

# CENTRA NÁKLADNÍ DOPRAVY A JEJICH OPTIMALIZACE NA VYBRANÉ DOPRAVNÍ SÍTI

## THE CENTRES OF FREIGHT TRANSPORT AND THEIR OPTIMALISATION ON TRAFFIC NETWORK

Jaromír Široký, Miroslav Slivoně, Václav Cempírek<sup>1</sup>

---

*Anotace: Příspěvek popisuje centra nákladní dopravy, jejich základní charakteristiku a úlohu v logistickém řetězci. Hlavní částí příspěvku je optimalizace počtu těchto center a jejich lokace. K řešení bylo použito metody genetických algoritmů.*

*Klíčová slova: centrum nákladní dopravy, optimalizace, lokace, genetické algoritmy*

*Summary: Authors in this paper describe the centre of freight transport, their characteristics and function in logistics. Main of paper is the optimization and location of centres. For the solution of this problem has been used the genetic algorithms.*

*Key words: centre of freight transport, optimization, location, genetic algorithms*

### 1. CENTRA NÁKLADNÍ DOPRAVY

Centrum nákladní dopravy (dále jen CND) – „Je centrum multimodálního charakteru obsluhované minimálně dvěma druhy dopravy, zřízované podle jednotné koncepce na regionálním principu, ve kterém poskytuje více poskytovatelů široké spektrum logistických služeb všem zájemcům v regionu včetně malých a středních firem, a které vzniká s podporou veřejných rozpočtů na základě nabídkového řízení. Umožňuje poskytování služeb všem zájemcům bez diskriminace.“ Při plánování a výstavbě center nákladní dopravy se zaměřujeme na stanovení systémových cílů a vývoje podle získaných informací (skutečností). Systémové cíle center nákladní dopravy jsou:

- a) v ekonomické oblasti: obrát, zisk, čistý příjem,
- b) v sociální oblasti: bezpečnost, stabilita, pracovní příležitosti,
- c) v oblasti zájmů subjektů: dopravní hospodárnost, regionální atraktivita, místo výkonu činností.

Vymezení funkcí, kterými disponuje CND, se odvozují z činností charakteristických pro dopravně logistická centra, průmyslové zóny a požadavků na komplexní přepravní (obchodní) řetězce v ČR. V současné době je nutné řešit přepravní řetězce komplexně. Logistický přístup umožňuje optimalizovat přepravní procesy jako celek, tzn. logistické systémy řízení oběhu zboží, mezi které patří skladování, balení, označování, konsolidace a dekonsolidace zásilek, překládání, distribuce a přeprava, nemohou být realizovány bez stabilně fungujících

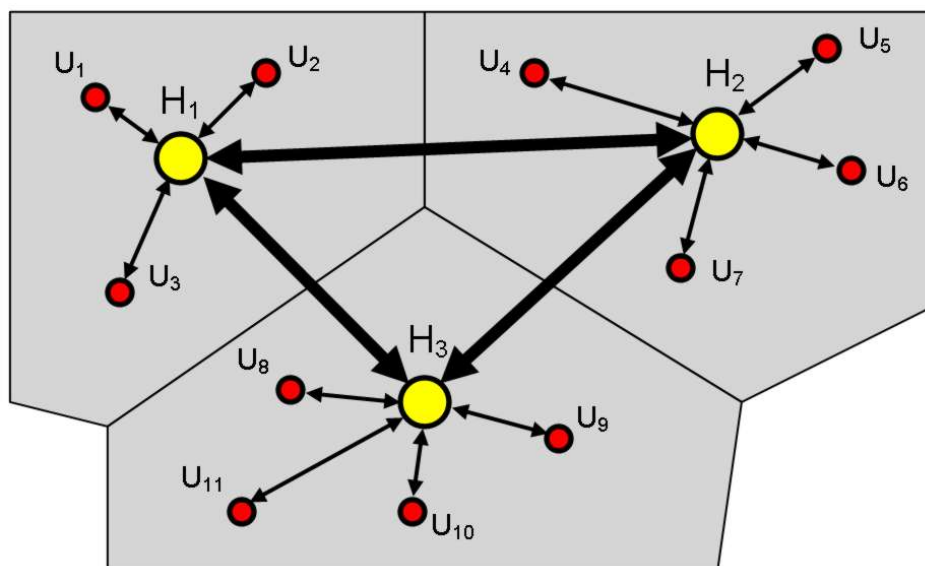
---

<sup>1</sup> Ing. Jaromír Široký, Ph.D., Ing. Miroslav Slivoně, doc. Ing. Václav Cempírek, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení dopravy, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel.: +420 603 6199, [Jaromir.Siroky@upce.cz](mailto:Jaromir.Siroky@upce.cz), [Miroslav.Slivone@upce.cz](mailto:Miroslav.Slivone@upce.cz), [Vaclav.Cempirek@upce.cz](mailto:Vaclav.Cempirek@upce.cz)

převravních systémů a proto je přeprava považována za integrující prvek logistických systémů. CND podstatným způsobem rozšiřují dosavadní funkci překladišť zboží mezi různými druhy dopravy a zmenšují podíl živé práce. Plochy v CND je možné využít i pro umístění průmyslových podniků, výroba a výrobní služby pak navazují na funkci hlavní. Lehké průmyslové zóny (dále jen LPZ) lze označit jako vývojový stupeň CND.

## 2. NÁVRH OPTIMÁLNÍHO POČTU A ROZMÍSTĚNÍ CENTER NÁKLADNÍ DOPRAVY

Návrh optimálního počtu center nákladní dopravy a jejich rozmístění vychází z předpokladu, že přeprava zboží po železnici prostřednictvím sítě vlakových stanic bude realizována na principu technologie „Hub-and-Spoke“. Modelová přeprava vozové zásilky tedy bude probíhat následovně: Zásilka je z železniční stanice odeslána přepravena do první vlakové stanice, která plní úlohu hubu. Odtud je odvezena do další vlakové stanice (tedy dalšího „hubu“) a poté již přepravena do stanice určení. V případě, že stanice odeslání a stanice určení leží v atrakčním obvodu stejné vlakové stanice, bude zásilka hned z první vlakové stanice přepravena do stanice určení a přeprava tedy bude realizována prostřednictvím jednoho hubu. Přepravy realizované prostřednictvím více než dvou vlakových stanic nejsou v uvažované modelové situaci povoleny, protože každé další zpracování a pobyt zásilky ve vlakové stanici znamená vznik časové ztráty. To znamená, že v každé vlakové stanici budou tvořeny přímé vlaky do všech ostatních vlakových stanic. Schéma takového systému je znázorněno na obrázku 1. Jakoukoli přepravu mezi dvěma uzly lze uskutečnit pouze použitím hran znázorněných obousměrnými šipkami, přičemž není možné použít více než 3 hrany.



Zdroj: autoři

Obr. 1 - Schematické znázornění uvažovaného systému Hub-and-Spoke

Jednotlivé uzly mohou být přiřazeny právě k jednomu hubu (tzv. prostá alokace; situace je znázorněna na obrázku 1), nebo mohou být zařazeny do atrakčních obvodů hned několika hubů (tzv. násobná alokace). Výhodou násobné alokace je částečná eliminace tzv. „protisměrných“ přeprav a tudíž snížení hodnoty účelové funkce oproti alokaci prosté; nevýhodou je pak složitější organizace (přepravy se nerealizují do uzlu resp. z uzlu pouze prostřednictvím jediného hubu tak jako v případě prosté alokace, ale volba příslušné dvojice hubů záleží na konkrétní relaci uzlů  $i$  a  $j$ ) a také nutnost vypravování obecně většího počtu vlaků při zajišťování svozu a rozvozu do a z hubů. V základním tvaru navrhovaného modelu se proto bude jednat o alokaci prostou, přičemž pro některé relace lze v reálu zavést odlišnou organizaci přepravy (tj. prostřednictvím jiného hubu než toho, do jehož atrakčního obvodu stanice odeslání resp. určení patří), pokud to bude výhodné.

Výhoda výše popsané organizace přepravy vzniká z koncentrace přepravních proudů do vlakových stanic - hubů, což umožňuje mezi huby přepravovat zásilky ekonomicky (vyšší objemy přeprav) a v přijatelných lhůtách (vyšší frekvence přeprav). Důsledkem zpracování zásilek ve vlakových stanicích a možného prodloužení trasy dochází k prodloužení doručovacích lhůt oproti přímé přepravě, proto je vhodné organizovat prioritní přepravy a přepravy na relacích s vysokým objemem přepravního proudu jako přímé přepravy (tj. ucelenými vlaky).

Úlohu optimálního rozmístění vlakových stanic tedy bude formulována jako problém optimální lokace hubů. Cílem úlohy je rozhodnout o umístění jednotlivých hubů a o přiřazení (alokaci) obsluhovaných uzlů k těmto hubům. Dopravní síť je modelována kompletním grafem  $G$  s množinou uzlů  $V$  a množinou ohodnocených hran  $H$ . Každá hrana je ohodnocena číslem  $d_{ij}$ , které reprezentuje vzdálenost uzlu  $i$  od uzlu  $j$  v reálné dopravní síti. Velikost přepravního proudu z uzlu  $i$  do uzlu  $j$  je označena jako  $b_{ij}$ .

Každá přeprava mezi uzlem  $i$  a uzlem  $j$  se skládá ze tří složek: přeprava z uzlu  $i$  do hubu  $k$  (svozní část), přeprava z hubu  $k$  do hubu  $l$  a konečně distribuce zásilky z hubu  $l$  do uzlu  $j$  (distribuční část). Přímé přepravy mezi uzly, které nejsou huby, jsou zakázané; stejně tak nejsou dovolené přepravy prostřednictvím více než dvou hubů. Přepravy prostřednictvím jediného hubu povoleny jsou, protože huby  $k$  a  $l$  mohou být totožné (v případě, že uzly  $i$  a  $j$  leží v atrakčním obvodu jediného hubu). Náklady na přepravu jednotkového množství toku z uzlu  $i$  do uzlu  $j$  prostřednictvím hubů  $k$  a  $l$  budou počítány dle vztahu  $c_{ij} = \chi * d_{ik} + \alpha * d_{kl} + \delta * d_{lj}$ . Parametry  $\chi$ ,  $\alpha$ ,  $\delta$  umožňující rozlišení nákladů na svoz, přepravu mezi huby a rozvoz. Parametry  $\chi$  a  $\delta$  bývají obvykle rovny 1 (v některých aplikacích ale lze rozlišit náklady na svoz a rozvoz), volbou hodnoty parametru  $\alpha$  lze reflektovat výši úspory přepravních nákladů vyplývající z koncentrace přeprav mezi huby (hodnota parametru  $\alpha$  se v praktických úlohách obvykle pohybuje v rozmezí 0,6-0,7). Náklady na přepravu jednotkového množství  $c_{ij}$  mohou být pomocí odpovídajících hodnot parametrů  $\chi$ ,  $\alpha$ ,  $\delta$  vyjádřeny i v peněžních jednotkách; předpokladem je ovšem lineární růst finančních nákladů v závislosti na kilometrické vzdálenosti.

Vlastní rozhodnutí, zda je uzel  $i$  přiřazen k hubu  $j$  či nikoli, budou modelovat proměnné  $h_{ij}$ . Hodnota  $h_{ij} = 1$  tedy znamená, že uzel  $i$  je přiřazen k hubu  $j$ , jinak bude hodnota  $h_{ij} = 0$ .

Protože každý uzel  $k$ , který se stává hubem, je přiřazen sám sobě, hodnota  $h_{kk} = 1$  vyjadřuje, že uzel  $k$  je hub.

V základním tvaru úlohy bude počet hubů předem daný, označován bude jako  $p$ . Každý uzel bude pevně přiřazen právě jednomu hubu (prostá alokace); tzn. každá přeprava do / z tohoto uzlu bude realizována přes tento hub.

Vlastní matematická formulace úlohy je následující:

$$\text{Minimalizovat } \sum_i \sum_j b_{ij} \left( \sum_k \chi d_{ik} h_{ik} + \sum_k \sum_l \alpha d_{kl} h_{ik} h_{jl} + \sum_l \delta d_{jl} h_{jl} \right) \quad (1)$$

$$\text{Za podmíněk: } \sum_k h_{kk} = p \quad (2)$$

$$\sum_k h_{ik} = 1 \quad \text{pro } i \in V \quad (3)$$

$$h_{ik} \leq h_{kk} \quad \text{pro } i, k \in V \quad (4)$$

$$h_{ik} \in \{0, 1\} \quad \text{pro } i, k \in V \quad (5)$$

Účelová funkce (1) vyjadřuje celkové náklady (např. v tkm, pokud jsou přepravní proudy  $b_{ij}$  vyjádřeny v tunách a vzdálenosti  $d_{ij}$  v kilometrech). Podmínka (2) zajišťuje, že bude zvoleno právě  $p$  hubů, podmínka (3) garantuje, že každý uzel bude přiřazen právě jednomu hubu. Podmínka (4) zajišťuje, že veškeré zboží je přepravováno pouze prostřednictvím uzlů, které jsou huby (tzn. zakazuje přímé přepravy mezi uzly, které nejsou huby).

Ze souboru omezujících podmínek pak zmizí podmínka (2) a účelová funkce (1) pak bude vypadat následovně:  $\sum_i \sum_j b_{ij} \left( \sum_k \chi d_{ik} h_{ik} + \sum_k \sum_l \alpha d_{kl} h_{ik} h_{jl} + \sum_l \delta d_{jl} h_{jl} \right) + \sum_k h_{kk} f_k$ .

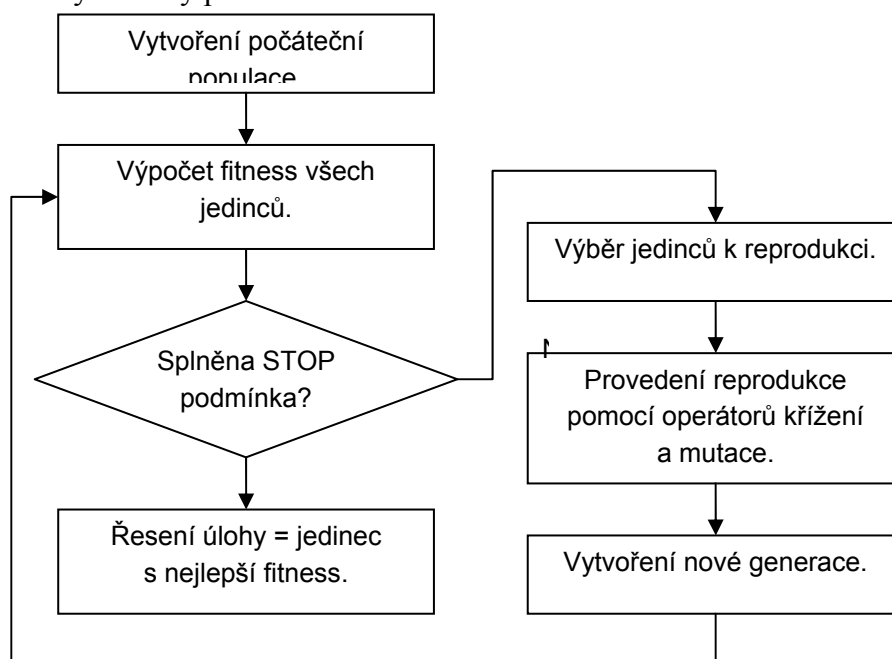
Formulovaná úloha patří mezi tzv. NP-těžké úlohy, tzn. její exaktní řešení je omezeno na úlohy velmi malého rozsahu. K řešení úloh lokace hubů se proto používají heuristické a metaheuristické metody založené na principu smíšeného celočíselného programování, teorie neuronových sítí, simulovaného žihání, Tabu Search či genetických algoritmů. Efektivita a správnost existujících metod bývá testována na standardních datových souborech CAB (Civil Aeronautics Board) a AP (Australian Post) - první z nich obsahuje data o přepravních tocích v osobní letecké přepravě mezi 25 největšími městy v USA, druhý pak data o poštovních přepravách mezi 200 australskými městy. Nejlepší existující metody umožňují v reálném čase vyhledat skutečně optimální řešení pro úlohy o rozměru do cca 50 uzlů, pro úlohy větších instancí je pak nutné vystačit s nějakým přijatelným (suboptimálním) řešením.

Protože pravděpodobně neexistuje žádný běžně dostupný software umožňující řešení formulované úlohy, bylo nutné takový software vytvořit. Software HubLoc pracuje na principu genetických algoritmů, pomocí kterých bývá dosahováno jedněch z nejlepších výsledků v oblasti problémů optimální lokace hubů.

Genetické algoritmy slouží k vyhledání suboptimálního řešení složitých kombinatorických úloh. Principem genetických algoritmů je simulace procesu evoluce v přírodě, která spočívá v:

- zakódování řešení úlohy ve tvaru tzv. chromozomu (stavebními prvky chromozomu jsou geny) a přiřazení fitness hodnoty (reprezentuje míru kvality řešení, tj. hodnotu účelové funkce) každému chromozomu,
- vytvoření počáteční populace (tj. množiny chromozomů),
- výběr jedinců k reprodukci (na základě jejich fitness hodnoty),
- proces reprodukce (pomocí operátorů křížení a mutace),
- vytvoření nové generace,
- opakování procesu simulované evoluce až do doby, dokud není dosaženo požadované hodnoty účelové funkce nebo předem definovaného počtu generací.

Schematicky lze celý proces znázornit následovně:



Zdroj: autoři

Obr. 2 - Princip genetického algoritmu

K řešení byly použity dva soubory údajů o velikosti primárních vozových proudů v počtech vozů (vozy ložené i prázdné) mezi obvodem odesílací uzlové železniční stanice (dále jen UŽST) a obvodem UŽST určený za období 1.1.2007 až 31.8.2007. V prvním případě se jednalo pouze o jednotlivé vozové zásilky přepravované Českými drahami prostřednictvím sítě vlakových stanic (dále jen datový soubor A). Kromě toho byly známy údaje o velikosti proudů vozů přepravovaných Českými drahami v ucelených vlacích mimo síť vlakových stanic za stejné období. Agregací dat z těchto souborů byl sestaven soubor obsahující údaje o celkové velikosti přepravních proudů, tedy jak o jednotlivých vozových zásilkách přepravovaných prostřednictvím sítě vlakových stanic, tak o zásilkách přepravovaných v ucelených vlacích (dále jen datový soubor B). Soubory dat obsahují údaje nejen o vnitrostátních přepravách, ale také o dovozu, vývozu a tranzitu, přičemž přeshraniční přepravy začínají resp. končí v obvodu UŽST, do kterého patří příslušná pohraniční přechodová stanice. Přepravní proudy z celého obvodu uzlových železničních stanic byly vždy soustředěny přímo do uzlové železniční stanice, jednalo se tedy o přepravní proudy mezi

50 uzly na železniční síti (z obvodu UŽST do obvodu UŽST). Přepravy uvnitř obvodu železniční stanice vyloučeny nebyly, celkem se tedy jednalo o 2 500 údajů. Data byla exportována z informačního systému CEVIS a poskytnuta generálním ředitelství ČD.

Získaná data nebyla pro řešení úlohy zcela ideální. Zcela korektní by bylo vycházet z primárních přepravních proudů neseskupených do jakýchkoli obvodů, které by vyjadřovaly skutečné přepravní požadavky a nebyly ovlivněné stávající vlakotvorbou. Stanic s výpravním oprávněním pro nákladní přepravu je však v České republice cca 1 050 (dle TR6), což je počet přesahující možnosti současných matematických metod a výpočetní techniky (výpočetní složitost kombinatorické úlohy, jakou je problém lokace hubů, roste exponenciálně s růstem instance úlohy). Proto se jeví jako nevyhnutelné data o přepravních prouděch v každém případě agregovat do menšího počtu obvodů („clusterů“). Rozdělení stanic do obvodů podle příslušnosti ke spádovým vlakotvorným stanicím by bylo příliš zatíženo platným plánem vlakotvorby, při rozdělení stanic do clusterů podle geografické polohy uzlů a vedení železničních tratí by byla extrakce dat z informačních systémů ČD velice pracná. Z těchto důvodů byly nakonec stanice seskupeny do obvodů podle příslušnosti k UŽST – toto členění celkem dobře respektuje geografickou polohu stanic i vedení tratí a také počet UŽST (tedy 50) je adekvátní. Nevýhodou toho, že množina uzlů, mezi kterými jsou známy velikosti přepravních proudů a do kterých budou umístovány vlakotvorné stanice (huby), je tvořena jednotlivými UŽST, je fakt, že existující vlakotvorné stanice ne vždy přesně odpovídají poloze příslušné UŽST. Tyto nepřesnosti v poloze se však pohybují v řádu několika málo kilometrů a jsou tudíž přijatelné. Několik menších vlakotvorných stanic (Sokolov, Neratovice, Veselí nad Lužnicí a Zábřeh na Moravě) dokonce vůbec nepatří mezi UŽST (po řadě patří do obvodů UŽST Karlovy Vary, Kralupy nad Vltavou, Tábor a Olomouc).

Potřebné vzdálenosti mezi uzlovými železničními stanicemi byly extrahovány z matice vzdáleností stanic a zastávek na železniční síti, kterou rovněž poskytlo generální ředitelství ČD.

### 3. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

Úloha byla řešena bez uvažování fixních nákladů na vybudování resp. provoz vlakotvorné stanice. Všechny uzly tak byly rovnocenné, existující vlakotvorné stanice ztratily svou výhodu nižších fixních nákladů. Úloha byla řešena variantně pro počty umístovaných vlakotvorných stanic 3 až 12. Získaná řešení tak představují dolní omezení účelové funkce pro jednotlivé počty umístovaných vlakotvorných stanic.

Přepravní proudy mezi jednotlivými UŽST byly uvažovány v počtech vozů. Hodnoty parametrů  $\chi$ ,  $\delta$  byly rovny 1, hodnota parametru  $\alpha$  byla položena 0,7 (pro srovnání byly provedeny výpočty i pro hodnotu  $\alpha = 0,6$ , přičemž bylo dosaženo obdobných výsledků). Uvažována byla prostá alokace, tj. každý uzel byl pevně přiřazen do atrakčního obvodu právě jedné vlakotvorné stanice. Experimentálně bylo ověřeno, že v případě násobné alokace uzlů k vlakotvorným stanicím se sice výsledná optimální poloha vlakotvorných stanic více či méně liší, nicméně kvalita řešení získaného na základě prosté alokace není od optima odpovídajícího násobné alokaci příliš vzdálena. Jinými slovy výsledky získané řešením úlohy prosté alokace budou představovat kvalitní řešení i v případě násobné alokace.



Dosažené výsledky řešení jsou shrnuty v tabulkách 1 a 2. V první tabulce jsou výsledky dosažené při kalkulaci s datovým souborem A, v druhé tabulce pak výsledky dosažené se souborem B. V tabulkách není provedena žádná korekce výstupů; vlakotvorné stanice jsou umísťovány přímo do odpovídající UŽST. V tabulkách je uvedena jak hodnota účelové funkce, tak přepočet skutečně najetých vozokilometrů (tedy pro hodnoty parametrů  $\chi = \delta = \alpha = 1$ ). V závorce ve třetím sloupci je uveden násobek hodnoty DT, což je suma vozových kilometrů ujetých v případě, že by byly všechny přepravy realizovány jako přímé (pro datový soubor A je hodnota DT = 207,28 mil. vozkm, pro datový soubor B je DT = 354,66 mil. vozkm).

Tab. 1 - Návrhy pro umístění hubů - datový soubor A (pouze zásilky přepravované prostřednictvím sítě vlakotvorných stanic), prostá alokace, bez fixních nákladů,  $\alpha = 0,7$ .

Počet hubů	Hodnota účelové funkce	Skutečně najeté mil. vozkm	UŽST vhodné pro umístění vlakotvorných stanic:
3	288,07	322,66 (1,56 DT)	Ostrava, Praha – Libeň, Přerov
4	270,00	304,80 (1,47 DT)	Kolín, Ostrava, Praha – Libeň., Přerov
5	248,80	295,44 (1,43 DT)	České Budějovice, Nymburk, Ostrava, Přerov, Ústí nad Labem
6	233,43	282,82 (1,36 DT)	České Budějovice, Kolín, Ostrava, Plzeň, Přerov, Ústí nad Labem
7	222,25	275,22 (1,33 DT)	Břeclav, České Budějovice, Kolín, Ostrava, Plzeň, Přerov, Ústí nad Labem
8	213,29	265,81 (1,28 DT)	Břeclav, České Budějovice, Jihlava, Nymburk, Ostrava, Plzeň, Přerov, Ústí nad Labem
9	204,97	259,54 (1,25 DT)	Břeclav, České Budějovice, Hradec Králové, Jihlava, Ostrava, Plzeň, Praha – Libeň, Přerov, Ústí nad Labem
10	198,74	254,45 (1,23 DT)	Břeclav, České Budějovice, Hradec Králové, Jihlava, Most, Ostrava, Plzeň, Praha – Libeň, Přerov, Ústí nad Labem
11	193,67	248,97 (1,20 DT)	Břeclav, České Budějovice, Hradec Králové, Jihlava, Most, Nymburk, Ostrava, Plzeň, Praha – Libeň, Přerov, Ústí nad Labem
12	188,99	245,72 (1,19 DT)	Břeclav, České Budějovice, Český Těšín, Hradec Králové, Jihlava, Most, Nymburk, Ostrava, Plzeň, Praha – Libeň, Přerov, Ústí nad Labem

Zdroj: autoři

Tab. 2 - Návrhy pro umístění hubů - datový soubor B (zásilky přepravované prostřednictvím vlakových stanic i zásilky přepravované ucelenými vlaky), prostá alokace, bez fixních nákladů,  $\alpha = 0,7$

Počet hubů:	Hodnota účelové funkce	Skutečně najeté vozkm mil.	UŽST vhodné pro umístění vlakových stanic:
3	475,18	529,86 (1,49 DT)	Bohumín, Kralupy nad Vltavou, Přerov
4	438,72	507,31 (1,43 DT)	Bohumín, Most, Nymburk, Přerov
5	408,94	485,86 (1,37 DT)	Bohumín, Most, Nymburk, Plzeň, Přerov
6	387,02	466,06 (1,31 DT)	Bohumín, České Budějovice, Most, Nymburk, Plzeň, Přerov
7	371,75	456,37 (1,29 DT)	Bohumín, Břeclav, České Budějovice, Most, Nymburk, Plzeň, Přerov
8	358,39	446,63 (1,26 DT)	Bohumín, České Budějovice, Most, Pardubice, Plzeň, Praha-Libeň, Přerov, Ústí nad Labem
9	343,12	436,95 (1,23 DT)	Bohumín, Břeclav, České Budějovice, Most, Pardubice, Plzeň, Praha-Libeň, Přerov, Ústí nad Labem
10	334,00	427,91 (1,21 DT)	Bohumín, Břeclav, České Budějovice, Jihlava, Most, Pardubice, Plzeň, Praha-Libeň, Přerov, Ústí nad Labem
11	325,06	421,58 (1,19 DT)	Bohumín, Břeclav, České Budějovice, Jihlava, Karlovy Vary, Most, Pardubice, Plzeň, Praha-Libeň, Přerov, Ústí nad Labem
12	316,80	415,18 (1,17 DT)	Břeclav, České Budějovice, Český Těšín, Jihlava, Karlovy Vary, Most, Ostrava, Pardubice, Plzeň, Praha-Libeň, Přerov, Ústí nad Labem

Zdroj: autoři

Na základě provedených výpočtů lze vytipovat vhodná umístění pro vlakové stanice. Vytvořený program HubLoc umožňuje hledat řešení i při zohlednění fixních nákladů na vybudování a provoz vlakové stanice. Výši těchto nákladů je dost obtížné stanovit; nicméně je lze ve stanicích, kde se nenachází potřebná infrastruktura pro provoz vlakové stanice, stanovit tak vysoké, že se program v podstatě omezuje na výběr pouze z existujících vlakových stanic. I bez uvažování fixních nákladů jsou však místa pro umístění vlakových stanic vytipována s ohledem na stávající infrastrukturu ve stanicích celkem racionálně. V jednotlivých případech lze přistoupit ke korekci výstupů při sledování vývoje (zhoršení) účelové funkce. V tabulce 1 by snad bylo vhodné nahradit v některých řešeních stanici Hradec Králové stanicí Pardubice (výhodnější poloha na 1. koridoru), v tabulce 2 pak stanici Bohumín stanicí Ostrava a stanici Karlovy Vary stanicí Sokolov.

Protože v datovém souboru B (tabulka 2) jsou obsaženy i zbožové proudy, které jsou dostatečně silné pro zavedení přímých ucelených vlaků, vycházejí další úvahy zejména z výstupů získaných na základě zpracování datového souboru A. Nicméně lze konstatovat, že zejména při vyšším počtu umístěvaných vlakových stanic se výstupy získané zpracováním obou datových souborů podobají.



Se zvyšujícím se počtem vlakových stanic sice klesá hodnota účelová funkce (najatých vozokilometrů), nicméně také slábne intenzita zátěžových proudů mezi vlakovými stanicemi a vzrůstá počet dálkových relací (mezi huby), které je třeba ve vlakových stanicích sestavovat. Při příliš malém počtu vlakových stanic jsou při modelovém způsobu přepravy zásilek (každá zásilka musí projít minimálně jedním a maximálně dvěma huby, přímé přepravy jsou vyloučeny) vysoké náklady na zajištění svozu zásilek do hubů a jejich rozvozu z hubů.

Jednotlivá řešení byla blíže rozebrána, přičemž byla sledována následující kritéria:

- dostatečná intenzita zátěžových proudů mezi vlakovými stanicemi (alespoň 20 vozů denně),
- přijatelný počet relací tvořených mezi vlakovými stanicemi,
- přijatelná průměrná velikost přepravní práce při zajišťování svozu zásilek do vlakových stanic a rozvozu z nich.

#### 4. ZÁVĚRY Z ANALÝZY VÝSTUPŮ

S přihlédnutím k uvedeným kritériím byla jako vhodné řešení vybrána varianta se 7 vlakovými stanicemi. Při tomto počtu a rozmístění vlakových stanic lze organizovat přepravu zboží po železnici prostřednictvím sítě vlakových stanic jako formulovaný model „Hub-and-Spoke“. Výstup z programu pro 7 hubů vypadá při zpracování datového souboru A následovně: Břeclav, České Budějovice, Kolín, Ostrava, Plzeň, Přerov, Ústí nad Labem. S přihlédnutím k existující infrastruktuře v některých stanicích byly provedeny následující korekce: Břeclav → Brno-Maloměřice, Kolín → Nymburk, Ústí nad Labem → Most. Kvalita účelové funkce se pro provedení této korekce zhoršila o 1,6 % (z 222,25 na 225,89). Vzhledem k poměrně vysoké frekvenci přeprav mezi navrhovanými vlakovými stanicemi je mezi nimi možné zavést systém přepravy kusových zásilek.

Tab. 3 - Navrhované rozmístění vlakových stanic při uplatňování technologie „Hub-and-Spoke“

Navrhovaná umístění vlakových stanic:

**Brno-Maloměřice, České Budějovice, Nymburk, Ostrava, Plzeň, Přerov, Most**

Zdroj: autoři

Tab. 4 - Atrakční obvody navrhovaných 7 vlakových stanic při pevné alokaci (v závorce vzdálenosti jednotlivých UŽST od přiřazené vlakové stanice)

<b>Brno-Maloměřice:</b> UŽST Brno hlavní nádraží (4), UŽST Brno-Maloměřice (0), UŽST Břeclav (66), UŽST Česká Třebová (90), UŽST Jihlava (111), UŽST Znojmo (96)
<b>České Budějovice:</b> UŽST České Budějovice (0), UŽST Strakonice (60), UŽST Tábor (66)
<b>Most:</b> UŽST Chomutov (23), UŽST Karlovy Vary (82), UŽST Louny (34), UŽST Lovosice (70), UŽST Most (0), UŽST Ústí nad Labem západ (48)
<b>Nymburk:</b> UŽST Benešov u Prahy (96), UŽST Česká Lípa (84), UŽST Děčín (117), UŽST Havlíčkův Brod (97), UŽST Hradec Králové (66), UŽST Kladno (85), UŽST Kolín (23), UŽST Kralupy nad Vltavou (61), UŽST Letohrad (128), UŽST Liberec (98), UŽST Mělník (48), UŽST Mladá Boleslav (30), UŽST Náchod (110), UŽST Nymburk (0), UŽST Pardubice (65), UŽST Praha hlavní nádraží (54), UŽST Praha-Libeň (50), UŽST Rumburk (129), UŽST Trutnov (135), UŽST Turnov (60)
<b>Ostrava:</b> UŽST Bohumín (18), UŽST Český Těšín (47), UŽST Opava východ (44), UŽST Ostrava hlavní nádraží (0)
<b>Plzeň:</b> UŽST Beroun (71), UŽST Cheb (106), UŽST Klatovy (48), UŽST Plzeň (0)
<b>Přerov:</b> UŽST Hanušovice (103), UŽST Hodonín (78), UŽST Olomouc (27), UŽST Otrokovice (26), UŽST Přerov (0), UŽST Valašské Meziříčí (55), UŽST Veselí nad Moravou (65)

Zdroj: autoři

Tab. 5 - Vzdálenosti mezi vlakovými stanicemi (v km)

vzdálenost v km	Brno-Maloměřice	České Budějovice	Most	Nymburk	Ostrava	Plzeň	Přerov
Brno-Maloměřice	0	243	374	215	181	372	86
České Budějovice	243	0	274	216	415	135	320
Most	374	274	0	159	494	145	399
Nymburk	215	216	159	0	335	168	240
Ostrava	181	415	494	335	0	492	95
Plzeň	372	135	145	168	492	0	397
Přerov	86	320	399	240	95	397	0

Zdroj: autoři

Tab. 6 - Denní velikosti zátěžových proudů mezi vlakovými stanicemi (v počtech vozů)

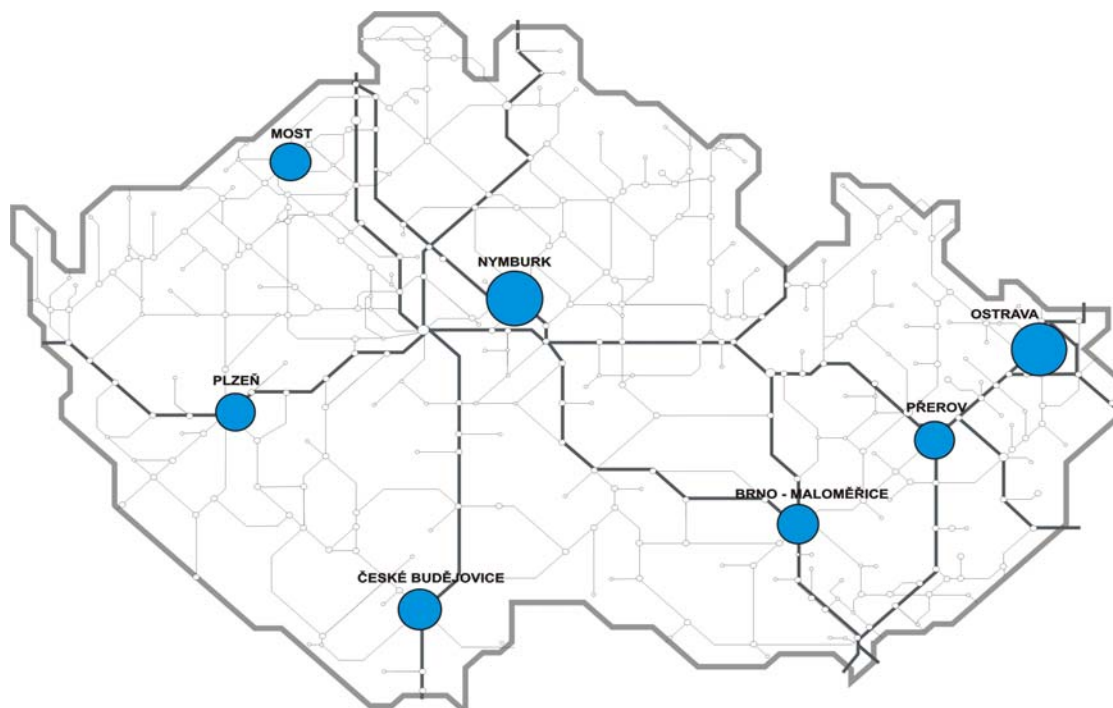
odkud\kam	Brno-Maloměřice	České Budějovice	Most	Nymburk	Ostrava	Plzeň	Přerov
Brno-Maloměřice	134	40	46	160	184	25	73
České Budějovice	34	159	55	56	35	40	26
Most	44	50	207	120	27	65	30
Nymburk	180	91	171	479	130	59	87
Ostrava	131	38	38	92	679	24	122
Plzeň	42	49	94	49	46	101	24
Přerov	70	24	40	99	157	23	160

Zdroj: autoři

Tab. 7 - Rozdělení výkonů mezi vlakovými stanicemi (procenta z celkového počtu přepravených vozů)

Brno-Maloměřice	České Budějovice	Most	Nymburk	Ostrava	Plzeň	Přerov
13 %	8 %	11 %	24 %	23 %	8 %	12 %

Zdroj: autoři



Zdroj: autoři

Obr. 3 - Umístění vlakových stanic

Při nižším počtu vlakových stanic jsou vzdálenosti pro svoz zásilek do hubů a jejich rozvoz z hubů poměrně vysoké. Tuto nevýhodu lze eliminovat zavedením systému pomocných seřadovacích stanic a povolením přímých přeprav mezi nimi, což je však organizace odlišná od uvažované technologie „Hub-and-Spoke“. Vhodná umístění pro menší počet vlakových stanic lze vytipovat z tabulek 5 a 6.

Po korekci umístění vlakových stanic s přihlédnutím k existující infrastruktuře lze vytipovat vhodná umístění menšího počtu hlavních vlakových stanic, která jsou uvedena v tabulce 8.

Tab. 8 - Vytipovaná umístění menšího počtu hlavních vlakových stanic při zavedení systému pomocných vlakových stanic

Počet hlavních vlakových stanic	Možná umístění vlakových stanic
3	Nymburk, Ostrava, Přerov
4	Most, Nymburk, Ostrava, Přerov
5	České Budějovice / Plzeň, Most, Nymburk, Ostrava, Přerov
6	České Budějovice, Most, Nymburk, Ostrava, Plzeň, Přerov

Zdroj: autoři

Při vyšším počtu vlakových stanic již klesá intenzita zátěžových proudů mezi některými vlakovými stanicemi pod hranici 20 vozů denně (pro 8 vlakových stanic je v případě pěti relací intenzita pod touto hranicí – při zpracování datového souboru A) a rostou nároky na výkonnost vlakových stanic (ve smyslu počtu vytvářených relací, absolutní počet zpracovaných vozů klesá), čímž se navrhovaná organizace „Hub-and-Spoke“ stává neefektivní.

## 5. ZÁVĚR

Prezentovaná optimalizace počtu a rozmístění CND je jedním z příkladů využití matematických metod v dopravě. Vzhledem k rozsáhlosti této problematiky jsou zde uvedeny jen hlavní body postupu optimalizace center nákladní dopravy. Existuje řada dalších hledisek, která by se do tohoto modelu dala zahrnout. To je ovšem předmětem dalšího postupu řešení dané problematiky.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Abdinnour-Helm, S., Venkataramanan, M. A. Solution Approaches to Hub Location Problems, *Annals of Operations Research* 78 (1998), Springer Netherlands, ISSN 1572-9338.
- [2] Alumur, S., Kara, B.Y. Network Hub Location Problems: the State of the Art, *European Journal of Operational Research* (přijato k otištění 2008), Elsevier, ISSN 0377-2217.

- [3] *Benchmarking Intermodal Freight Transport*, OECD Publishing, 10 Apr. 2002, 148 stran, ISBN: 9789264197428, [www.oecd.org/bookshop](http://www.oecd.org/bookshop).
- [4] Bruyninckx, E. Role of ports in the European Rail System, in *Transportweekly International #7 (14)*, 2006, *Transport & Logistics Journal*, Transport Information Center, str. 59-64, Registration No 000702290.
- [5] Caprara, A., Monaci, M., Toth, P., Guida, P., L. A Lagrangian Heuristic Algorithm for a Real-World Train Timetabling Problem, *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, Delft, The Netherlands, June 8-10, 2005, 20 stran, ISBN 90-9019596-3.
- [6] Cempírek, V. Nové možnosti kombinované dopravy, *Logistika*, č. 10/2006, ročník XII, měsíčník hospodářských novin, *Economia*, a.s., str. 32, ISSN 1211-0957.
- [7] Crainic, T. G., Long-Haul Freight Transportation, *Operations Research & Management Science - Handbook of Transportation Science (2003)*, Springer New York, ISSN 0884-8289
- [8] Černá, A., Černý, J. *Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech*, Institut Jana Pernera, o.p.s. 2004, 1. vydání, 159 stran, ISBN 80-86530-15-9.
- [9] Černý, J., Kluvánek, P. *Základy matematickej teórie dopravy*, Bratislava, Veda 1989, 279 stran, ISBN 80-224-0099-8.
- [10] Dopleit, M., Graf, N., Wehrmann, A. *Zukunftsperspektiven des Kombinierten Verkehrs*, SPD-Bundesstagfraktion, Berlin 2002, str. 102.
- [11] Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M. Efficient Algorithms for the Uncapacitated Single Allocation p-hub Median Problem, *Computers & Operations Research - Location Science 4 (1996)*, ISSN 0377-2217
- [12] Henke, M. *Freight Railways, Sustainable mobility for economy and society*, Verand Deutscher Verkehrsunternehmen VDV-Förderkreis e.V., Köln August 2002, 392 stran, ISBN 3-87094-652-0.
- [13] Holbach, M. *Perspektiven des kombinierten Ladungsverkehrs vor dem Hintergrund des deutschen Integrationsprozesses*, Frankfurt am Main 1995, 250 stran, ISBN 3-631-48309-0.
- [14] Horáček, P. *Fuzzy Modelling and Control*, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin, 1995.
- [15] Janáček, J. *Matematické programování*, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina 1999, 225 stran, ISBN 80-7100-573-8.
- [16] Janáček, J. *Optimalizace na dopravních sítích*, 2. prepracované vydanie, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina 2006, 248 stran, ISBN 80-8070-586-0.
- [17] Kasprzak, B. Lösung des *Containerstauproblems mit Graphensuchverfahren und genetischen Algorithmen*, Freie universität, Berlin 1997, 345 stran, ISBN 3-9805474-5-0.

- [18] Klincewicz, J.G. Enumeration and Search Procedures for a Hub Location Problem with Economies of Scale, *Annals of Operations Research 110* (2002), Springer Netherlands, ISSN 1572-9338.
- [19] Koníček, R. Aplikace logistických služeb na obchodní politiky ČD, a.s., In Sborník *LOGI 2006, 7. konference s mezinárodní účastí, "Externí poskytování logistických služeb"*, Hotel Technik Lázně Bohdaneč, 18.-19.4.2006, str. 83-88, ISBN 80-86530-30-2.
- [20] Kratica, J., Stanimirovic, Z., Tasic, D., Filipovic, V. Two Genetic Algorithms for Solving the Uncapacitated Single Allocation p-Hub Median Problem, *European Journal of Operational Research 182* (2006), Elsevier, ISSN 0377-2217.
- [21] Ortúzar, J. D., Willumsen, L. G. *Modelling Transport*, third Edition, Chichester, John Wiley & Sons, Ltd, 2001, str. 499, ISBN 978-0-471-86110-2.
- [22] Seidelmann, Ch. Combined transport: a future market for railways, *Freight railways sustainable mobility for economy and society*, VDV-Förderkreis e.V., Brüssel, srpen 2002, str. 180-193, ISBN 3-87094-652-0.
- [23] Topcuoglu, H., Corut, F., Ermis, M., Yilmaz, G. Solving the Uncapacitated Hub Location Problem Using Genetic Algorithms, *Computers & Operations Research 32* (2005), Elsevier, ISSN 0305-0548.
- [24] Tuzar, A. *Teorie dopravy*, skriptum, Univerzita Pardubice, Pardubice, 1996, ISBN 80-7194-039-9.

*Príspevek vznikl za podpory Institucionálneho výzkumu MSM 0021627505 „Teorie dopravních systémů“ Univerzity Pardubice.*

Recenzent: Ing. Jaroslav Matuška, Ph.D.  
Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra technologie a řízení dopravy