



# A Knee-Guided Evolutionary Algorithm for Multi-Objective Air Traffic Flow Management

Autori publikácie: Tong Guo; Yi Mei; Ke Tang; Wenbo Du

Zdroj: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10142158>

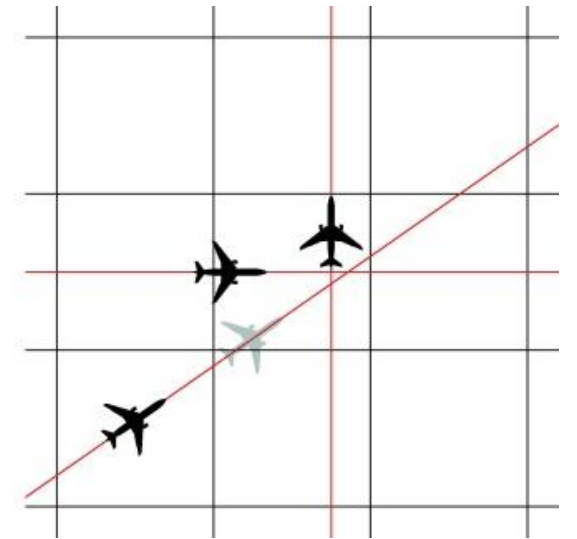
Lenka Sivčová, Michal Klima

# Definícia problému: Riadenie letovej prevádzky

## Air Traffic Flow Management (ATFM)

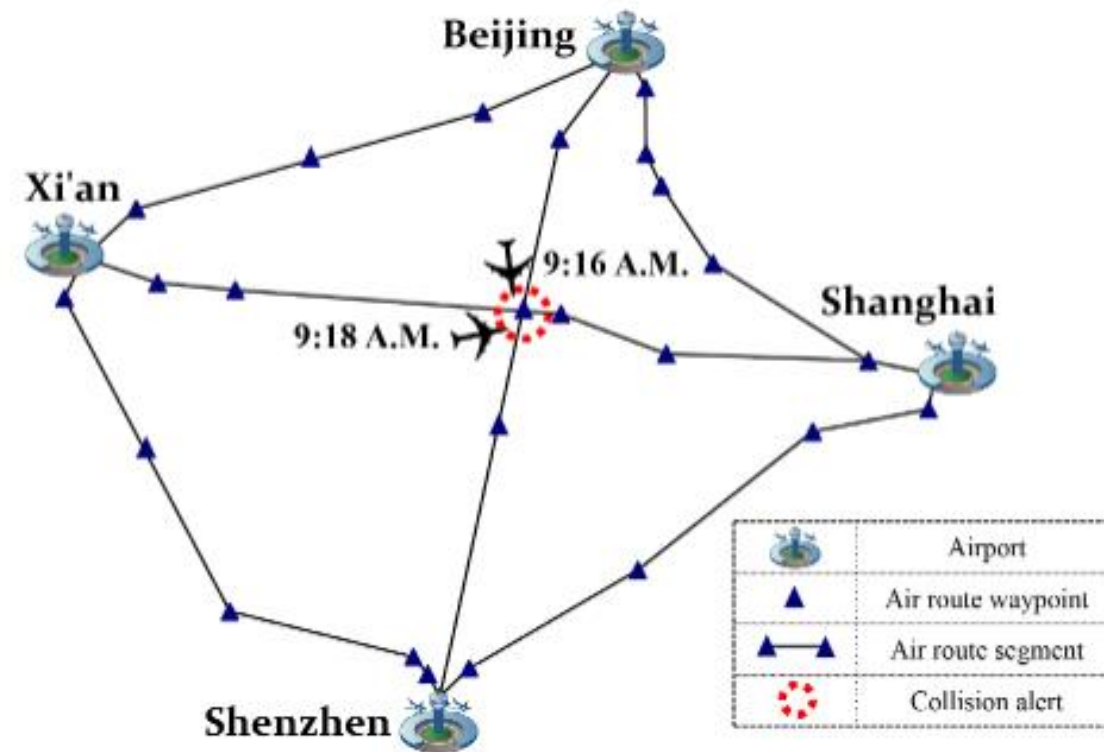
- riadenie vzdušného priestoru a plánovanie letov.

- Prudký nárast leteckej dopravy → preťaženie vzdušného priestoru.
- Preťaženie spôsobuje meškania, zvýšené náklady a bezpečnostné riziká.
- **Ciele ATFM:**
  - Znížiť oneskorenia
  - Predchádzať konfliktom (nebezpečné priblíženie lietadiel)
- ATFM je kľúčový pre bezpečnú a efektívnu leteckú dopravu.
- **Prístupy:**
  - Exaktné metódy (branch-and-bound, column-generation)
  - Heuristické metódy (simulované žíhanie, hill-climbing, evolučné algoritmy)
  - Väčšinou optimalizujú len odletový čas alebo trasu.



# Nový model problému s variabilnou rýchlosťou

- Predošlé modely: predpoklad fixnej rýchlosti letu = menej flexibility.
- Variabilná rýchlosť môže znížiť konflikty a meškania.
- Nový model: umožňuje zmenu rýchlosti na každom segmente letu.
- Rozhodnutia: čas odletu, trasa, rýchlosť.
- Optimalizácia 4D trajektórií: poloha + čas.

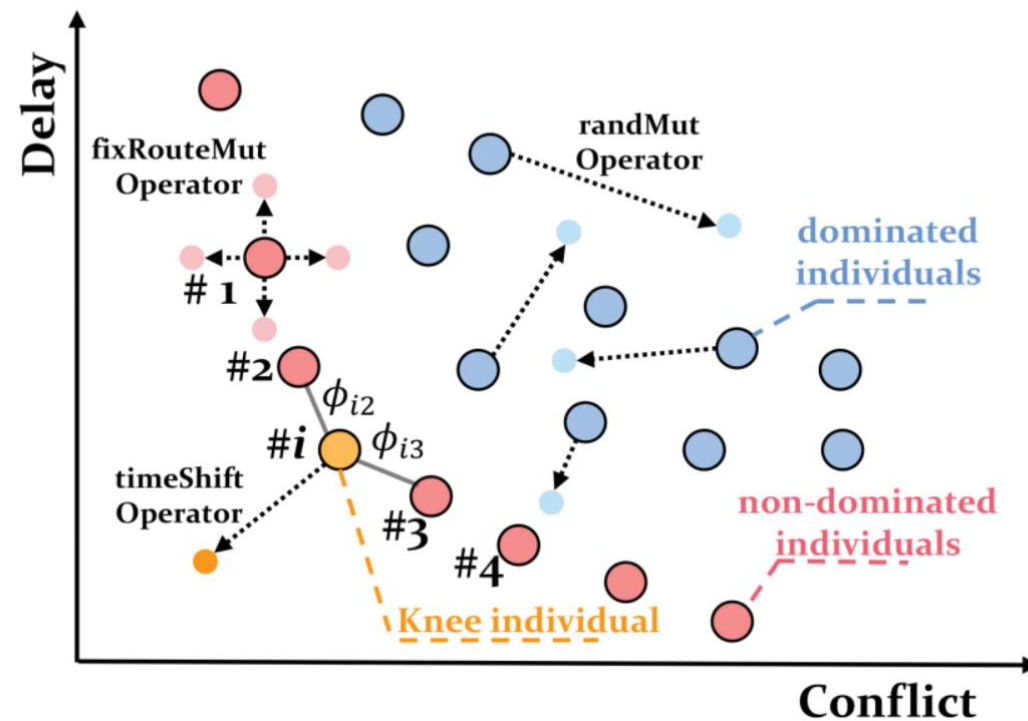


# Ciele optimalizácie

- NP-zložitý problém (náročné na výpočty pri veľkej letovej prevádzke)
- Viackriteriálna optimalizácia:
  - Minimalizovať celkové meškanie
  - Minimalizovať počet konfliktov
- Dodržiavanie kapacít letísk a leteckých sektorov, znížiť počet konfliktov a meškaní.
- Riešenie problému pomocou EA - špecifická reprezentácia jedinca a genetické operátory prispôsobené pre daný problém

# Knee-Guided Evolutionary Algorithm (KnGEA)

- Populácia rozdelená na:
  - knee jedinec
  - nedominované jedince
  - dominované jedince
- Knee point - riešenie v paretovom fronte, kde malé zlepšenie jedného cieľa spôsobí výrazné zhoršenie druhého
- Binárny turnaj
- Zlepšenie jedinca pomocou time shift operátora
- Hybridné operátory: kríženie, mutácia



# Schéma algoritmu KnGEA

## KnGEA algoritmus

Inicializácia populácie

Ohodnotenie jedincov, nedominované zotriedenie

Evolučný cyklus (opakovanie do max generácií)

Výber rodičov - binárny turnaj

Generovanie potomkov krížením

Rozdelenie populácie na 3 časti (knee clustering)

Zlepšenie knee jedinca (Time shift operátor)

Mutácia:

- nedominovaný - fixed route mutácia
- dominovaní - polynomiálna mutácia

Spojenie mutovanej a aktuálnej populácie

Nedominované zotriedenie

Výber p najlepších jedincov pre ďalšiu generáciu,  $p$  = veľkosť populácie

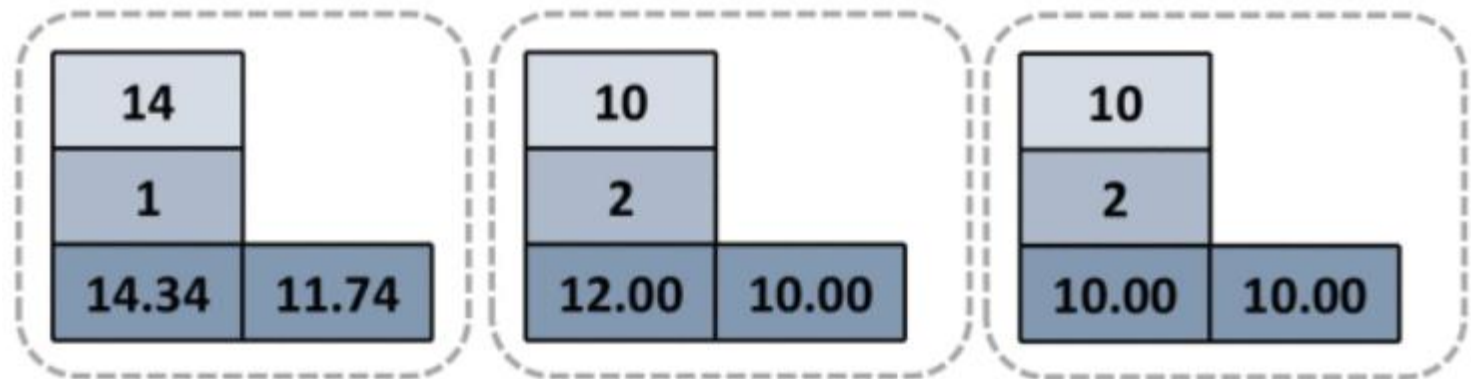
Koniec: vrátenie konečných nedominovaných riešení

# Reprezentácia riešení

$$S = \langle t, r, V \rangle$$

3 časti riešenia:

- Časy odletov - **t** (n - dimenzionálny vektor, n=počet letov)
- Trasy letov - výber z preddefinovaných trás - **r** (n - dimenzionálny vektor)
- Segmentové rýchlosti - špecifikované rýchlosti pre každý úsek trasy - **V** (vektor vektorov)





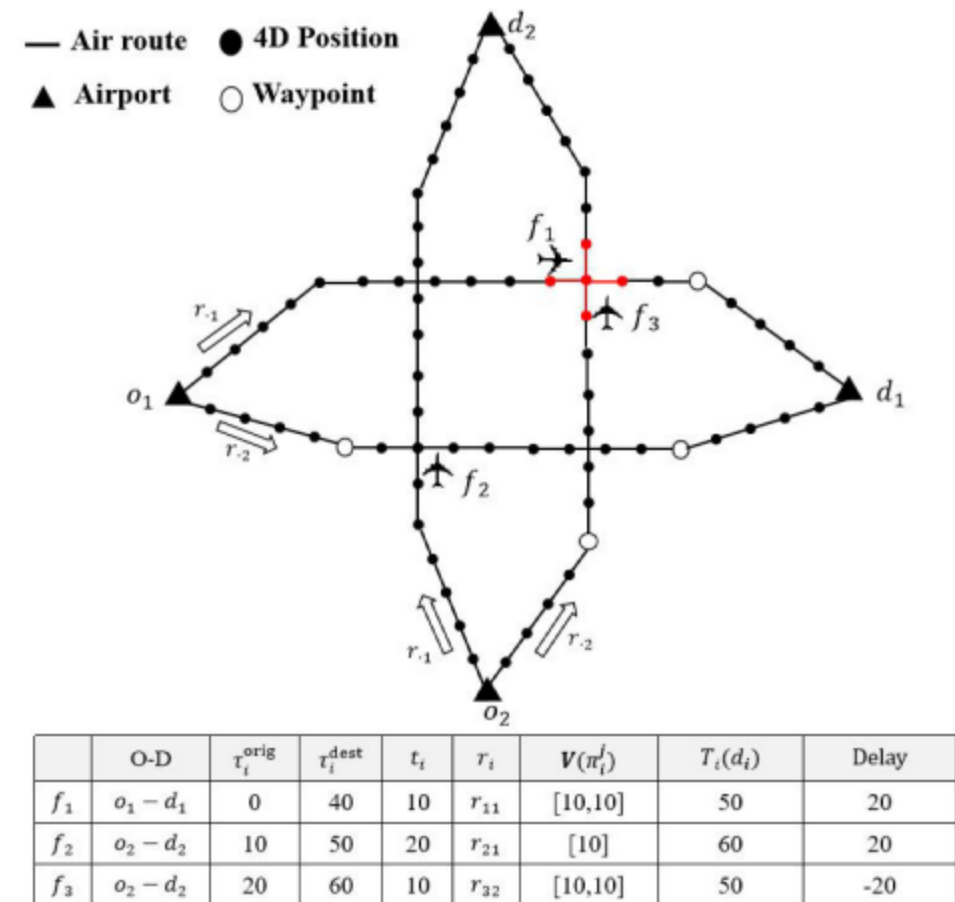
# Funkcia vhodnosti a inicializácia populácie

## Inicializácia populácie

- Náhodné generovanie jedincov

## Funkcia vhodnosti

- Dva cieľové ukazovatele:
  - **TFD** – Total Flight Delay (súčet všetkých meškaní).
  - **TNC** – Total Number of Conflicts (počet konfliktov).
- Ciele: minimalizovať TFD aj TNC súčasne.
- Výsledok: Každý jedinec má dve hodnoty vhodnosti (viackriteriálna optimalizácia).





# Operátory v KnGEA

- **Hybridný crossover:**

- Rovnaká trasa - výmena informácií medzi dvoma vektormi rýchlosti a medzi časmi - SBX (simulated binary crossover)
- Rôzna trasa - výmena trasy, času a celého vektora rýchlosti medzi rodičmi

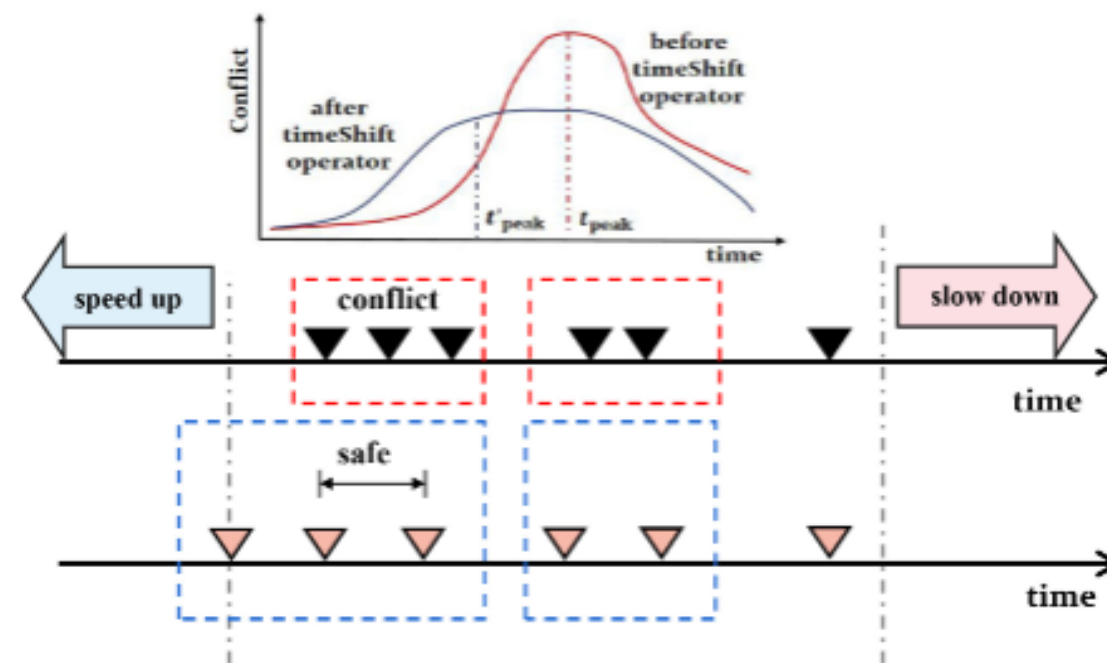
- **Mutácia:**

- Nedominované jedince - mutovaný čas a rýchlosti - exploatácia
- Dominované jedince - mutované všetky časti náhodne - explorácia



# Time Shift operácia

- Aplikuje sa na **knee jedinca** (najlepší kompromis).
- Posúva časy príchodu lietadiel na body trasy:
  - Urýchli alebo spomalí lietadlo, aby sa znížili konflikty.
- Zohľadňuje bezpečnostné intervaly medzi letmi
- Cieľ: **znížiť konflikty bez veľkého zvýšenia meškaní.**

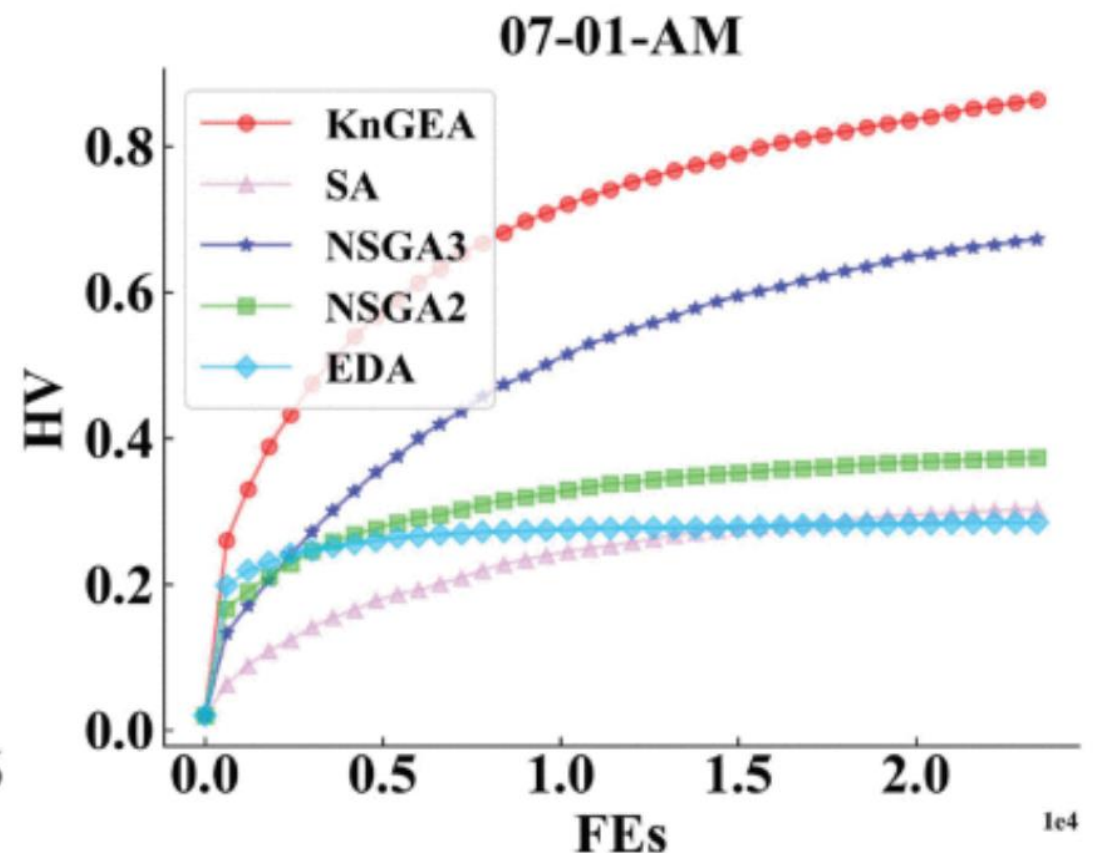
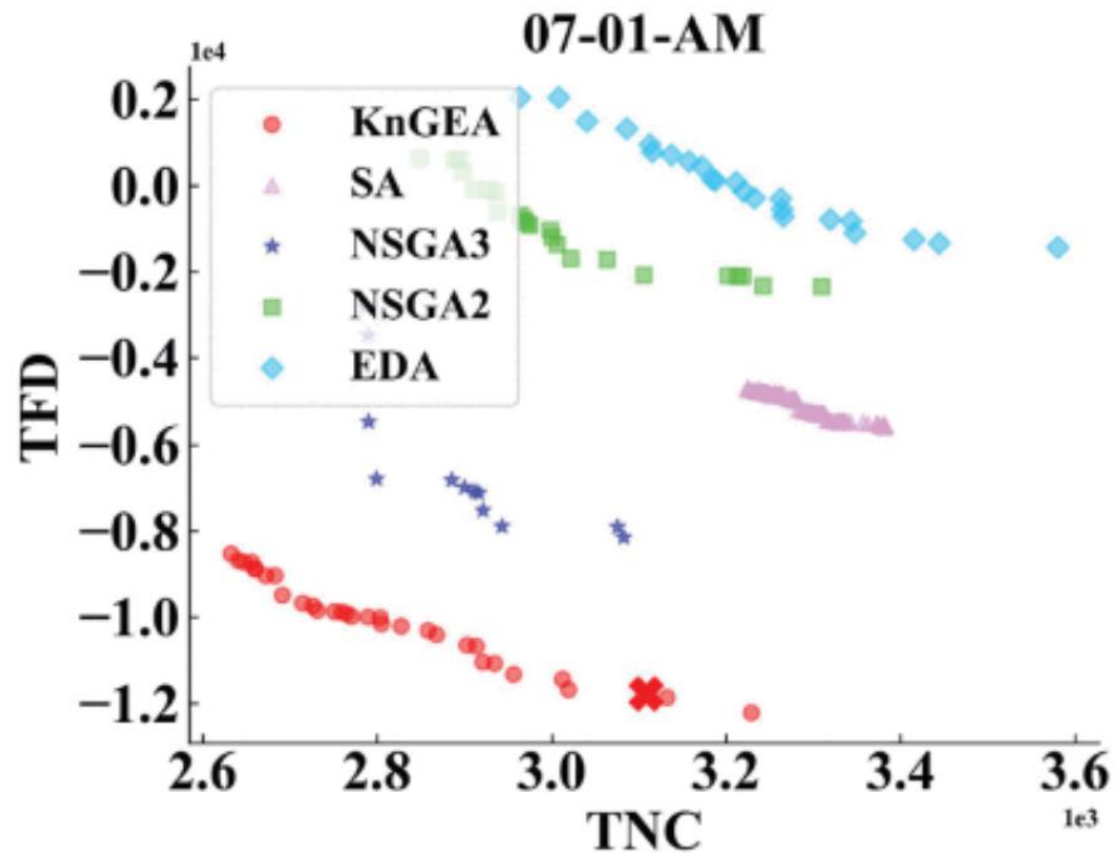


# Experimenty a výsledky

- Dáta: reálne údaje o letovej prevádzke v Číne
- konflikty znížené o 36 %
- meškania znížené o 32 687 minút
- KnGEA lepší ako 4 algoritmy: NSGA-II, NSGA-III, EDA, SA
- Najlepší hyperobjem (HV)
- Lepšia rovnováha medzi cieľmi (TFD, TNC)

| Name            | Description                                      | Value |
|-----------------|--------------------------------------------------|-------|
| <i>popsiz</i> e | Population size                                  | 100   |
| <i>FES</i>      | Number of fitness evaluations                    | 2.4e4 |
| $\theta_c$      | Crossover rate                                   | 0.5   |
| $\theta_m$      | Mutation rate                                    | 0.2   |
| $\Delta\tau$    | Range of the noise of departure time in mutation | 6     |

# Porovnanie s realitou a inými metódami



# Záver

- Nový model ATFM umožňuje variabilnú rýchlosť letu, čím sa zvyšuje bezpečnosť a efektívnosť letov
- Využitie knee-pointu v optimalizácii viedlo k rýchlejšej konvergencii a lepšiemu pokrytiu kompromisných riešení
- Špeciálne operátory (kríženie, mutácia, time shift) sú kľúčové pre evolučný algoritmus KnGEA