

WP 1.E Průmyslové odpady

Dílčí výzkumná zpráva

Model dopravy odpadů – tvorba cenového modelu

Kolektiv autorů:

Ing. David Poul

Ing. Jaroslav Pluskal

doc. Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

Řešitelské pracoviště:

Ústav procesního inženýrství, VUT v Brně

OBSAH

1	Úvod	3
2	Vstupní a výstupní hodnoty.....	4
2.1	Vstupní hodnoty	4
2.2	Výstupní hodnoty	4
3	Předpoklady.....	5
4	Vybrané systémy dopravy	6
4.1	Systém 1 – 2x kontejner 30 m ³ otevřený	6
4.2	Systém 2 – sklápěč 3 nápravy	7
4.3	Systém 3 – sklápěč 4 nápravy	8
4.4	Systém 4 – tahač + sklápěcí návěs 3 nápravy	9
4.5	Systém 5 – tahač + sklápěcí návěs 2 nápravy	10
5	Hmotnostní limity dané legislativou	11
6	Data pro vytvoření cenové funkce	12
6.1	Sypná hmotnost	12
6.2	Hmotnost za rok	13
6.3	Cena 1 litru paliva	13
6.4	Mzdové náklady na řidiče.....	13
6.5	Vliv parametrů na náklady na 1 tunu	13
7	Vstupující parametry	15
7.1	Vstupní tabulky.....	15
7.2	Vstupní proměnné.....	15
8	Výstupní hodnoty – výpočet.....	17
8.1	Ložená hmotnost.....	17
8.2	Počet cyklů za rok	19
8.3	Teoretické vytížení systému	19
8.4	Roční nájezd	19
8.5	Náklady na 1 tunu.....	19
9	Referenční příklady.....	21

1 ÚVOD

Předkládaná zpráva popisuje stanovení dopravních nákladů pro silniční dopravu, respektive zjednodušení technicko-ekonomického (TE) modelu silniční dopravy tak, aby bylo snadné ho integrovat do dalších aplikací. Děje se tak na základě empiricky stanovených rovnic a přidružených výpočtů, které vycházejí z dat vygenerovaných TE modelem silniční dopravy a následně matematicky zpracovaných.

Důležitým předpokladem výsledného zjednodušeného modelu silniční dopravy je, že řada parametrů byla uvažována jako konstanta. Do TE modelu silniční dopravy vstupují řada parametrů, které podléhají odborné znalosti nebo řešerši problematiky a mohou se na základě toho měnit. Pro zjednodušený model silniční dopravy bylo uvažováno s předpokladem, že ho budou využívat i uživatelé, kteří v dané problematice mají minimální znalosti. Z toho důvodu byla řada parametrů vstupujících do modelu uvažována jako konstanta, např. životnost či cena pneumatik, čas nakládky apod. Cenové údaje byly vztaženy k 06/2022, např. cena STK, režijní a správní mzdové náklady apod.

Naopak parametry, které mohou mít výrazný vliv na výsledné náklady a uživatel je schopný je sám zadat bez hlubší řešerše, jsou uvažovány jako vstupní parametry zjednodušeného TE modelu silniční dopravy. Jedná se především o cenu za 1 litr paliva, mzdové náklady na řidiče či uvažovanou sypnou hmotnost přepravovaného materiálu (odpadu).

2 VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ HODNOTY

2.1 Vstupní hodnoty

Výchozí bod	výběr ORP
Cílový bod	výběr ORP
Typ jízdní soupravy	výběr z předem definovaných systémů dopravy
Průměrná rychlost	na základě vybrané dvojice ORP, vypočteno z TE modelu silniční dopravy, hodnota se pohybuje v intervalu 33 – 80 km/h
Komodita	výběr komodity
Sypná hmotnost	konstanta na základě komodity, případná editace sypné hmotnosti <100 – 1 900> kg/m ³
Hmotnost za rok	konstanta na základě VISOH, popř. editace a zadání vlastního množství, kt/rok
Cena 1 litru paliva	<30 – 60> Kč/l
Mzdové náklady na řidiče	<30 000 – 70 000> Kč/měsíc

2.2 Výstupní hodnoty

Ložená hmotnost	hmotnost přepravovaného materiálu (odpadu) při jednom cyklu dopravy [t]
Počet cyklů za rok	potřebný počet cyklů pro odvezení požadovaného množství materiálu za rok [ks]
Teoretické vytížení systému	vytížení systému dopravy s ohledem na fond pracovní doby [%]
Roční nájezd	roční nájezd vztažený na potřebný počet cyklů za rok [km]
Náklady na 1 tunu	výsledné náklady na odvoz 1 tuny materiálu [Kč/t]

3 PŘEDPOKLADY

Dopravní společnost vytíží systém dopravy na 100 % – uvažováno teoretické vytížení systému dopravy pro výsledné výstupní hodnoty. Pro danou dopravu zvoleného materiálu o uvažovaném množství za rok bude systém dopravy (např. jízdní souprava) vytížen např. z 35 %. Předpoklad je, že dopravní společnost, která provozuje daný systém, vytíží zbylých 65 % na jiných dopravních výkonech a celý systém tak bude plně vytížen, tedy, celkové náklady na jeho provoz se rozpočítají mezi všechny dopravní výkony dle teoretického vytížení systému dopravy. Pokud by k tomu nedošlo, vliv fixních nákladů na výslednou cenu by byl výrazně vyšší.

Důležitým předpokladem využití dále uváděných rovnic a výpočtů je skutečnost, že vycházejí z dat vygenerovaných TE modelem silniční dopravy, který zahrnuje vysoký počet proměnných parametrů. Parametry, které výrazně ovlivňují výsledné náklady na 1 tunu a u kterých je i nezkušený uživatel, který se v dané problematice orientuje minimálně, schopný je zadat, byly zvoleny jako vstupující parametry pro výsledný zjednodušený model. Jedná se např. o cenu 1 litru paliva či mzdové náklady na řidiče. Ostatní parametry byly zadány jako konstanta, např. životnost pneumatik, zvažovaná úroková míra, průměrné rychlosti na dopravní cestě apod. Pokud se jednalo o cenový údaj, cena byla vztažena k 06/2022, např. cena STK, pořizovací náklady na pneumatiky, režijní či správní mzdové náklady apod.

V případě životnosti hlavních částí systémů dopravy byly uvažovány následující životnosti:

- | | |
|-------------------------------|-------|
| – tahač/automobilový podvozek | 6 let |
| – návěs/přívěs | 8 let |
| – kontejner | 8 let |

V případě meziročních nárůstů cen nebyly reflektovány extrémní hodnoty inflace v roce 2022, byly uvažovány běžnější hodnoty s předpokladem, že v následujících letech dojde k poklesu inflace. Uvažovaná meziroční nárůsty jsou následující:

- | | |
|--|-------|
| – meziroční nárůst příjmů | 3,5 % |
| – meziroční nárůst výdajů | 3,0 % |
| – meziroční nárůst mezd | 4,5 % |
| – meziroční nárůst investičních výdajů | 1,0 % |

4 VYBRANÉ SYSTÉMY DOPRAVY

4.1 Systém 1 – 2x kontejner 30 m³ otevřený

- DAF CF 300 FAT 6X4 4.05
- Kontejnerový podvalník TCHP-24 ROLLO vozíčkové
- ACTS OC (otevřený valníkový kontejner) 30 m³

Systém dopravy 1, který vyžívá výměnných kontejnerů, není zpravidla využíván pro dopravu těžkých materiálů a slouží především pro dopravu lehčích materiálů jako jsou odpady, případně kovový šrot.

- Hmotnost prázdného podvozku + kontejner: 11,7 t
- Hmotnost prázdného přívěsu + kontejner: 6,7 t
- Hmotnost prázdného systému – celek: 18,4 t
- Maximální ložený objem kontejneru: 30 m³
- Maximální ložený objem – celek: 60 m³
- Maximální ložená hmotnost – celek: 28,6 t ^{*)}

**) Ložená hmotnost v kontejneru je uvažována stejná jak pro podvozek, tak pro přívěs, reálně se ale může lišit.*



Obr. 1 Systém 1 – 2x kontejner 30 m³ otevřený

Systém 2 – sklápěč 3 nápravy

- DAF CF 370 FAT 6x4 Construction
- Meiller Kipper H330 12 m³ (3-náprava)
- Hmotnost prázdného systému: 11,9 t
- Maximální ložený objem: 12 m³
- Maximální ložená hmotnost: 14,1 t



Obr. 2 Systém 2 – sklápěč 3 nápravy

Systém 3 – sklápěč 4 nápravy

- DAF CF 370 FAD 8x4 Construction
- Schwarzmüller sklápěcí nástavba 17 m³ ocel (4-náprava)
- Hmotnost prázdného systému: 13,8 t
- Maximální ložený objem: 17 m³
- Maximální ložená hmotnost: 18,2 t



Obr. 3 Systém 3 – sklápěč 4 nápravy

Systém 4 – tahač + sklápěcí návěs 3 nápravy

- Volvo FH 16 4x2
- Schwarzmüller sklápěcí návěs ocel 23,5 m³ (3- náprava)
- Hmotnost prázdného systému: 13,1 t
- Maximální ložený objem: 23,5 m³
- Maximální ložená hmotnost: 34,9 t



Obr. 4 Systém 4 – tahač + sklápěcí návěs 3 nápravy

Systém 5 – tahač + sklápěcí návěs 2 nápravy

- Volvo FH 16 4x2
- Schwarzmüller sklápěcí návěs ocel 20,5 m³ (2-náprava) – rozvor 1,81 m
- Hmotnost prázdného systému: 12,7 t
- Maximální ložený objem: 20,5 m³
- Maximální ložená hmotnost: 35,3 t

Při rozvoru náprav větším než 1,8 m se dle legislativy považují nápravy jako samostatné. Je tedy pro ně dáno vyšší možné zatížení (10 t/náprava místo 9 t/náprava).



Obr. 5 Systém 5 – tahač + sklápěcí návěs 2 nápravy

5 HMOTNOSTNÍ LIMITY DANÉ LEGISLATIVOU

Pro jízdní soupravu (např. tahač a návěs nebo automobilový podvozek a přívěs) platí zákonem daný hmotnostní limit 48 t s přípustnou 3 % odchylkou pro případné nečistoty na voze, jako je bláto, sněh či jiné znečištění. Pro jednotlivá motorová a přípojná vozidla platí následující limity dané zákonem¹:

Tab. 1 Hmotnostní limity motorových a přípojných vozidel

Typ vozidla/zařízení	Limitní hmotnost [t]
Návěs – rozvor náprav do 1,8 m	9 t/náprava
Návěs – rozvor náprav nad 1,8 m	10 t/náprava
Přívěs – 2 nápravy	18
Přívěs – 3 nápravy	24
Přívěs – 4 nápravy	32
Motorové vozidlo – 2 nápravy	18
Motorové vozidlo – 3 nápravy	26
Motorové vozidlo – 4 a více náprav	32
Točnice tahače	12 (může se lišit)
Jízdní souprava	48

U návěsu zpravidla dochází ke sčítání hmotností pro nápravy (27 t) a točnice tahače (12 t). Nejčastěji je tak uváděno technické zatížení návěsu 39 t.

¹ [209/2018 Sb. Vyhláška o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel \(zakonyprolidi.cz\)](#)

6 DATA PRO VYTVOŘENÍ CENOVÉ FUNKCE

Pro vytvoření cenové funkce bylo zapotřebí získat relevantní data, která budou reprezentovat tvorbu/změnu ceny na základě změn vstupních parametrů. Vstupní hodnoty uvedené v kapitole 2, které se zadávají v uživatelském rozhraní, byly v průběhu výpočtu modifikovány a optimalizovány tak, aby bylo dosaženo požadované přesnosti výsledné funkce, tzn. ne všechny parametry mají přímou závislost na výsledné funkci, např. průměrná rychlost. Pro výpočet tak byly zvoleny následující parametry a jejich hodnoty:

Výchozí a cílový bod	dvojice bodů (ORP)
Typ systému dopravy	výběr z předem definovaných jízdních souprav
Sypná hmotnost	100 kg/m ³
Hmotnost za rok	1 kt/rok
Cena 1 litru paliva	<30, 60>
Mzdové náklady na řidiče	<30 000, 70 000>

6.1 Sypná hmotnost

Sypná hmotnost má vliv na výslednou cenu, avšak není zapotřebí ji uvažovat v každém kroku výpočtu. Pro všechny kombinace výchozích a cílových bodů, typu systému dopravy a hmotnosti za rok má stejný vliv. Na základě toho tak byla vytvořena závislost, která určuje její vliv na výslednou cenu za 1 tunu, viz kapitola 8.5.

Pro každý typ soupravy byl proveden výpočet, kdy pro danou sypnou hmotnost byly stanoveny náklady na 1 tunu. Uvažovaný interval byl od 100 kg/m³ do 1 750 kg/m³.

Optimální sypná hmotnost nastane v momentě, kdy ložený objem dosáhne maximálního objemu kontejneru/nástavby a současně budou dosaženy max. hmotnostní limity dané legislativou viz tab. 1. Optimální hodnoty sypné hmotnosti pro jednotlivé typy souprav uvádí tab. 2. Při zvyšování sypné hmotnosti nad tyto hodnoty, nedochází k nárůstu nákladů na 1 tunu, pokud je zachován předpoklad, že systém dopravy je plně využit dopravcem i pro jiné účely – při zvyšování sypné hmotnosti nad optimální hodnoty je ložená hmotnost maximální, díky čemuž se nemění počet cyklů pro zajištění odvozu požadovaného množství za rok. Dochází ale k omezení loženého objemu, který ale v aktuální koncepci zadání (na základě hmotnosti za rok) nemá vliv.

Tab. 2 Optimální hodnoty sypné hmotnosti pro jednotlivé typy souprav

Typ systému dopravy	Sypná hmotnost [kg/m ³]
Systém 1	465
Systém 2	1 175
Systém 3	1 070
Systém 4	1 470
Systém 5	1 685

6.2 Hmotnost za rok

Stanovená hmotnost za rok má minimální vliv na přesnost výpočtu, pro výpočty tak byla uvažována hodnota 1 kt/rok. Při zvýšení dopravované hmotnosti za rok dojde k lehkému ovlivnění nákladů na 1 tunu, rozdíl je však minimální a zanedbatelný – povětšinou se jedná o rozdíl v halířích, maximálně v nižších jednotkách korun (rozdíl <1 %). Z toho důvodu nebylo dále uvažováno se zpřesňováním výsledných nákladů na 1 tunu v závislosti na dopravované hmotnosti za rok. Přepočítaná hmotnost za rok se využije při výpočtu celkových ročních nákladů na přepravu a výpočtu celkového počtu jízd a případně také emisí.

6.3 Cena 1 litru paliva

Cena paliva má vliv na výslednou funkci, proto je uvažována jako jeden z klíčových parametrů. Závislost na ceně paliva se projevuje lineárně, z toho důvodu je možno uvažovat pouze krajní hodnoty zvoleného intervalu, v tomto případě 30 Kč/l a 60 Kč/l.

6.4 Mzdové náklady na řidiče

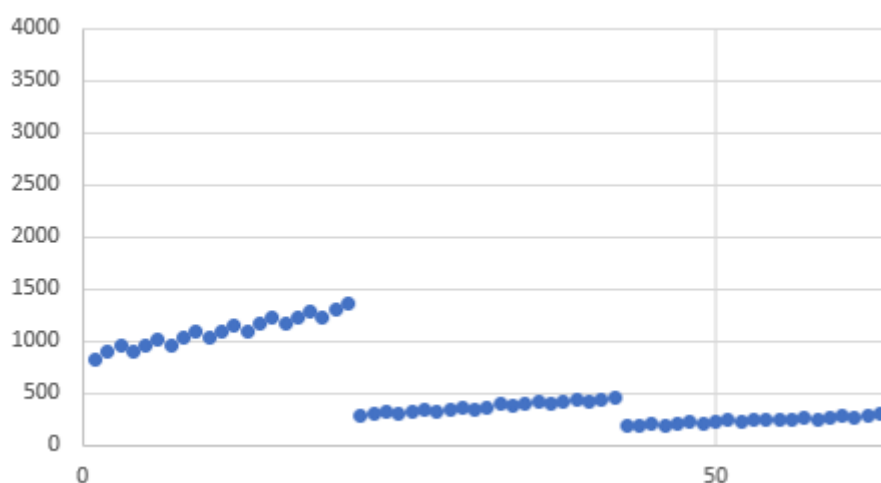
Mzdové náklady na řidiče mají opět vliv na výslednou funkci, stejně jako cena paliva. Závislost na mzdě řidiče se opět projevuje lineárně, z toho důvodu je možno uvažovat pouze krajní hodnoty zvoleného intervalu, v tomto případě 30 000 Kč/měsíc a 70 000 Kč/měsíc. Vychází z průměrné mzdy (např. <https://www.mpsv.cz/web/cz/jihomoravsky-kraj>), která je zvýšena o nezbytné odvody.

Ostatní mzdové náklady, správní a provozní režie, byly uvažovány jako konstanta.

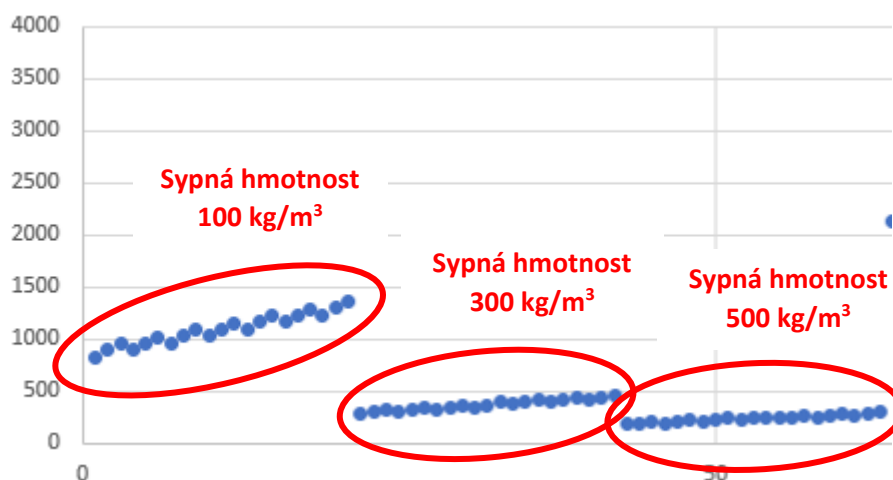
6.5 Vliv parametrů na náklady na 1 tunu

Byl proveden opakovaný výpočet ceny za dopravu pro různé kombinace výše uvedených vstupních parametrů.

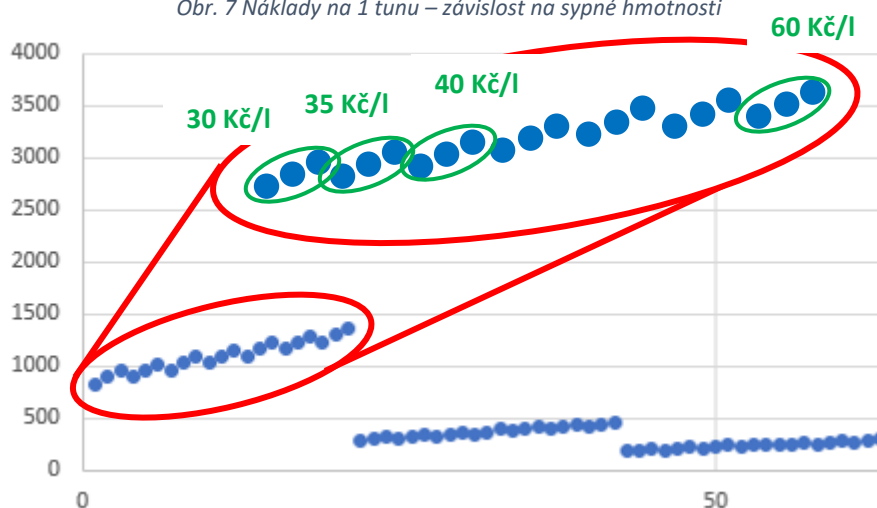
Na obr. 6 je vidět průběh závislosti nákladů na 1 tunu na sypané hmotnosti, ceně paliva a mzdových nákladech pro jednu lokalitu. Na dalších obrázcích je rozebrán vliv jednotlivých parametrů na výsledné náklady na 1 tunu. Osa X udává počet záznamů, osa Y náklady na 1 tunu [Kč/t].



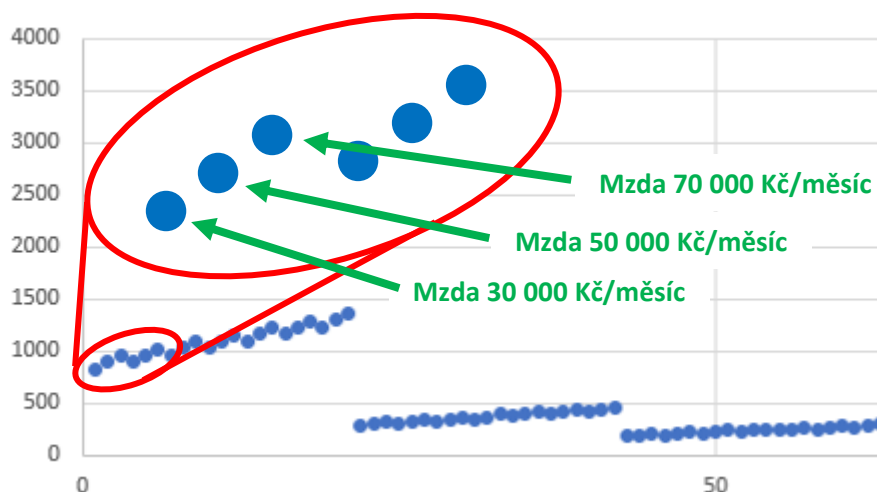
Obr. 6 Průběh nákladů na 1 tunu v závislosti na sypané hmotnosti, ceně paliva a mzdových nákladech na řidiče pro jednu lokalitu



Obr. 7 Náklady na 1 tunu – závislost na sypné hmotnosti



Obr. 8 Náklady na 1 tunu – závislost na ceně paliva



Obr. 9 Náklady na 1 tunu – závislost na mzdových nákladech na řidiče

7 VSTUPUJÍCÍ PARAMETRY

7.1 Vstupní tabulky

dopravniNakladySystem1 – dopravní náklady pro Systém dopravy 1

dopravniNakladySystem2 – dopravní náklady pro Systém dopravy 2

dopravniNakladySystem3 – dopravní náklady pro Systém dopravy 3

dopravniNakladySystem4 – dopravní náklady pro Systém dopravy 4

dopravniNakladySystem5 – dopravní náklady pro Systém dopravy 5

sypnaHmotnostKoeficientSystem1 – koeficient sypné hmotnosti pro Systém dopravy 1

sypnaHmotnostKoeficientSystem2 – koeficient sypné hmotnosti pro Systém dopravy 2

sypnaHmotnostKoeficientSystem3 – koeficient sypné hmotnosti pro Systém dopravy 3

sypnaHmotnostKoeficientSystem4 – koeficient sypné hmotnosti pro Systém dopravy 4

sypnaHmotnostKoeficientSystem5 – koeficient sypné hmotnosti pro Systém dopravy 5

ORPbodyData – základní údaje pro výběr a zobrazení bodů ORP

ORPvzdalenostCasData – vzdálenost v jednom směru a čas celého cyklu pro jednotlivé dvojice ORP
a systémy dopravy

7.2 Vstupní proměnné

start – počáteční ORP

end – cílové ORP

typSystem – výběr systému dopravy

cenaPaliva – cena paliva [Kč/l]

mzda – mzda řidiče [Kč/měsíc]

sypnaHmotnost – sypná hmotnost [kg/m³]

hmotnostZaRok – dopravovaná hmotnost za rok [kt/rok]

pracovniDnyVtydnu – počet pracovních dnů v týdnu [-]

pracovniTydnyVroce – počet pracovních týdnů v roce [-]

pocetSmenZaDen – počet směn za den [-]

delkaSmeny – délka pracovní směny [h]

limitSouprava – limitní hmotnost jízdní soupravy [t]

Následující proměnné (limity a hmotnosti) se liší dle typu systému dopravy

limitPodvozek – limitní hmotnost automobilového podvozku [t]

limitPrives – limitní hmotnost přívěsu [t]

maxObjem – maximální objem kontejneru/sklápěcí nástavby/návěsu [t]

hmotnostSystem – hmotnost ložené jízdní soupravy [t]

hmotnostPodvozek – hmotnost loženého automobilového podvozku (automobilový podvozek + kontejner/nástavba + materiál) [t]

hmotnostPrives – hmotnost loženého přívěsu [t]

casJednohoCyklu – časová délka jednoho cyklu [h]

vzdalenost – dopravovaná vzdálenost v jednom směru [km]

8 VÝSTUPNÍ HODNOTY – VÝPOČET

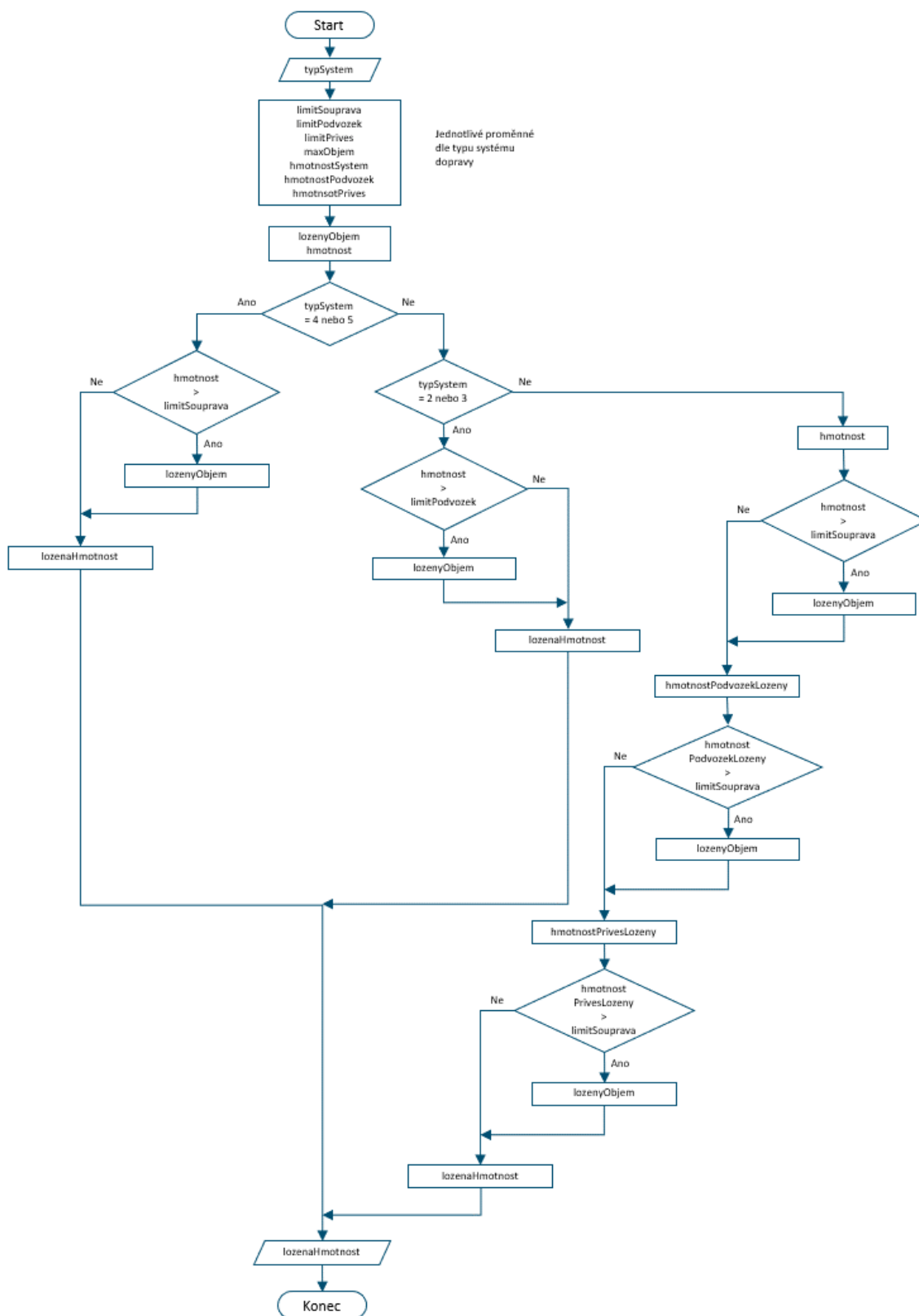
Ložená hmotnost	[t]
Počet cyklů za rok	[—]
Teoretické vytížení soupravy	[%]
Roční nájezd	[km]
Náklady na 1 tunu	[Kč/t]

V příloze 1 je uveden kompletní výpočet v jazyce Python.

8.1 Ložená hmotnost

Ložená hmotnost závisí na zvolené sypné hmotnosti a loženém objemu. Ložený objem je stanovený na základě limitních hmotností pro daný typ systému dopravy, viz tab. 1.

Limitní hodnoty mohou být uvedeny v tabulce nebo proměnné. Na základě algoritmu, viz obr. 10, dojde ke stanovení ložené hmotnosti.



Obr. 10 Vývojový diagram pro stanovení ložené hmotnosti

8.2 Počet cyklů za rok

$$pocetCykluZaRok = Round.Up \left(\frac{hmotnostZaRok \cdot 1000}{lozenaHmotnost} \right) \quad [-] \quad (1)$$

8.3 Teoretické vytížení systému

$$fondPracovniDoby = pracovniDnyVtydnu \cdot pracovniTydnyVroce \cdot pocetSmenZaDen \cdot delkaSmeny \quad [h] \quad (2)$$

$$pocetCykluZaDen = \frac{pocetSmenZaDen \cdot delkaSmeny}{casJednehoCyklu} \quad [-] \quad (3)$$

$$maxPocetCykluZaRok = pracovniDnyVtydnu \cdot pracovniTydnyVroce \cdot pocetCykluZaDen \quad [-] \quad (4)$$

$$teoretickeVytizeni = \frac{pocetCykluZaRok}{maxPocetCykluZaRok} \quad [-] \quad (5)$$

8.4 Roční nájezd

$$delkaDopravniCestyCyklus = 2 \cdot vzdalenost \quad (6)$$

$$rocniNajezd = pocetCykluZaRok \cdot delkaDopravniCestyCyklus \quad [km] \quad (7)$$

8.5 Náklady na 1 tunu

Vyvinutý technicko-ekonomický model pro výpočet dopravních nákladů obsahuje řadu rozhodovacích procesů, které na základě vstupních parametrů ovlivňují jak celočíselné výstupy modelu (např. počet jízdních souprav) tak i ostatní neceločíselné charakteristiky. Všechny vstupy se podílejí na výsledné ceně dopravy na dané trase za 1 tunu odpadu. Pro jednodušší práci s modelem a zejména pro potřeby implementace bylo cílem za pomoci příslušného matematického aparátu výpočet nákladů zjednodušit.

Na základě různých kombinací vstupních dat (viz. kapitola 6) byla nejprve snaha pro každý typ soupravy vytvořit obecnou regresní funkci. Tato regresní funkce by umožňovala snadnou práci s modelem, jelikož v případě libovolných vstupů by existoval jediný explicitní předpis pro každý typ soupravy. Po podrobné analýze dat, odhadu koeficientů různých tvarů předpisů hledané funkce však nebyly získány uspokojivé výsledky. Koeficient determinace sice dosahoval uspokojivých hodnot (nad 95 %), avšak právě kvůli celočíselným proměnným se v datech vyskytuje řada tzv. „skoků“, které již z principu proložení korektně definovanou funkcí není možné realizovat. Ve výsledku tak 90 % dat vykazovalo chybu do 10 %, největší zaznamenaná odchylka však dosahovala 45 %. Řešením tohoto problému se zdálo být rozdělení problému dle vzdálenosti na disjunktní množiny, ve kterých by byla provedena regrese zvlášť. Další výpočty a testování však ukázaly, že rozdělení po 50 km nepřineslo významné zlepšení.

Hlavním záměrem bylo výpočet nákladů zjednodušit, ovšem s minimální odchylkou. Jelikož se předešlý postup příliš neosvědčil a na základě vybraných vstupních parametrů nebyla odhalena závislost tzv. „skoků“, bylo přistoupeno k jednotlivým trasám individuálně. Dopravní náklady byly zpracovávány pro každou kombinaci obcí s rozšířenou působností (ORP) na území ČR a každý typ soupravy. Ve výsledku tak bylo zpracováno 26 335 tras pro každou soupravu (po odstranění symetrických kombinací a dopravy v rámci jednoho ORP), kdy pro každou trasu byla zkonstruována regresní funkce. Jak je znázorněno v kapitole 6, vstupní parametry ceny paliva a mzdy pro řidiče mají lineární průběh, tj. vliv těchto vstupů lze modelovat s využitím lineárního přírůstku od referenčního bodu. Každá trasa tak obsahuje trojici čísel, referenční bod získaný pevně zvolenou kombinací vstupů (cena paliva 30 Kč/l,

mzda řidiče 30 000 Kč/měsíc, sypaná hmotnost 100 kg/m³), koeficient pro cenu paliva a koeficient pro mzdu. Bez zohlednění sypané hmotnosti jsou náklady na jednu tunu definovány pomocí následující rovnice:

$$\text{Náklady} = R + K^{Palivo}(cenaPaliva - R^{Palivo}) + K^{Mzda}(mzda - R^{Mzda}), \quad (8)$$

kde R odpovídá dopravním nákladům v referenčním bodě [Kč], který byl vypočítán pomocí vstupních parametrů ceny paliva R^{Palivo} [Kč] (30 Kč/l) a měsíční mzdy R^{Mzda} [Kč] (30 000 Kč/měsíc) při sypané hmotnosti 100 kg/m³. Koeficienty K^{Palivo} [-] a K^{Mzda} [-] jsou získány s využitím dvou případů transportu, které se liší pouze v daném parametru. Tj. pro K^{Palivo} je využito následující rovnice:

$$K^{Palivo} = \frac{R_1 - R_2}{CenaPaliva_1 - CenaPaliva_2}, \quad (9)$$

kde dolní indexy označují dva uvažované případy transportu po dané hraně, jejichž celkové náklady na jednu tunu odpovídají R_1 [Kč] a R_2 [Kč].

V případě zohlednění sypané hmotnosti byla nejprve uvažována lineární závislost, tj. dvojnásobná sypaná hmotnost představuje poloviční náklady na dopravu. Až na drobné odchylky (v řádu jednotek procent) byla tato závislost potvrzena. S ohledem na limity systému dopravy (viz. kap. 6.1) a možnosti zpřesnění výpočtu nákladů byla využita sada vypočítaných redukčních koeficientů, které reflektují snížení nákladů. Tyto koeficienty jsou platné pro každou trasu, ovšem s ohledem na limitní sypané hmotnosti bylo nutné získat hodnoty pro každou soupravu zvlášť. Pro výpočet byl zvolen interval sypané hmotnosti (100; 1720) kg/m³ s krokem 5 kg/m³. Datová sada redukčních koeficientů představuje dvojice (x, y) , kde x zastupuje sypanou hmotnost a y příslušný redukční koeficient. Získání redukčního koeficientu y pro libovolnou sypanou hmotnost x lze pomocí Interpolace mezi jednotlivými dvojicemi. Matematicky lze interpolaci zapsat následovně:

$$y = y_a + (y_b - y_a) \frac{x - x_a}{x_b - x_a} \text{ pro } x \in \langle x_a; x_b \rangle, \quad (10)$$

kde indexy a, b označují dvojice z datové sady, které splňují podmínku, že zadaná sypaná hmotnost x je v intervalu mezi nimi. S využitím interpolace mezi vypočítanými koeficienty je tak možné získat i hodnoty mezi nimi, přičemž odchylka zde je již zanedbatelná (jednotky haléřů). Finální dopravní náklady na jednu tunu jsou vypočítány pomocí:

$$\text{Náklady} = y \left(R + K^{Palivo}(CenaPaliva - R^{Palivo}) + K^{Mzda}(Mzda - R^{Mzda}) \right). \quad (11)$$

9 REFERENČNÍ PŘÍKLADY

Následující příklady slouží pro otestování funkčnosti výpočtu.

Příklad 1

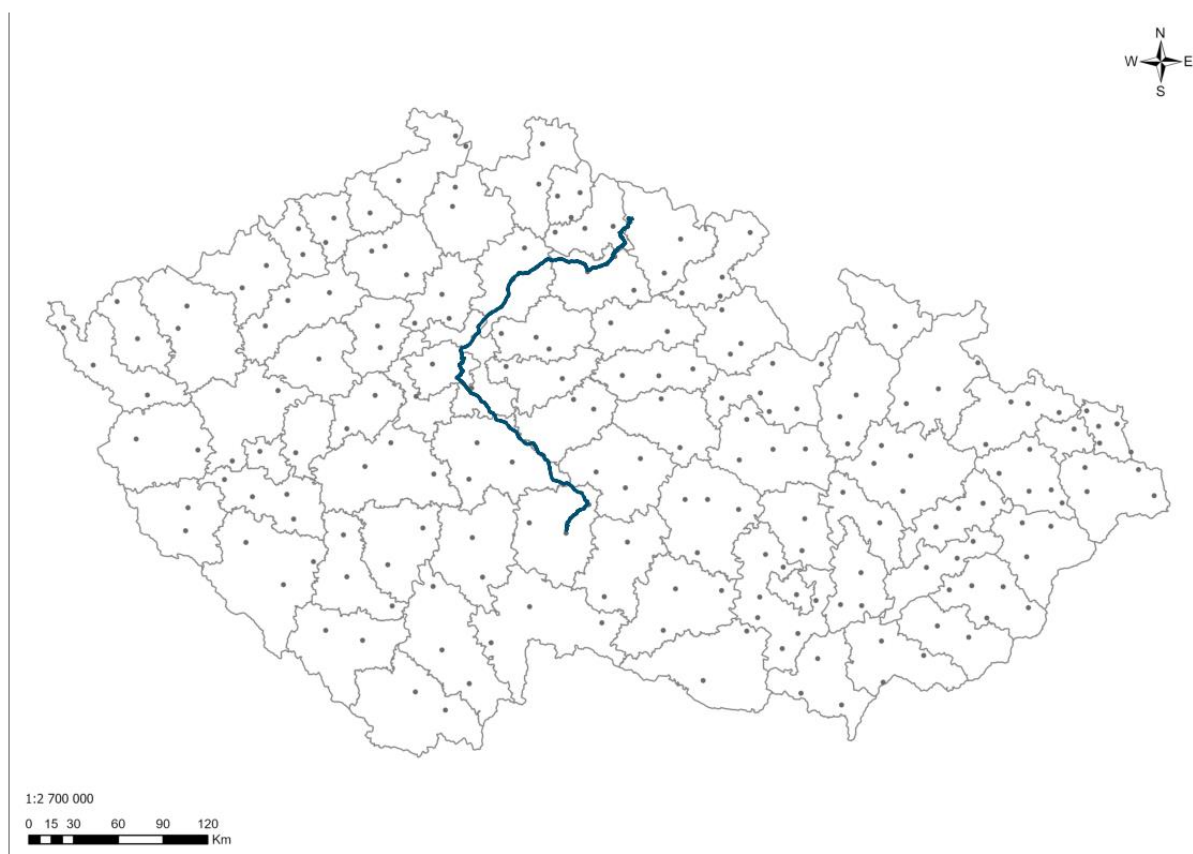
Odkud	1	Nová Paka
Kam	2	Neratovice
Typ dopravního systému	2	-
Cena paliva	30	Kč/l
Mzda řidiče	30 000	Kč/měsíc
Sypná hmotnost	100	kg/m ³
Hmotnost za rok	1	kt/rok
Vzdálenost	96,5	km
Čas 1 cyklu	192	min
Ložená hmotnost	1,2	t
Počet cyklů za rok	834	-
Teoretické vytížení soupravy	64,2	%
Potřebný počet vozidel (souprav)	1	-
Roční nájezd	160 962	km
Náklady na 1 tunu	3 989	Kč/t
Náklady roční	3 989 000	Kč/rok



Obr. 11 Referenční příklad 1 – mapa

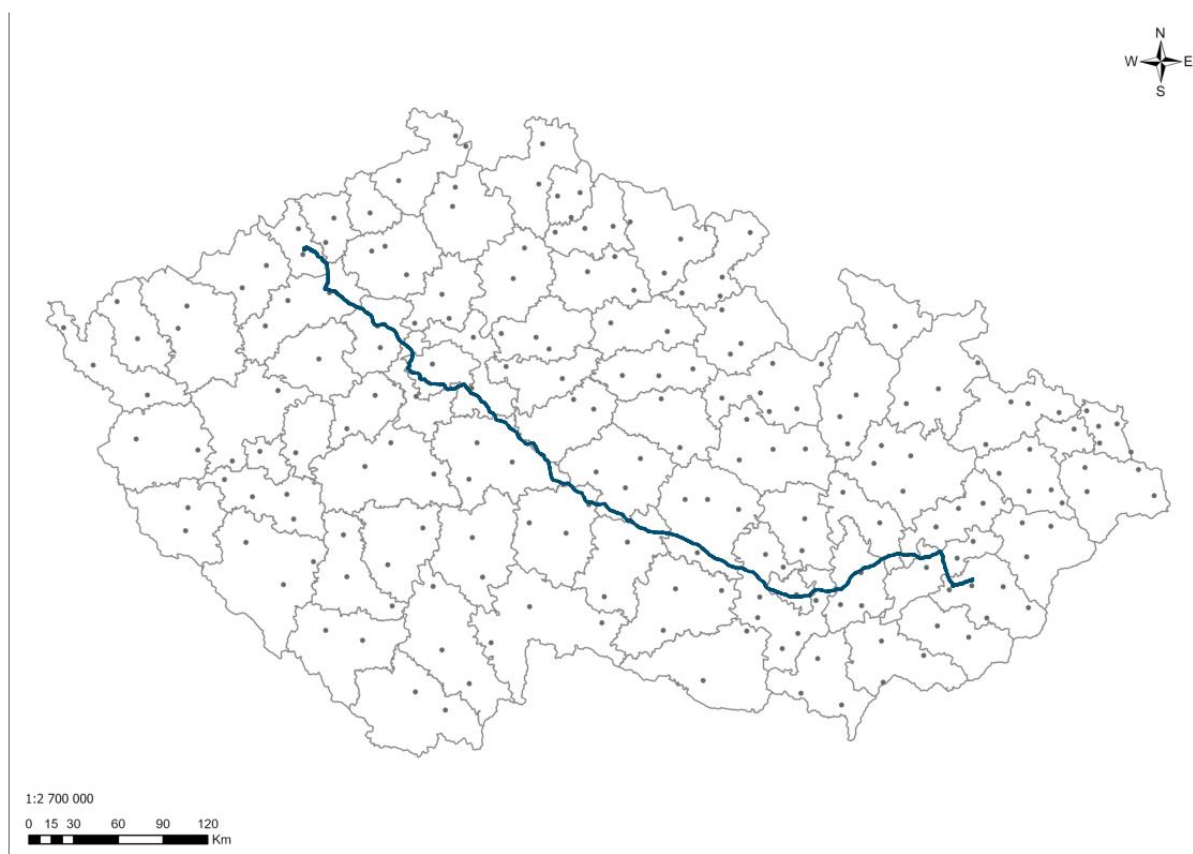
Příklad 2

Odkud	29	Pelhřimov
Kam	100	Vrchlabí
Typ dopravního systému	2	-
Cena paliva	35	Kč/l
Mzda řidiče	41 500	Kč/měsíc
Sypná hmotnost	980	kg/m ³
Hmotnost za rok	4,6	kt/rok
Vzdálenost	232	km
Čas 1 cyklu	454	min
Ložená hmotnost	11,76	t
Počet cyklů za rok	392	-
Teoretické vyřízení soupravy	75,4	%
Potřebný počet vozidel (souprav)	1	-
Roční nájezd	181 974	km
Náklady na 1 tunu	1 195	Kč/t
Náklady roční	5 497 000	Kč/rok


Obr. 12 Referenční příklad 2 – mapa

Příklad 3

Odkud	105	Zlín
Kam	6	Most
Typ dopravního systému	3	-
Cena paliva	57	Kč/l
Mzda řidiče	46 000	Kč/měsíc
Sypná hmotnost	1 250	kg/m ³
Hmotnost za rok	18,67	kt/rok
Vzdálenost	392	km
Čas 1 cyklu	682	min
Ložená hmotnost	18,22	t
Počet cyklů za rok	1 025	-
Teoretické vyřízení soupravy	394,2	%
Potřebný počet vozidel (souprav)	4	-
Roční nájezd	803 969	km
Náklady na 1 tunu	1 916	Kč/t
Náklady roční	35 771 720	Kč/rok



Obr. 13 Referenční příklad 3 – mapa

Příklad 4

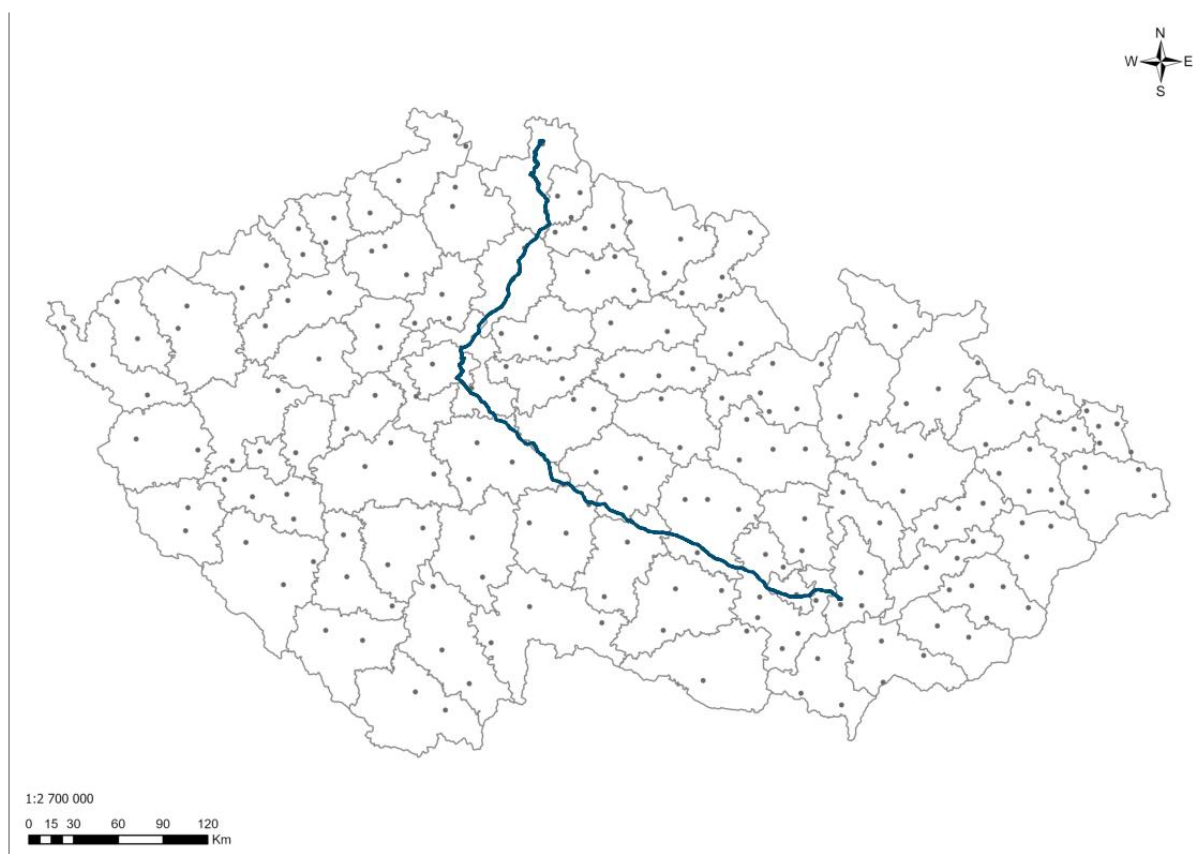
Odkud	100	Vrchlabí
Kam	99	Votice
Typ dopravního systému	3	-
Cena paliva	58	Kč/l
Mzda řidiče	60 000	Kč/měsíc
Sypná hmotnost	1 110	kg/m ³
Hmotnost za rok	4,9	kt/rok
Vzdálenost	178	km
Čas 1 cyklu	372	min
Ložená hmotnost	18,22	t
Počet cyklů za rok	269	-
Teoretické vyřízení soupravy	51,7	%
Potřebný počet vozidel (souprav)	1	-
Roční nájezd	95 968	km
Náklady na 1 tunu	862	Kč/t
Náklady roční	4 223 800	Kč/rok



Obr. 14 Referenční příklad 4 – mapa

Příklad 5

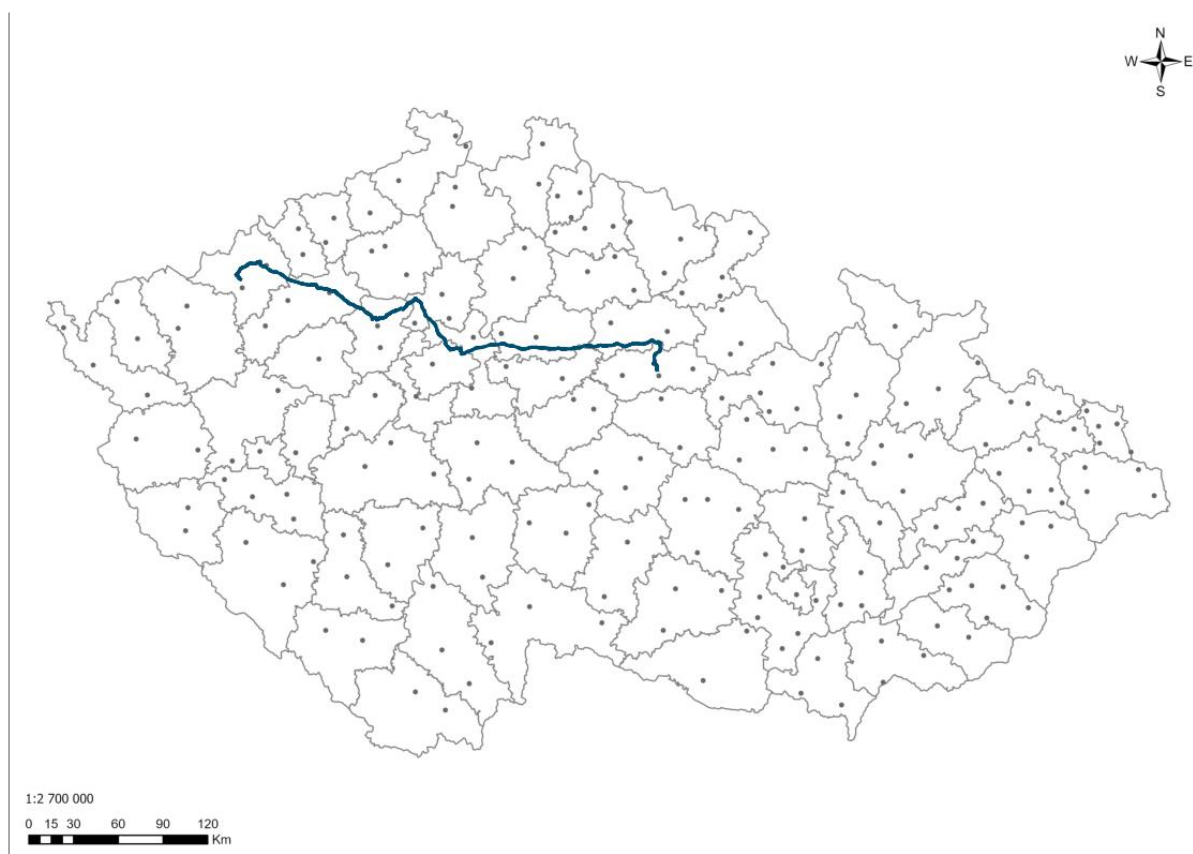
Odkud	128	Frýdlant
Kam	57	Slavkov u Brna
Typ dopravního systému	4	-
Cena paliva	46	Kč/l
Mzda řidiče	57 000	Kč/měsíc
Sypná hmotnost	1 650	kg/m ³
Hmotnost za rok	23	kt/rok
Vzdálenost	344	km
Čas 1 cyklu	630	min
Ložená hmotnost	34,87	t
Počet cyklů za rok	660	-
Teoretické vyřízení soupravy	253,8	%
Potřebný počet vozidel (souprav)	3	-
Roční nájezd	145 238	km
Náklady na 1 tunu	927	Kč/t
Náklady roční	21 321 000	Kč/rok



Obr. 15 Referenční příklad 5 – mapa

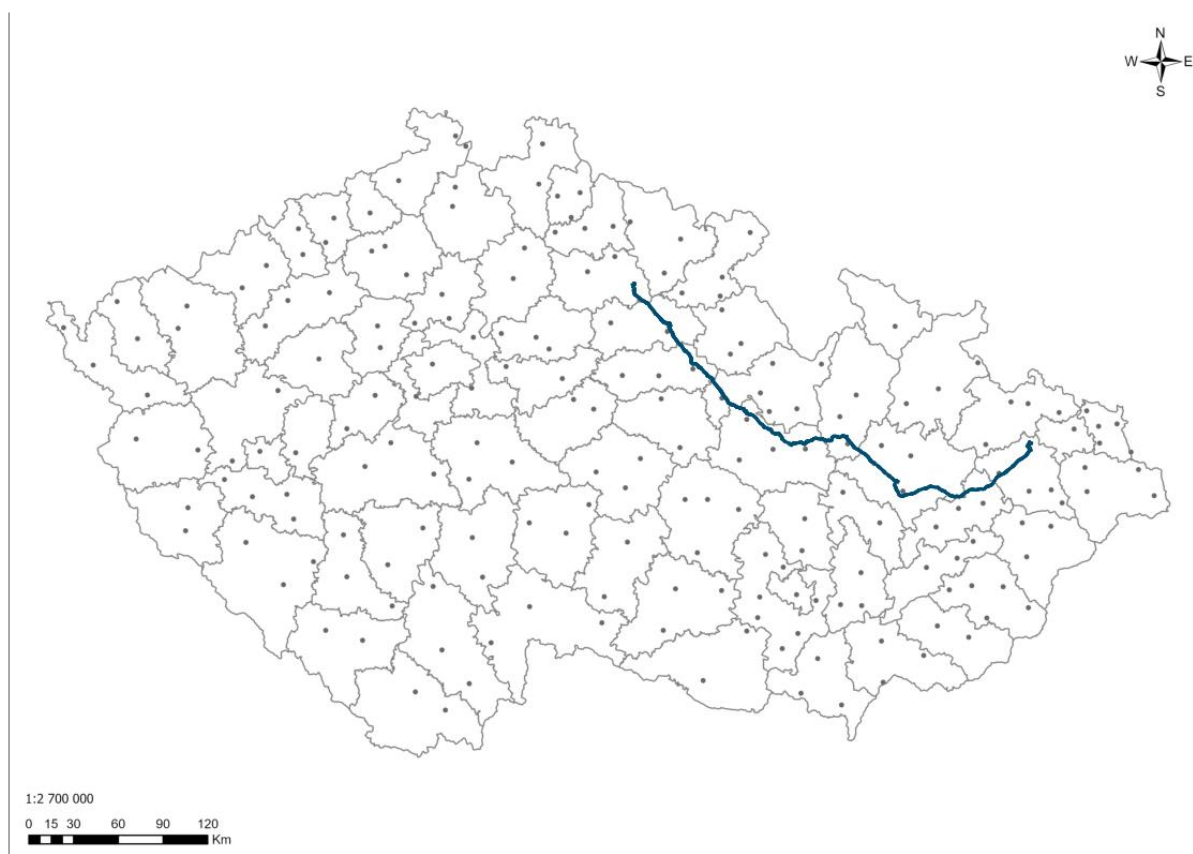
Příklad 6

Odkud	28	Pardubice
Kam	160	Kadaň
Typ dopravního systému	4	-
Cena paliva	35	Kč/l
Mzda řidiče	52 000	Kč/měsíc
Sypná hmotnost	1 350	kg/m ³
Hmotnost za rok	5,6	kt/rok
Vzdálenost	233	km
Čas 1 cyklu	455	min
Ložená hmotnost	31,73	t
Počet cyklů za rok	177	-
Teoretické vyřízení soupravy	34,0	%
Potřebný počet vozidel (souprav)	1	-
Roční nájezd	82 305	km
Náklady na 1 tunu	510	Kč/t
Náklady roční	2 856 000	Kč/rok


Obr. 16 Referenční příklad 6 – mapa

Příklad 7

Odkud	134	Bílovec
Kam	140	Hořice
Typ dopravního systému	4	-
Cena paliva	40	Kč/l
Mzda řidiče	59 000	Kč/měsíc
Sypná hmotnost	750	kg/m ³
Hmotnost za rok	10,2	kt/rok
Vzdálenost	242	km
Čas 1 cyklu	455	min
Ložená hmotnost	17,62	t
Počet cyklů za rok	579	-
Teoretické vyřízení soupravy	111,3	%
Potřebný počet vozidel (souprav)	2	-
Roční nájezd	279 680	km
Náklady na 1 tunu	967	Kč/t
Náklady roční	9 863 400	Kč/rok



Obr. 17 Referenční příklad 7 – mapa

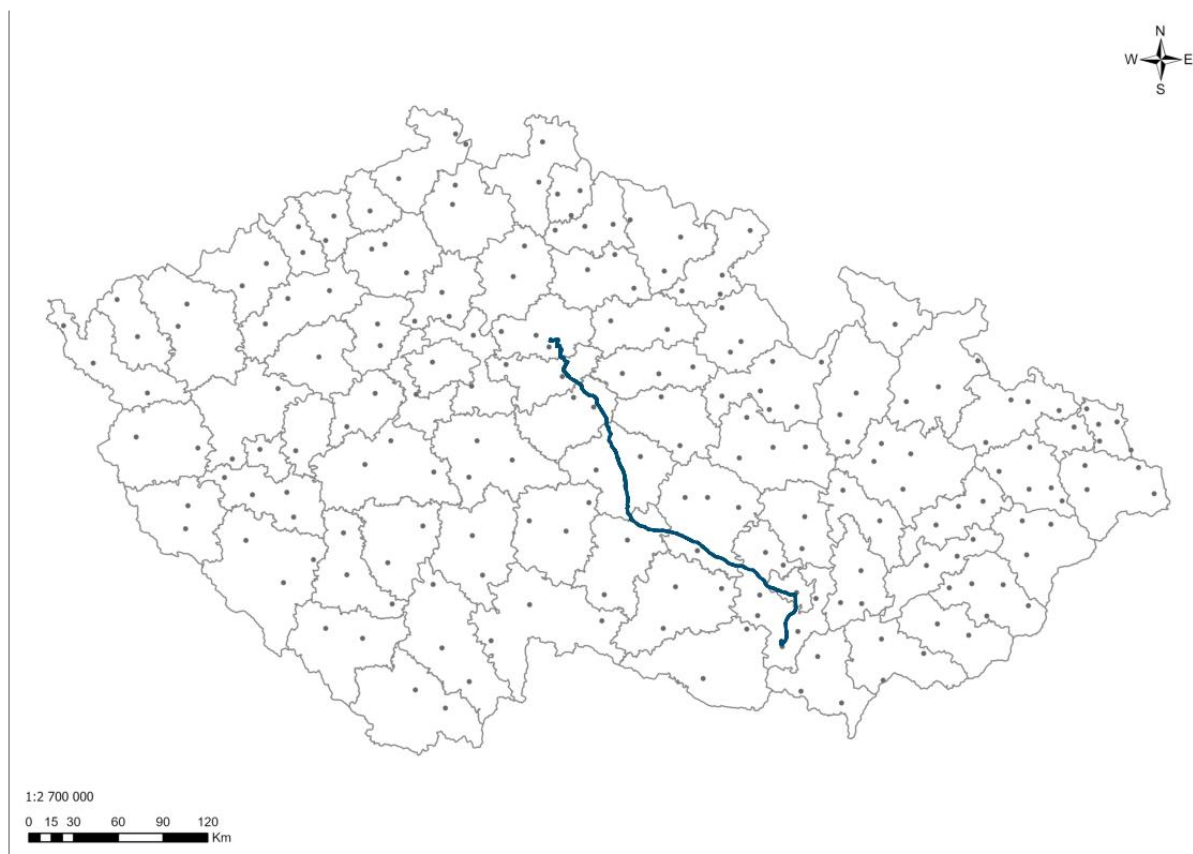
Příklad 8

Odkud	32	Bruntál
Kam	33	Podbořany
Typ dopravního systému	5	-
Cena paliva	41	Kč/l
Mzda řidiče	60 000	Kč/měsíc
Sypná hmotnost	1 600	kg/m ³
Hmotnost za rok	9,8	kt/rok
Vzdálenost	487	km
Čas 1 cyklu	884	min
Ložená hmotnost	32,8	t
Počet cyklů za rok	299	-
Teoretické vyřízení soupravy	115,0	%
Potřebný počet vozidel (souprav)	2	-
Roční nájezd	291 465	km
Náklady na 1 tunu	1 121	Kč/t
Náklady roční	10 985 800	Kč/rok


Obr. 18 Referenční příklad 8 – mapa

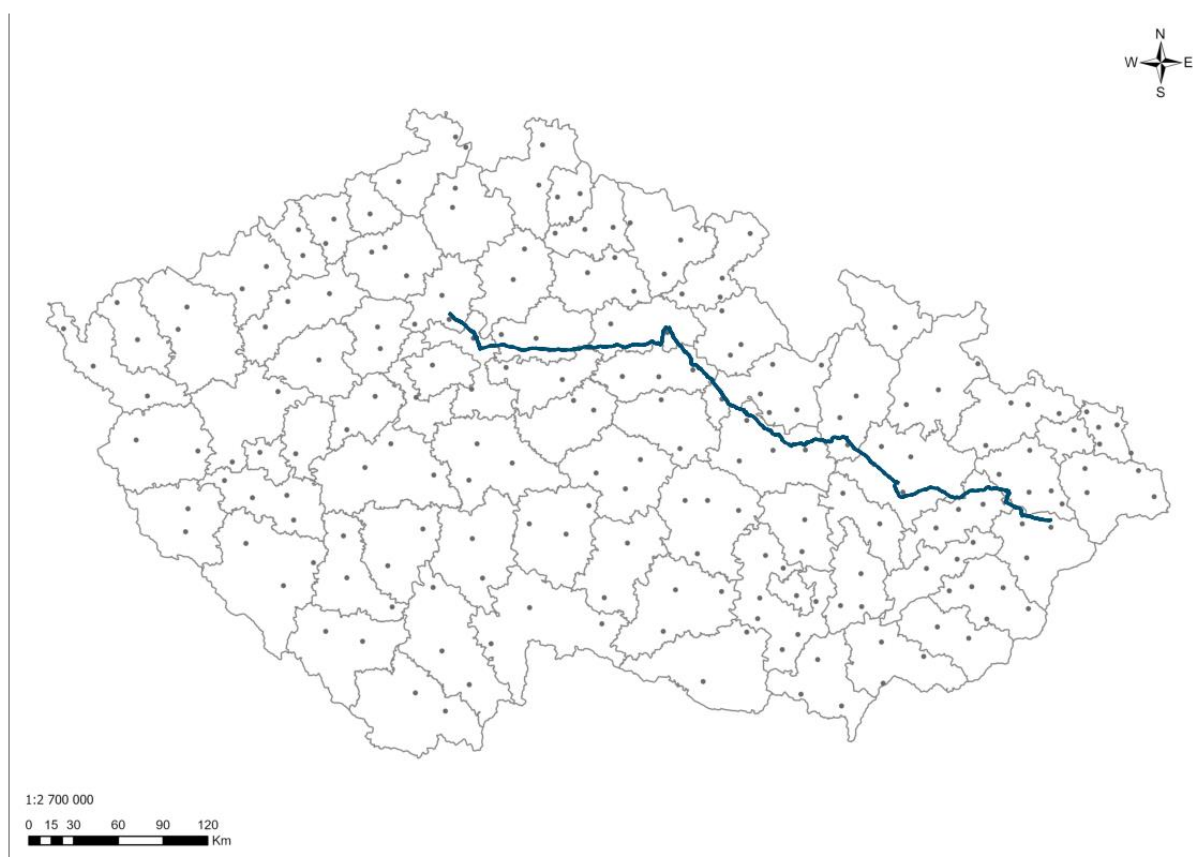
Příklad 9

Odkud	34	Poděbrady
Kam	35	Pohořelice
Typ dopravního systému	5	-
Cena paliva	32	Kč/l
Mzda řidiče	48 000	Kč/měsíc
Sypná hmotnost	1 420	kg/m ³
Hmotnost za rok	28,2	kt/rok
Vzdálenost	205	km
Čas 1 cyklu	387	min
Ložená hmotnost	19,11	t
Počet cyklů za rok	969	-
Teoretické vyřízení soupravy	186,3	%
Potřebný počet vozidel (souprav)	2	-
Roční nájezd	397 013	km
Náklady na 1 tunu	461	Kč/t
Náklady roční	13 000 199	Kč/rok


Obr. 19 Referenční příklad 9 – mapa

Příklad 10

Odkud	48	Rožnov pod Radhoštěm
Kam	2	Neratovice
Typ dopravního systému	1	-
Cena paliva	32	Kč/l
Mzda řidiče	42 000	Kč/měsíc
Sypná hmotnost	350	kg/m ³
Hmotnost za rok	5,1	kt/rok
Vzdálenost	334	km
Čas 1 cyklu	651	min
Ložená hmotnost	21	t
Počet cyklů za rok	243	-
Teoretické vytížení soupravy	93,5	%
Potřebný počet vozidel (souprav)	1	-
Roční nájezd	162 518	km
Náklady na 1 tunu	1 112	Kč/t
Náklady roční	5 671 200	Kč/rok


Obr. 20 Referenční příklad 10 – mapa

PŘÍLOHA 1

Kompletní výpočet v programovacím jazyce Python.

Import knihoven

```
import pandas as pd
import numpy as np
from math import ceil, floor
import matplotlib.pyplot as plt
from PIL import Image, ImageDraw
```

Načtení vstupních dat

Dopravní náklady

```
dopravniNakladySystem1 =
pd.read_csv(r'C:\...\DopravniNaklady_System1.csv', sep=';', decimal=',')
dopravniNakladySystem2 =
pd.read_csv(r'C:\...\DopravniNaklady_System2.csv', sep=';', decimal=',')
dopravniNakladySystem3 =
pd.read_csv(r'C:\...\DopravniNaklady_System3.csv', sep=';', decimal=',')
dopravniNakladySystem4 =
pd.read_csv(r'C:\...\DopravniNaklady_System4.csv', sep=';', decimal=',')
dopravniNakladySystem5 =
pd.read_csv(r'C:\...\DopravniNaklady_System5.csv', sep=';', decimal=',')
```

Koeficienty sypané hmotnosti

```
sypnaHmotnostKoeficientSystem1 =
pd.read_csv(r'C:\...\SypnaHmotnostKoeficient_System1.csv', sep=';',
decimal=',')
sypnaHmotnostKoeficientSystem2 =
pd.read_csv(r'C:\...\SypnaHmotnostKoeficient_System2.csv', sep=';',
decimal=',')
sypnaHmotnostKoeficientSystem3 =
pd.read_csv(r'C:\...\SypnaHmotnostKoeficient_System3.csv', sep=';',
decimal=',')
sypnaHmotnostKoeficientSystem4 =
pd.read_csv(r'C:\...\SypnaHmotnostKoeficient_System4.csv', sep=';',
decimal=',')
sypnaHmotnostKoeficientSystem5 =
pd.read_csv(r'C:\...\SypnaHmotnostKoeficient_System5.csv', sep=';',
decimal=',')
```

ORP

```
ORPbodyData = pd.read_csv(r'C:\...\ORPbody.csv', sep=';', decimal=',')
ORPvzdalenostCasData = pd.read_csv(r'C:\...\ORPvzdalenostCas.csv', sep=';',
decimal=',')
```

Zadání dat

```
start = 48
end = 2
typSystem = 1
cenaPaliva = 32 # Kč/l
mzda = 42000 # Kč/měsíc
sypnaHmotnost = 350 # kg/m3 (přírůstky po 5)
hmotnostZaRok = 5.1 # kt/rok
```

Další vstupy

```
pracovniDnyVtydnu = 5
pracovniTydnyVroce = 52
pocetSmenZaDen = 2
delkaSmeny = 9
limitSouprava = 48 # [t]
```

Výpočet**# ORP text**

```
startZadani = start
endZadani = end
startText = ORPbodyData.loc[(ORPbodyData['ID_point'] == start)]
startText = startText.iloc[0]['Nazev']
endText = ORPbodyData.loc[(ORPbodyData['ID_point'] == end)]
endText = endText.iloc[0]['Nazev']
```

Pořadí ORP

```
if start > end:
    start1 = start
    start = end
    end = start1
```

Ložená hmotnost

```
if typSystem == 1:
    limitPodvozek = 26
    limitPrives = 24
    maxObjem = 30
    hmotnostSystem = 18.4
    hmotnostPodvozek = 11.7
    hmotnostPrives = 6.7
elif typSystem == 2:
    limitPodvozek = 26
    maxObjem = 12
    hmotnostSystem = 11.9
elif typSystem == 3:
    limitPodvozek = 32
```

```
maxObjem = 17
hmotnostSystem = 13.8
elif typSystem == 4:
    maxObjem = 23.5
    hmotnostSystem = 13.1
elif typSystem == 5:
    maxObjem = 20.5
    hmotnostSystem = 12.7

lozenyObjem = maxObjem
hmotnost = hmotnostSystem + lozenyObjem * sypnaHmotnost / 1000

if typSystem == 4 or typSystem == 5:
    if hmotnost > limitSouprava:
        lozenyObjem = (limitSouprava - hmotnostSystem)/sypnaHmotnost * 1000
        lozenaHmotnost = round(lozenyObjem * sypnaHmotnost / 1000, 2)
elif typSystem == 2 or typSystem == 3:
    if hmotnost > limitPodvozek:
        lozenyObjem = (limitPodvozek - hmotnostSystem)/sypnaHmotnost * 1000
        lozenaHmotnost = round(lozenyObjem * sypnaHmotnost / 1000, 2)
else: # typSystem = 1
    hmotnost = hmotnostSystem + 2 * (lozenyObjem * sypnaHmotnost / 1000)
    if hmotnost > limitSouprava:
        lozenyObjem = (limitSouprava - hmotnostSystem)/sypnaHmotnost * 500

    hmotnostPodvozekLozeny = hmotnostPodvozek + lozenyObjem * sypnaHmotnost /
1000
    if hmotnostPodvozekLozeny > limitPodvozek:
        lozenyObjem = (limitPodvozek - hmotnostPodvozek)/(sypnaHmotnost /
1000)

    hmotnostPrivesLozeny = hmotnostPrives + lozenyObjem * sypnaHmotnost / 1000
    if hmotnostPrives > limitPrives:
        lozenyObjem = (limitPrives - hmotnostPrives)/(sypnaHmotnost / 1000)

    lozenaHmotnost = round(2 * (lozenyObjem * sypnaHmotnost / 1000), 2)

# Počet cyklů za rok
pocetCykluZaRok = ceil(hmotnostZaRok * 1000 / lozenaHmotnost)

# Teoretické vytižení systému dopravy
ORPvzdalenostCas = ORPvzdalenostCasData.loc[(ORPvzdalenostCasData['ORP1'] ==
start) & (ORPvzdalenostCasData['ORP2'] == end)]

if typSystem == 1:
```

```
casJednohoCyklu = ORPvzdalenostCas.iloc[0]['System1']
elif typSystem == 2:
    casJednohoCyklu = ORPvzdalenostCas.iloc[0]['System2']
elif typSystem == 3:
    casJednohoCyklu = ORPvzdalenostCas.iloc[0]['System3']
elif typSystem == 4:
    casJednohoCyklu = ORPvzdalenostCas.iloc[0]['System4']
else:
    casJednohoCyklu = ORPvzdalenostCas.iloc[0]['System5']

fondPracovniDoby = pracovniDnyVtydnu * pracovniTydnyVroce * pocetSmenZaDen *
delkaSmeny
pocetCykluZaDen = floor(pocetSmenZaDen * delkaSmeny * 60 / casJednohoCyklu)
maxPocetCykluZaRok = pracovniDnyVtydnu * pracovniTydnyVroce * pocetCykluZaDen
teoretickeVytizeni = round(pocetCykluZaRok / maxPocetCykluZaRok * 100, 2)
pocetSystemu = ceil(teoretickeVytizeni / 100)

# Roční nájezd
vzdalenost = ORPvzdalenostCas.iloc[0]['Vzdalenost [km]']
delkaDopravniCestyCyklus = 2 * vzdalenost
rocníNájezd = round(pocetCykluZaRok * delkaDopravniCestyCyklus)

# Náklady na 1 tunu
if typSystem == 1:
    dopravniNakladySystem = dopravniNakladySystem1
    sypnaHmotnostKoeficientSystem = sypnaHmotnostKoeficientSystem1
elif typSystem == 2:
    dopravniNakladySystem = dopravniNakladySystem2
    sypnaHmotnostKoeficientSystem = sypnaHmotnostKoeficientSystem2
elif typSystem == 3:
    dopravniNakladySystem = dopravniNakladySystem3
    sypnaHmotnostKoeficientSystem = sypnaHmotnostKoeficientSystem3
elif typSystem == 4:
    dopravniNakladySystem = dopravniNakladySystem4
    sypnaHmotnostKoeficientSystem = sypnaHmotnostKoeficientSystem4
else:
    dopravniNakladySystem = dopravniNakladySystem5
    sypnaHmotnostKoeficientSystem = sypnaHmotnostKoeficientSystem5

dopravniNakladySystem =
dopravniNakladySystem.loc[(dopravniNakladySystem['ORP1'] == start) &
(dopravniNakladySystem['ORP2'] == end)]
nakladyTuna = float(dopravniNakladySystem.iloc[0]['Naklady na 1 tunu [Kc/t]'])
prirustekPalivo = float(dopravniNakladySystem.iloc[0]['Prirustek za palivo'])
prirustekMzda = float(dopravniNakladySystem.iloc[0]['Prirustek za mzdu'])
```

```

if (sypnaHmotnost >= 100) and (sypnaHmotnost <= 1720):
    sypnaHmotnostKoeficient =
sypnaHmotnostKoeficientSystem.loc[sypnaHmotnostKoeficientSystem['Sypna
hmotnost [kg/m3]'] == sypnaHmotnost]
    sypnaHmotnostKoeficient =
float(sypnaHmotnostKoeficient.iloc[0]['Koeficient'])
else:
    sypnaHmotnostKoeficient =
sypnaHmotnostKoeficientSystem.loc[sypnaHmotnostKoeficientSystem['Sypna
hmotnost [kg/m3]'] == 1720]
    sypnaHmotnostKoeficient =
float(sypnaHmotnostKoeficient.iloc[0]['Koeficient'])

dopravniNaklady = round((nakladyTuna + (cenaPaliva - 30) * prirustekPalivo +
(mzda - 30000) * prirustekMzda) * sypnaHmotnostKoeficient)
ročniNaklady = dopravniNaklady * hmotnostZaRok * 1000

# Výstup
vystupData=[['Výchozí bod', str(startZadani),'],
    ['Výchozí bod', startText,'],
    ['Cílový bod', endZadani,'],
    ['Cílový bod', endText,'],
    ['Vzdálenost v jednom směru', vzdalenost,'km'],
    ['Typ dopravního systému', typSystem,'],
    ['Čas jednoho cyklus', ceil(casJednohoCyklu),'min'],
    ['Cena 1 litru paliva', cenaPaliva,'Kč/l'],
    ['Mzda řidiče', mzda,'Kč/měsíc'],
    ['Sypná hmotnost', sypnaHmotnost,'kg/m3'],
    ['Hmotnost za rok', hmotnostZaRok,'kt/rok'],
    ['Náklady na 1 tunu', dopravniNaklady,'Kč/t'],
    ['Roční náklady', int(ročniNaklady),'Kč/rok'],
    ['Ložená hmotnost', lozenaHmotnost,'t/cyklus'],
    ['Počet cyklů za rok', pocetCykluZaRok,'],
    ['Potřebný počet vozidel (souprav)', pocetSystemu,'],
    ['Teoretické vytížení systémy dopravy',
        round(teoretickeVytizeni,1),'%'],
    ['Roční nájezd', ročniNajezd,'km']]

vystup=pd.DataFrame(vystupData,columns=['Parametr','Hodnota','Jednotka'])
vystup

```



FAKULTA ústav procesního
STROJNÍHO inženýrství
INŽENÝRSTVÍ

