce s firmou Energocentrum s.r.o.
- Servis a údržba technických zařízení určených především pro dodávky elektřiny, tepla a chladu do budov

- Plánování pravidelných servisních zásahů, sjednaných dopředu s dohodnutou periodou provádění

Identifikovány dva hierarchicky uspořádané podproblémy:

Problém A) Dlouhodobé plánování servisních zásahů – určení dne provedení

Problém B) Denní rozvrhování servisních zásahů – určení přibližného času provedení, přiřazení pracovníka na zakázku

A Dlouhodobé plánování

Dlouhodobé plánování pravidelných servisních zásahů

Periodický servisní zásah (servis) *j* je zadaný:

- Místem zásahu
- Periodou provádění T_j
- Cenou zásahu *c*
- Penalizační cenou za nedodržení periody α_j, β_j
- Maximálním a minimálním časovým rozestupem mezi zásahy

j,k – *k*-tý zásah periodického servisu *j*

A Dlouhodobé plánování (2)

Penalizační cena

- při předčasném provedení se zvýší počet provedení jednoho periodického servisního zásahu
- pozdní provedení servisního zásahu má negativní vliv na spolehlivost nebo spokojenost zákazníka

Cena servisního zásahu

- počítá se, pokud je daný den naplánován alespoň 1 zásah
- cena za dopravu a cena kvalifikace – zatím konstanta
- představuje požadavek slučování zásahů – minimalizace počtu dní, kdy se provádí na daném místě servis

A Dlouhodobé plánování (3)

Cíl optimalizace problému A

Najít takové umístění servisních zásahů v čase, aby suma cen servisních zásahů a penalizačních cen byla minimální

Následně: spojení několika servisních zásahů na jednom místě do jedné zakázky

- Všechny tyto zásahy může provést jeden technik splňující všechny požadované kvalifikace
- Pro skupinu spojených servisních zásahů se počítá jedna cena za kvalifikaci a za dopravu

Problém A – MIP model

min

$$\sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{k \in \mathcal{K}_j} f_{j,k} + \sum_t y_t \cdot c$$

subject to

$$d_{j,k+1} = S_{j,k} + T_j$$

$$f_{j,k} \geq (d_{j,k} - S_{j,k}) \cdot \alpha_j$$

$$f_{j,k} \geq (S_{j,k} - d_{j,k}) \cdot \beta_j$$

$$\sum_t x_{j,k,t} = 1$$

$$S_{j,k} = \sum_t x_{j,k,t} \cdot t$$

$$y_t \geq x_{j,k,t}$$

Problém A – CP model

$$\min \sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{k \in \mathcal{K}_j} f_{j,k} + \sum_t y_t \cdot c$$

subject to

$$d_{j,k+1} = S_{j,k} + T_j$$

$$f_{j,k} \geq (d_{j,k} - S_{j,k}) \cdot \alpha_j$$

$$f_{j,k} \geq (S_{j,k} - d_{j,k}) \cdot \beta_j$$

$$\boxed{y_{S_{j,k}} = 1}$$

CP umožňuje indexování proměnnou

Experimenty – A

Výsledek řešení jednoho zadání problému A

servisní zásahy (pořadí zásahu v daném časovém období)

Servisní zásah	perioda (prac. dny)	Po	Út	St	Čt	Pá	Po	Út	St	Čt	Pá	Po	Út	St	Čt	Pá	Po	Út	St	Čt	Pá	Po	Út	St	Čt	Pá
1	5	1					2					3					4					5				
2	10	1										2										3				
3	3	1			2		3					4			5		6		7			8			9	
4	15	1															2									
5	5	1					2					3					4					5				
6	10				1										2										3	
7	3	1			2		3					4			5				6			7			8	
8	5	1					2					3					4					5				
servisní zásah na místě		■			■		■					■			■		■		■			■			■	
		Po	Út	St	Čt	Pá	Po	Út	St	Čt	Pá	Po	Út	St	Čt	Pá	Po	Út	St	Čt	Pá	Po	Út	St	Čt	Pá

Experimenty – A (2)

Vyhodnocení řešení problému A – porovnání modelů

			CP		MIP	
instance	zásahy	dny	cena	čas CPU [s]	cena	čas CPU [s]
A1	5	20	546 (opt)	1,41	546 (opt)	20,2
A2	8	20	615 (opt)	7,11	615 (opt)	134,23
A3	15	20	897	1809,8	793-943	3275,3
A4	8	25	779 (opt)	255,41	636-808	442,06
A5	12	20	717 (opt)	431,58	717 (opt)	2111,75

B Denní rozvrhování

Denní rozvrhování servisních zásahů

Určení kdy během dne jakým servisním technikem má být určitá zakázka (množina spojených servisních zásahů) provedena

Varianta problému Vehicle Routing Problem (VRP, nadmnožina problému obchodního cestujícího)

B Denní rozvrhování (2)

Zakázka *v* má určeno

- místo, kde se má vykonat
- časové okno, kdy je možno zakázku vykonat $[r_v, d_v]$
- přibližnou časovou délku vykonání p_v
- požadované kvalifikace servisního technika

Servisní technik *t* má určeno

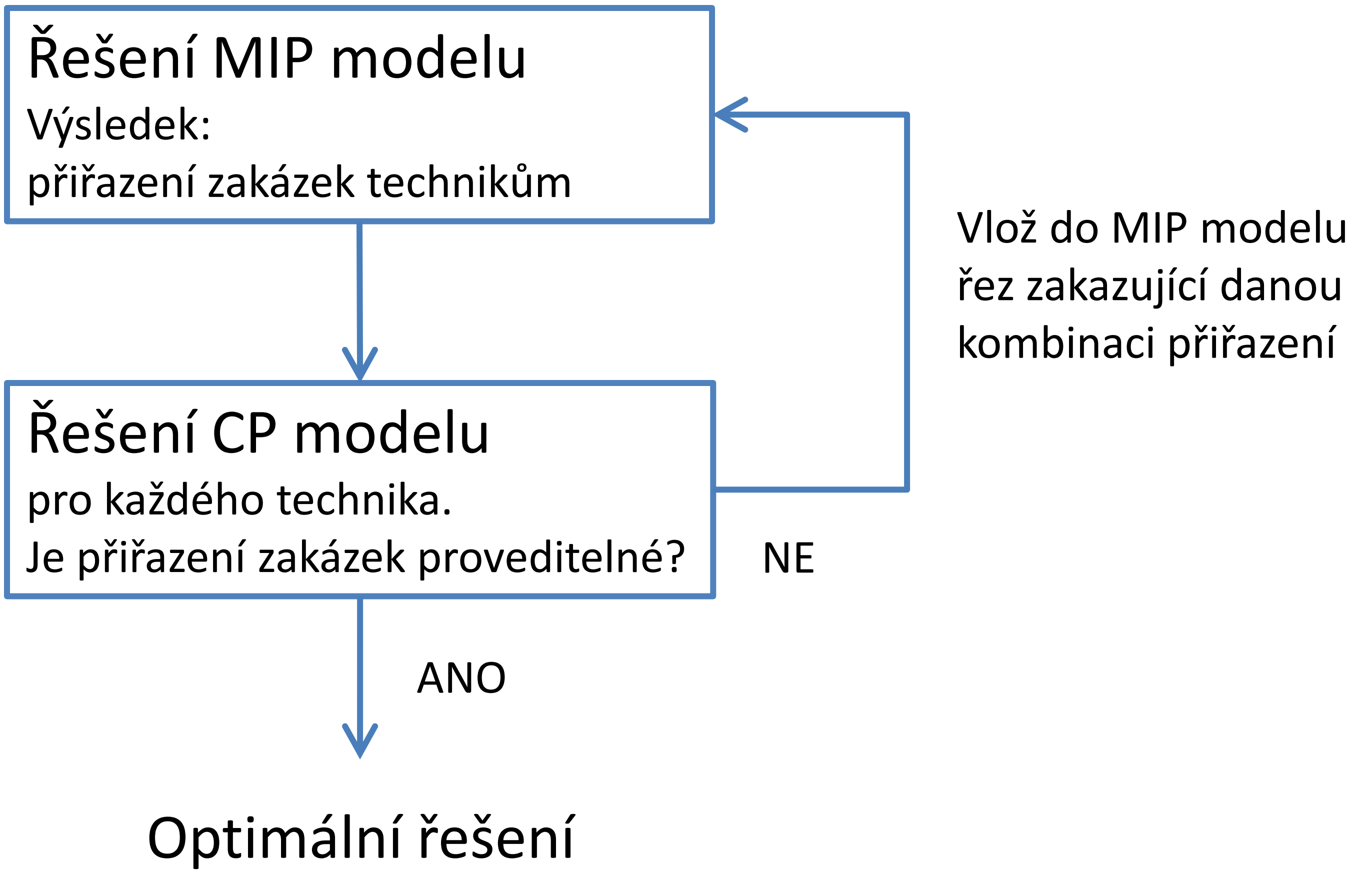
- místo začátku a konce směny
- pracovní dobu
- kvalifikace (určující kompatibilitu se zakázkami a cenu servisního zásahu $c_{v,t}$)

B Denní rozvrhování (3)

Cíl optimalizace problému B

Minimalizace ceny přiřazení servisních techniků na zakázky s uvažováním času jízdy mezi servisovanými objekty

Principielní schéma Bendersovy dekompozice



Problém B – hybridní MIP + CP model

(Bendersova dekompozice)

$$\min \sum_{v \in \mathcal{V}} \sum_{t \in \mathcal{T}} c_{v,t} \cdot x_{v,t}$$

subject to

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} x_{v,t} = 1 \quad \forall v \in \mathcal{V}$$

$$\sum_{v \in \mathcal{V}} p_v x_{v,t} \leq W \quad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$x_{v,t} = 0 \qquad \{v \in \mathcal{V}, t \in \mathcal{T} \,|\, v \text{ and } t \text{ not compatible}\}$$

MIP

$$v \text{ requires } t \qquad \{v \in \mathcal{V}, t \in \mathcal{T} \,|\, x_{v,t} = 1\}$$

$$S_v \geq r_v$$

$$S_v + p_v \leq d_v$$

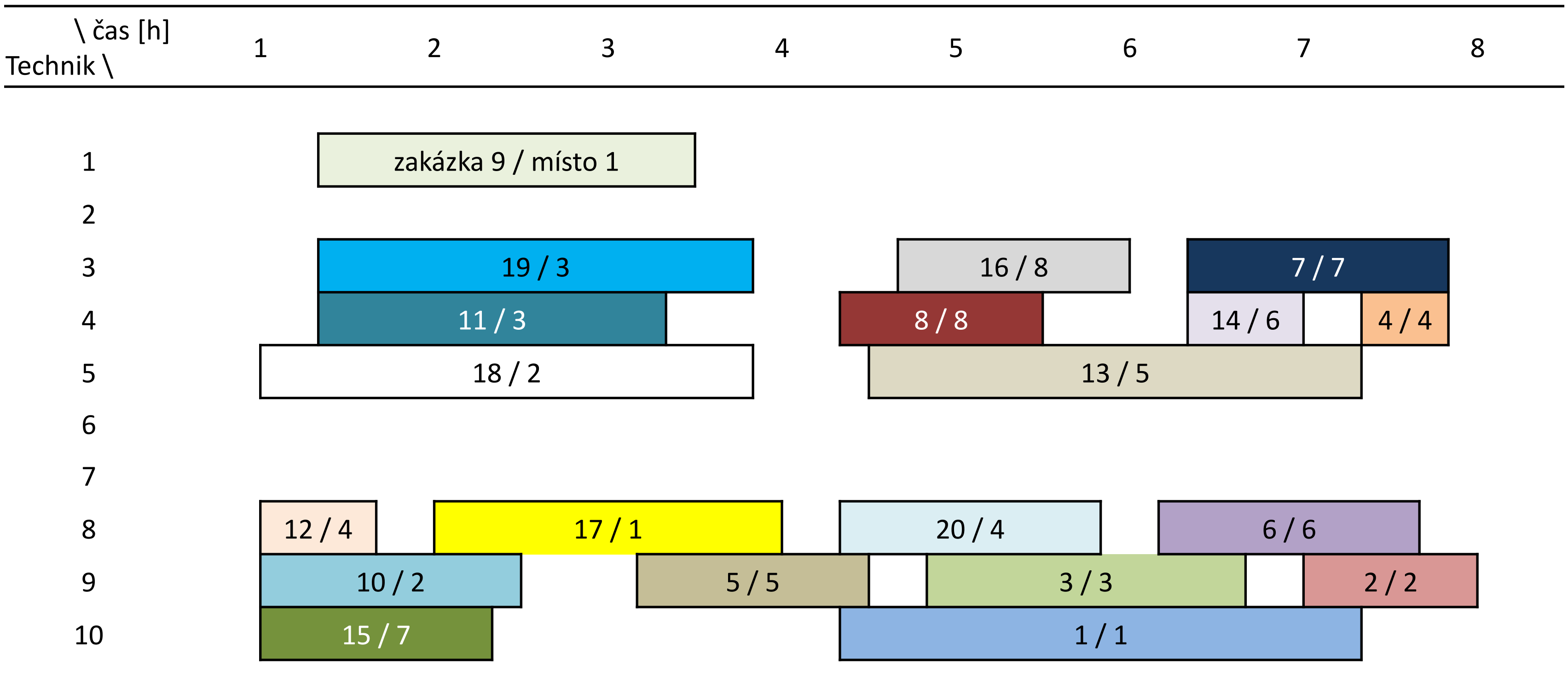
$$S_i + p_i + l_{i,j} \leq S_j \quad \vee \quad S_j + p_j + l_{j,i} \leq S_i$$

CP

Experimenty – B

Výsledek řešení jednoho zadání problému B

10 techniků, 20 zakázek, 8 servisních míst + depo



Experimenty – B (2)

Vyhodnocení řešení problému A – porovnání modelů

	čas výpočtu [s]	
algoritmus	optimum nalezeno	ověřeno
CP	1357,5	
CP + LP relaxace	129	560
těsnější LP relaxace		
CP + LP relaxace	70,2	294,9
MIP + CP benders	432,09	432,09
těsnější řezy		
MIP + CP benders	39,46	39,46
odstranění redundantního omezení časového okna		
MIP + CP benders	29,08	29,08

Závěr

- Identifikace a formulace dvou problémů
- Navržené algoritmy testovány na menších instancích

- Další postup závisí na požadavcích prům. partnera

Formulace problémů

Syntéza modelů pro řešení problému

- Prozatím byly vytvořeny modely pro řešení každého podprobému zvlášť
- Energocentrum přednostně požaduje řešení problému A)

Řešení problému A

- Byly vytvořeny dva modely pro porovnání: pro celočíselné lineární programování (MIP) a pro programování s omezujícími podmínkami (CP)

Řešení problému B

- Vyzkoušen CP algoritmus a CP algoritmus s LP relaxací
- Vytvořen hybridní algoritmus používající Bendersovu dekompozici, kde MIP je řídicí optimalizační algoritmus a CP řeší rozhodovací podproblém