

Optimálních parametry úprav železničních tratí

Marin Jacura¹, Lukáš Týfa², David Vodák³

Abstrakt

Předmětem článku je nastínění myšlenkového postupu a definice základních předpokladů pro vytvoření funkčního modelovacího nástroje, který umožní správné dimenzování parametrů úprav železniční infrastruktury. Záměrem je tedy nalezení takové skladby parametrů, která bude odpovídat významu spojnice dvou předmětných bodů, a požadavkům, které jsou na infrastrukturu kladeny.

Klíčová slova

Železniční trať, parametry, modernizace, optimalizace, studie proveditelnosti, dopravní modelování, přepravní prognóza.

Abstract

The aim of this article is to find a path to the best algorithm for Establishment of ideal parameters of railway lines reconstructions that means to find the best group of parameters, which are going to fit the needs of individual connection.

Keywords

Railway line, parameters, modernization, optimisation, feasibility study, transport modelling, transport prognosis

1. Úvod

Předmětem článku je nastínění myšlenkového postupu a definice základních předpokladů pro vytvoření funkčního modelovacího nástroje, který umožní správné dimenzování parametrů úprav železniční infrastruktury. Záměrem je tedy nalezení takové skladby parametrů, která bude odpovídat významu spojnice dvou předmětných bodů, a požadavkům, které jsou na infrastrukturu kladeny.

¹ Ing. Martin Jacura, Ph.D., nar. 1979, absolvent a zaměstnanec ČVUT v Praze Fakulty dopravní, spolupracovník UPa Dopravní fakulty Jana Pernera, disertace v oboru Dopravní systémy a technika, specializace železniční stanice, železniční provoz, dopravní obslužnost, v současnosti vedoucí Katedry dopravního inženýrství a dopravního plánování ČVUT FD

² doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D., nar. 1978, absolvent a zaměstnanec ČVUT v Praze Fakulty dopravní, habilitace v oboru Dopravní systémy a technika, v současnosti pedagog Katedry dopravního inženýrství a dopravního plánování; specializace na vysokorychlostní železniční dopravu, dopravní obsluhu území, geometrické parametry železniční koleje; <https://www.linkedin.com/in/lukas-tyfa>

³ Ing. David Vodák, Ph.D., nar. 1991, absolvent a zaměstnanec ČVUT v Praze Fakulty dopravní, zaměstnanec Správy železnic, státní organizace, disertace v oboru Dopravní systémy a technika, v současnosti vědecký pracovník Katedry dopravního inženýrství a dopravního plánování a projektový manažer na Stavební správě západ

Tuto velmi komplexní problematiku lze vědecky zkoumat z několika různých hledisek. Samostatným odvětvím je otázka nalezení vhodné míry vložených investičních prostředků do zkoumaného spojení tak, aby bylo dosaženo požadovaných parametrů z hlediska kvality (jízdni doba vlaků) a kvantity (kapacita – propustnost).

V současné době je nejvíce využívaným nástrojem pro stanovení optimálních parametrů železničních tratí studie proveditelnosti. V rámci tohoto stupně projektové dokumentace pro přípravu stavby železniční infrastruktury je zpracován návrh dopravní technologie, technického řešení a je provedena přepravní prognóza. Návrh je vždy řešen v několika variantách. Vějíř variant je následně posuzován ekonomickým hodnocením. Základním principem je nalezení varianty, jejíž investiční náklady jsou dostatečně vyváženy příjmy. Varianta s nejlepším poměrem nákladů a přínosů bývá pak zpravidla variantou vítěznou.

Důležitou součástí celého procesu je již zmíněná přepravní prognóza. Jedním z jejích hlavních výstupů jsou výhledové počty cestujících, včetně tzv. převedených cestujících, tedy cestujících, kteří železniční dopravu dříve nevyužívali, ale na základě ztraktivnění železnice v důsledku navrhovaných úprav se rozhodnou pro změnu dopravního prostředku. Jádrem přepravní prognózy je dopravní model, který v sobě zahrnuje výpočtový aparát, jehož pomocí je ze zadaných vstupů simulován vývoj počtu cestujících. Je tedy předpokládán vztah mezi infrastrukturními úpravami, respektive jejich parametry, a trendem v počtech cestujících.

Pro úplnost je nezbytné uvést i fakt, že osobní doprava není jediným druhem dopravy, který je na naší síti provozován a který ovlivňuje zmíněný proces nastavování parametrů, neboť i nákladní doprava je velmi důležitým segmentem železniční dopravy. Nákladní doprava a infrastruktura pro nákladní dopravu tvoří samostatnou problematiku, která nebude, s ohledem na výše definovaný záměr popsat vztah mezi počtem cestujících a úpravami infrastruktury, v rámci tohoto článku řešena.

2. Hlavní parametry železniční dopravní cesty

Hlavní parametry železniční dopravní cesty z pohledu jejích možných úprav můžeme rozdělit do následujících skupin:

- trasování,
- počet traťových kolejí/četnost dopraven na daném traťovém úseku,
- konstrukce železniční trati,
- technologické a řídicí systémy.

Trasování železniční trati je zásadním parametrem všech větších úprav železniční infrastruktury. Tento parametr má rozhodující vliv na výslednou traťovou rychlost. Rozlišujeme tři základní druhy úprav: novostavba, kombinace přeložek a stávající stopy, vedení čistě ve stávající stopě.

Počet traťových kolejí a četnost dopraven mají významný vliv na kapacitu železniční dopravní cesty. Nepřímo také ovlivňují výslednou cestovní dobu.

Konstrukce železniční trati v sobě zahrnuje zejména železniční svršek a spodek. V případě úprav se rozlišuje jednak míra obnovy/výměny (sanace/výměna nejkritičtějších míst, sanace/výměna ucelených úseků, komplexní obnova), a také parametry výsledné konstrukce (zejména s vazbou na výslednou traťovou rychlost).

Mezi řídicí systémy řadíme zejména sdělovací a zabezpečovací zařízení, která úzce souvisí s výslednou kapacitou a bezpečností. U zabezpečovacího zařízení je důležitá vazba na traťovou rychlost.

Problematika návrhových parametrů železničních staveb je v současné době řešena zejména v interních předpisech a směrnicích Správy železnic, státní organizace, českých technických normách, technických normách železnic a předpisech a vzorových listech. Ve smyslu těchto dokumentů lze železniční infrastrukturu rozdělit do následujících skupin:

- celostátní dráha zařazená do sítě TEN-T,
- celostátní dráha nezařazená do sítě TEN-T,
- regionální dráhy.

V souladu s příslušným dokumentem je každé skupině přiřazen postup při určování rozsahu a úrovně rekonstrukčních úprav.

2.1. Celostátní tratě zařazené do systému TEN-T

Rekonstrukci železničních tratí patřících do této skupiny lze provádět zejména dvěma způsoby: modernizací tratě a uvedením tratě do optimalizovaného stavu (dále jen „optimalizace“).

„Modernizace je souhrn opatření, která umožňují na dané trati zvýšení největší traťové rychlosti do 160 km/h včetně (s případnou stavební připraveností na rychlost vyšší, pokud se neúměrně nezvyšují investiční náklady), dosažení požadované třídy zatížení, dosažení požadované prostorové průchodnosti a provoz jednotek s naklápěcími skříněmi. ... Modernizace tratě zahrnuje termínově provázaná stavební opatření typu rekonstrukcí, přeložek a novostaveb na souvislém úseku tratě.“ [1 – s. 5]

„Optimalizace je souhrn opatření, která umožňují na dané trati zpravidla na stávajícím zemním tělese dosažení požadované třídy zatížení, dosažení požadované prostorové průchodnosti, odstranění lokálních omezení traťové rychlosti a případně též provoz jednotek s naklápěcími skříněmi.“ [1 – s. 5]

Nutno však podotknout, že v praxi často dochází k prolínání obou možností. Mnohdy se v rámci některých optimalizací provádí razantnější úpravy než u některých modernizací. Obecně však lze říci, že výše uvedené dělení ve většině případů platí.

2.2. Celostátní dráhy nezařazené do systému TEN-T

U tratí této skupiny nenalezneme tak striktní rozdělení a popis úprav, jako u předchozí skupiny. Míra úprav infrastruktury je vždy dána místními podmínkami, pozicí daného úseku v širším koncepčním rámci a dopravně-technologickým posouzením.

2.3. Regionální dráhy

Obdobně jako u předchozí skupiny nejsou možné úpravy striktně kategorizovány. Mezi základní cíle rekonstrukcí regionálních drah patří zejména:

- „zvýšení bezpečnosti provozu,
- zvýšení bezpečnosti pohybu cestujících v kolejištích,
- zajištění technického stavu infrastruktury podle požadavků platných předpisů,
- minimalizace nákladů na zajištění provozuschopnosti železniční dopravní cesty,
- minimalizace nákladů na provozování železniční dopravní cesty,
- zvýšení cestovní rychlosti.“ [3 – s. 7]

Rekonstrukce regionálních drah často probíhá formou tzv. **revitalizací**. Jedná se o souhrn úprav, které zpravidla zahrnují:

- výměnu ucelených úseků železničního svršku,

- lokální sanace železničního spodku s úpravou dotčených staveb železničního spodku,
- opravy dopravních a přepravních stanovišť (s důrazem na zřízení bezbariérového přístupu),
- modernizaci řídicích systémů s důrazem na aplikaci dálkového řízení.

Přesný obsah těchto rekonstrukcí nelze stanovit, neboť vždy vychází z místních podmínek.

3. Dopravní modelování

Jak bylo zmíněno v úvodní kapitole – nedílnou součástí návrhu úprav železniční infrastruktury je přepravní prognóza, která v sobě skrývá dopravní model, pomocí něhož je modelován výhledový rozsah poptávky po přepravě a další veličiny, které souhrnně popisují budoucí přepravní vztahy ve zkoumané oblasti, zejména ve vztahu k předmětné infrastruktuře, respektive zamýšleným úpravám předmětné infrastruktury.

Mezi nejrozšířenější modely patří LOGIT model a čtyřfázový dopravní model.

3.1. LOGIT Model

LOGIT model je velmi častou metodou využívanou v teorii volby. V podmínkách ČR bývá rovněž označován jako logistický model. [4] [5]

Výstupem toho modelu je pravděpodobnost volby dané varianty z konečné množiny variant. Podmínkou pro použití toho modelu je vyčíslení nákladů (užitku) na každou variantu. Rovněž je nezbytné zjistit parametr ϕ , který vyjadřuje ochotu uživatelů modelovaného systému volit nákladnější varianty. [4]

3.2. Čtyřstupňový dopravní model

Výstupem prvního stupně modelu jsou zdrojové (disponibilita) a cílové (atraktivita) proudy jednotlivých přepravních okrsků v rámci řešeného časového období. Jedná se pouze o intenzity bez směrování. [4]

Ve druhém stupni probíhá určení směrovosti přepravních proudů mezi jednotlivými okrsky. Výsledky z tohoto stupně se prezentují ve formě matice přepravních vztahů (tzv. OD matice – origin-destination matrix). Používané metody lze rozdělit do dvou skupin: analogické (máme k dispozici OD matici z předchozího období, kterou modifikujeme pro aktuální období) a syntetické (tvoříme zcela novou matici).

Třetí stupeň se zabývá rozdělením intenzit z OD matice mezi jednotlivé druhy dopravy. Pojem druh dopravy je ovšem nutné brát s rezervou, neboť členění je závislé na architektuře systému a eventuálním dalším členěním (silniční doprava se může dále dělit na osobní a nákladní vozidla, ale i na jízdní kola). [4]

V posledním stupni modelu dochází k přiřazení přepravních proudů na konkrétní infrastrukturu. [4]

4. Modelování vztahu infrastruktura – počet přepravených cestujících

Základním spojovacím prvkem všech dříve uvedených metod je, že žádná z nich nereflexuje zkušenosti s vývojem trendu v počtech cestujících po provedených infrastrukturních změnách. V důsledku toho je vhodné uvažovat o návrhu modelu, který bude schopen predikovat využití stavebně upravené infrastruktury cestujícími na základě dat z již upravených tratí. Hned v úvodu je nezbytné identifikovat základní parametry stavebních úprav, které vedou ke zvýšení počtů cestujících. Základním

cílem modelu by měla být predikce vývoje počtů cestujících na vybrané trati, která je určena ke stavební úpravě. Následující podkapitola si klade za cíl popsání vztahu mezi počtem cestujících a parametry infrastruktury.

4.1. Charakteristika jednotlivých aspektů stavebních úprav železničních tratí vedoucích ke zvýšení atraktivity pro cestující

Snaha činit železniční dopravu atraktivnější pro cestující a pro nákladní přepravu je jedním z hlavních pomyslných hnacích motorů železničního stavitelství. V rámci stavebních úprav železničních tratí zpravidla dochází k zásadnímu zlepšení parametrů infrastruktury, což vede k výraznému navýšení uživatelského komfortu pro cestující. Mezi hlavní přínosy vnímané cestujícími patří zejména následující. [6]

4.1.1. Snížení cestovních dob

Snížení času, který potřebuje cestující pro vykonání své cesty je jeden z klíčových způsobů, jak učinit osobní železniční dopravu pro cestující atraktivnější. Už i malé snížení v řádu jednotek minut může každodenně dojíždějícím přinést nezanedbatelnou úsporu času stráveného na cestě, a ovlivnit tak volbu vybraného dopravního prostředku ve prospěch železnice. Existují dva základní způsoby snižování cestovních dob – prosté zkrácení jízdních dob a zkrácení jízdních dob s dosažením systémových jízdních dob. [6]

4.1.1.1. Snížení jízdních dob

Snížení jízdních dob je důsledkem zejména zvyšování traťové rychlosti, toho lze dosáhnout několika způsoby. Nejméně náročnou cestou je zpravidla úprava technologie pro zabezpečení železničního provozu. Patří sem například úpravy staničních a traťových zabezpečení, úpravy návěstění a doplnění nebo zlepšení přejezdových zabezpečovacích zařízení. Investičně náročnější variantou je stavební úprava železničního svršku a spodku, kterou lze odstranit limity rychlosti stávajícího materiálu svršku, umožnit návrh limitních a maximálních hodnot parametrů GPK a zavést nové rychlostní profily. Nejdražší variantou je změna směrového vedení trati, která může být provedena drobnými posuny osy, částečnými přeložkami tratě nebo novostavbou tratě. Tato varianta přináší největší zlepšení, ale zejména v posledním zmíněném případě s sebou nese extrémní investiční náročnost (výstavba nového tělesa, mosty, tunely, estakády). [6]

4.1.1.2. Dosažení systémových jízdních dob

Železniční provoz je zpravidla organizován v souladu s koncepcí integrálního taktového jízdního řádu. Základní myšlenou této koncepce je provozování sítě taktových uzlů, mezi kterými je dosahováno jízdních dob, které jsou menší nebo rovné celočíselnému násobku doby taktu. Pokud k této době přičteme čas nezbytný pro přestup ve výchozím a cílovém uzlu a časovou rezervu, vznikne nám tzv. systémová jízdní doba. Dosažení těchto jízdních dob je nezbytné pro správné a logické fungování nejen železniční sítě jako celku.

V rámci investiční akce tak snížení jízdní doby o 5 minut může přinést dosažení systémové jízdní doby, což cestujícímu umožní v přestupním uzlu přestoupit do dřívějšího návazného spoje a uspořit tak více než 60 minut z celkové cestovní doby (budeme-li uvažovat 60minutový takt). [6]

4.1.2. Zlepšení jízdního komfortu

Drtivá většina investičních akcí s sebou nese výměnu materiálu železničního svršku za lepší a novější konstrukci. Téměř vždy je tak umožněno i zřízení bezстыkové koleje. Tyto úpravy vedou ke zlepšení a harmonizaci kontaktu kolo x kolejnice. V důsledku toho dojde ke snížení dynamických rázů a celkovému zklidnění jízdy. Cestujícím je tak umožněno lepší využití času stráveného na cestě (odpočinek, práce, občerstvení). [6]

4.1.3. Zlepšení spolehlivosti systému

Rekonstrukce železniční koleje snižuje pravděpodobnost vzniku závad, které by si vynutily omezení nebo úplné zastavení provozu. Zlepšování řídicí technologie a snižování jízdních dob vede jednak ke snížení pravděpodobnosti omezení provozu vlivem poruchy technologie a zároveň umožňuje snazší eliminaci jakýchkoliv mimořádných událostí.

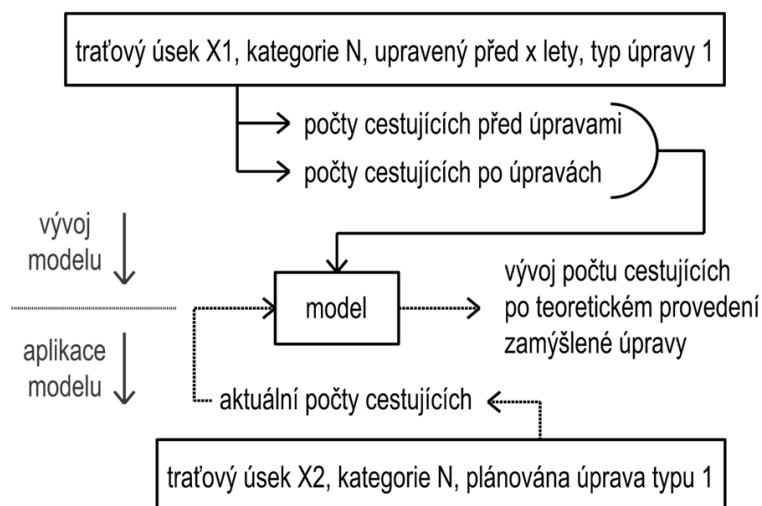
Výše uvedené přináší větší důvěru cestujících v železniční dopravní systém a ovlivňuje jejich volbu dopravního prostředku ve prospěch vlaku. [6]

4.1.4. Zvýšení úrovně kvality zařízení pro osobní dopravu

Další oblastí, která je dotčena stavební činností v rámci železniční infrastruktury, jsou nástupiště, přístupy na nástupiště a vyčkávací prostory. V této oblasti dochází ke zřizování nástupišť s výškou 550 mm nad temenem kolejnice, což v kombinaci s nasazením moderních vozidel umožňuje bezbariérový nástup a výstup, tedy v jedné výškové úrovni. K tomu je nutné zajistit pro všechny skupiny cestujících rovněž přístupnost vlastních nástupišť od výpravní budovy či z přístupových komunikací k železniční stanici nebo zastávce, tedy vybudovat šikmé chodníky nebo výtahy. Nástupiště a přístup k nim je nutné také vybavit, zařídit a navrhnout pro osoby s omezeným vnímáním zrakovým a sluchovým smyslem. V neposlední řadě se stavební činnost dotýká i samotných nádražních budov, ve kterých nejen cestující a jejich doprovod tráví čas do příjezdu jejich spoje. To zpravidla obnáší rekonstrukce vnitřních prostor, WC a zlepšení nabídky doplňkových služeb. Všechny tyto úpravy přispívají k celkovému zlepšení komfortu cestujících a zvýšení úrovně kultury cestování. [6]

4.2. Návrh dalšího postupu

Základní myšlenkou je nastavení modelu podle traťový úseků, které již byly upraveny. U takového úseku totiž známe vývoj počtu cestujících před a po úpravách, typ úpravy a charakteristiku daného úseku (kategorie dráhy, její poloha v železniční síti, role v dopravní obsluze regionu nebo státu). V charakteristice úseku nesmí zůstat opomenuta kvalita nabídky přepravy, neboť i ta zásadně ovlivňuje počty cestujících, aby tak nedošlo ke vzájemné záměně přínosů z provozu a z infrastruktury. S použitím metod stochastického modelování potom můžeme sestavit model, který nám na základě počtu cestujících před úpravou, charakteristiky daného úseku a typu úprav bude schopen simulovat vývoj cestujících po provedení zamýšlených úprav. Grafické znázornění postupu tvorby modelu zjednodušeným vývojovým diagramem je zobrazeno na obrázku 1.



Obr. 1. Vývojový diagram zamýšleného postupu [6]

Zamýšlenou tvorbu modelu lze rozdělit do pěti fází:

1. Kategorizace tratí a jejich úprav
2. Vytipování vzorových tratí (již upravených)
3. Sběr dat pro vzorové tratě
4. Sestavení modelu
5. Kalibrace a verifikace modelu

4.3. Kategorizace tratí

V rámci kategorizace nelze přehlížet pouze na způsoby kategorizace dle legislativy (sítě TEN-T, dráha celostátní mimo TEN-T, dráhy regionální), ale měla by být zohledněna i role železniční tratě v dopravní obsluze území (spojnice krajských měst, napojení okresního města na krajské atp.).

Kategorizace úprav musí zohledňovat široký vějíř variant od novostaveb až po investičně nejméně náročné varianty.

4.4. Vytipování vzorových tratí

Základním úkolem této fáze je pro každou dvojici kategorie tratě a kategorie úpravy nalézt vzorové tratě, které již byly upraveny. Tratě musí být voleny tak, aby byly co nejméně zatíženy takovými okolními vlivy, které lze obtížně generalizovat.

4.5. Sběr dat pro vzorové tratě

Pro každou dvojici musí být zajištěna statistická data o počtech přepravených cestujících před a po provedení úprav a rovněž podklady o dopravní nabídce (linky vlaků osobní dopravy – jejich kategorie, interval, obsaditelnost spojů).

4.6. Model

Na základě získaných dat a metod stochastického modelování lze pro každou dvojici vytvořit model. Tento model bude schopen na základě vložení kategorie tratě, kategorie zamýšlených úprav a aktuálních počtů cestujících schopen simulovat vývoj počtu cestujících po provedení úprav.

Stochastický model je obrazem dopravního systému (systémem je myšlen soubor veličin, které souvisí se zkoumaným dopravním procesem), přičemž se jedná

o matematický popis závislosti modelované veličiny na jiných vhodně vybraných veličinách. Funkční závislost veličin zpravidla neznáme, a tak vztahy mezi veličinami popisujeme pomocí parametrů. Pro použití v rámci tohoto výzkumu se jako modelovaná veličina uvažuje počet cestujících na zkoumané infrastruktuře. [5]

5. Závěr

Předmětem toho článku bylo nastínění myšlenkového postupu a definice základních předpokladů pro vytvoření funkčního modelovacího nástroje, který umožní správné dimenzování parametrů úprav železniční infrastruktury.

V první části tohoto článku je shrnuto dosavadní poznání a praxe v oblasti návrhů parametrů úprav železniční infrastruktury a dopravního modelování. V druhé části je proveden teoretický rozbor základní kostry navrhovaného modelu.

Literatura

- [1] Zásady modernizace a optimalizace vybrané železniční sítě České republiky (směrnice generálního ředitele č. 16/2005), SŽDC, 2006.
- [2] Zásady rekonstrukce celostátních drah České republiky nezařazených do evropského železničního systému (směrnice č. 30), SŽDC, 2008.
- [3] Zásady rekonstrukce regionálních drah (směrnice č. 32), SŽDC, 2008.
- [4] BULÍČEK, Josef a kol. *Modelování technologických procesů v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011. ISBN 978-80-7395-442-0.
- [5] NAGY, I. *Stochastické systémy* (učební text k přednáškám).
- [6] VODÁK, David. *Optimální parametry a trasování železniční dopravní cesty*. Disertace. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2023.

Lektorovali:

Doc. Ing. Ivan Nagy, CSc.; FD ČVUT Praha

Ing. Richard Svoboda, Ph.D.; Fakulta stavební VUT v Brně