



České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra železničních staveb

Studie nové železniční trati v úseku Ústí nad Orlicí – Rudoltice v Čechách

Study of a new railway line in the section Ústí nad Orlicí
– Rudoltice v Čechách

Bakalářská práce

2024

Autor práce:	Daniela Zralá
Vedoucí práce:	Ing. Leoš Horníček, Ph.D.
Studijní program:	Stavební inženýrství
Specializace:	Konstrukce a dopravní stavby

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zralá** Jméno: **Daniela** Osobní číslo: **494265**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra železničních staveb**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Specializace: **Konstrukce a dopravní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Studie nové železniční trati v úseku Ústí nad Orlicí – Rudoltice v Čechách

Název bakalářské práce anglicky:

Study of a new railway line in the section Ústí nad Orlicí – Rudoltice v Čechách

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte návrh nové dvoukolejné železniční trati se začátkem na stávající trati v úseku Ústí nad Orlicí–město až Dlouhá Třebová a koncem v úseku Rudoltice v Čechách až Luková u Rudoltic v Čechách. Navrhněte směrové a výškové vedení trati ve variantách pro traťové rychlosti 160, 200, 230 a 250 km/h. Podle dostupných podkladů vhodně navrhněte pražcové podloží a odvodnění trati, těleso železničního spodku a polohu případných staveb železničního spodku. Napojení na stávající trať řešte mimoúrovňově. Provedte ocenění navržených variant podle sborníku SPOŽES a multikriteriální hodnocení variant.

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 6360-1. Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1: Projektování. ÚNMZ, 2021.
SPOŽES. Sborník pro oceňování železničních staveb ve stupni studie. SFDI, 2023.
SŽ S3. Železniční svršek. Správa železnic, 2022.
SŽ S3/2. Bezстыková kolej. Správa železnic, 2013.
SŽ S4. Železniční spodek. Správa železnic, 2024.
Vzorové listy železničního spodku.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Leoš Horníček, Ph.D. katedra železničních staveb FSv

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Leoš Horníček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Leoš Horníček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Studie nové železniční trati v úseku Ústí nad Orlicí – Rudoltice v Čechách** zpracovala samostatně za použití uvedené literatury a pramenů a za odborného vedení bakalářské práce pana Ing. Leoše Horníčka, Ph.D.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 20.5.2024

Daniela Zralá

Poděkování

Tímto bych ráda vyjádřila upřímné poděkování panu Ing. Leoši Horníčkoví, Ph.D., za jeho odborné vedení, cenné rady a trpělivost, které mi poskytoval během zpracovávání této bakalářské práce. Jeho odborné znalosti a metodický přístup byly pro mě neocenitelnou oporou.

Dále bych chtěla poděkovat všem členům Katedry železničních staveb, kteří přispěli svými radami a podněty k mé práci.

Mé díky patří také mé rodině a přátelům za jejich neustálou podporu a povzbuzení, které mi pomohlo překonat výzvy spojené s dokončením této práce.

Anotace

Tato práce se zabývá novostavbou železniční trati v úseku Ústí nad Orlicí – Rudoltice v Čechách. Jsou zpracovány čtyři varianty směrového a výškového řešení s různými návrhovými rychlostmi. Napojení na stávající trať u Ústí nad Orlicí a u Rudoltic v Čechách jsou navržena pro všechny varianty společně. Pro všechny varianty vedení trati byla též navržena její konstrukce a byly zpracovány vzorové příčné řezy. Výsledkem této práce je porovnání jednotlivých variant a doporučení té nejlepší s ohledem na jejich návrhové rychlosti a investiční náklady vypočtené podle celkového objemu zemních prací, rozsahu staveb železničního spodku, atd.

Klíčová slova

Železniční trať, konvenční trať, vysokorychlostní trať, návrhová rychlost, novostavba

Summary

This work deals with the construction of a new railway line in the section Ústí nad Orlicí – Rudoltice v Čechách. Four options for the horizontal and vertical alignment with different design speeds are evaluated. The connections to the existing line at Ústí nad Orlicí and Rudoltice v Čechách are proposed jointly for all variants. For all route options, the structure was also designed, and sample cross-sections were prepared. The outcome of this work is a comparison of the individual options and a recommendation of the best one, considering their design speed and investment costs calculated based on the total volume of earthworks, the extent of bridges and tunnels, etc.

Keywords

Railway line, conventional line, high-speed line, design speed, new construction

Obsah

1.	Úvod	1
1.1	Stávající trať	1
2.	Směrové řešení	3
2.1	Směrové řešení – společná část	3
2.2	Směrové řešení – varianta 1	6
2.3	Směrové řešení – varianta 2	8
2.4	Směrové řešení – varianta 3	10
2.5	Směrové řešení – varianta 4	11
3.	Výškové řešení	14
3.1	Výškové řešení – společná část	14
3.2	Výškové řešení – varianta 1	15
3.3	Výškové řešení – varianta 2	16
3.4	Výškové řešení – varianta 3	16
3.5	Výškové řešení – varianta 4	17
4.	Konstrukce železničního svršku	18
5.	Konstrukce železničního spodku	19
5.1	Konstrukce pražcového podloží	19
5.2	Těleso železničního spodku	20
5.3	Odvodnění	20
5.4	Stavby železničního spodku	21
6.	Nacnění variant	24
7.	Porovnání variant	25
8.	Závěr	27
	Literatura	29

Seznam příloh

- Příloha 1 Přehledná situace variant
- Příloha 2a Situace – varianta 1, km 0,000 000 – km 7,500 000
- Příloha 2b Situace – varianta 1, km 7,500 000 – km 14,500 000
- Příloha 2c Situace – varianta 1, km 14,500 000 – km 18,638 061
- Příloha 3a Situace – varianta 2, km 0,000 000 – km 7,500 000
- Příloha 3b Situace – varianta 2, km 7,500 000 – km 14,500 000
- Příloha 3c Situace – varianta 2, km 14,500 000 – km 18,381 611
- Příloha 4a Situace – varianta 3, km 0,000 000 – km 7,500 000
- Příloha 4b Situace – varianta 3, km 7,500 000 – km 14,500 000
- Příloha 4c Situace – varianta 3, km 14,500 000 – km 18,333 992
- Příloha 5a Situace – varianta 4, km 0,000 000 – km 7,500 000
- Příloha 5b Situace – varianta 4, km 7,500 000 – km 14,500 000
- Příloha 5c Situace – varianta 4, km 14,500 000 – km 18,263 942
- Příloha 6 Podélný profil – varianta 1
- Příloha 7 Podélný profil – varianta 2
- Příloha 8 Podélný profil – varianta 3
- Příloha 9 Podélný profil – varianta 4
- Příloha 10 Podélný profil – společné části – kolej č. 2
- Příloha 11 Vzorové příčné řezy – varianta 1
- Příloha 12 Vzorové příčné řezy – varianta 2
- Příloha 13 Vzorové příčné řezy – varianta 3
- Příloha 14 Vzorové příčné řezy – varianta 4
- Příloha 15 Nacenení jednotlivých variant dle sborníku SPOŽES
- Příloha 16 Objem zemních prací

Seznam použitých zkratk

AC	asfaltový beton
Bpv	Balt po vyrovnání
ČSN	Česká technická norma
DK	drcené kamenivo
KO	konec kružnicového oblouku
KP	konec přechodnice
KÚ	konec úseku
KV	konec výhybky
PHS	pohyblivý hrot srdcovky
PTŽS	pláň tělesa železničního spodku
SVVK	směrové a výškové vyrovnání koleje
SŽ	Správa železnic, státní organizace
ŠD	šterkodrt
ZO	začátek kružnicového oblouku
ZP	začátek přechodnice
ZÚ	začátek úseku
ZV	začátek výhybky

Seznam použitých značek

A [m]	parametr klotoidy
D [mm]	převýšení
I [mm]	nedostatek převýšení
L_i [m]	délka kružnicové části směrového oblouku
L_k [m]	délka přechodnice
m [m]	odsazení směrového oblouku
n [-]	součinitel sklonu vzezupnice
n_1 [-]	součinitel změny nedostatku převýšení
R [m]	poloměr směrového oblouku
R_v [m]	poloměr výškového zakružovacího oblouku
T [m]	velká tečna směrového oblouku
t_z [m]	tečna výškového zakružovacího oblouku
V [km·h ⁻¹]	návrhová rychlost
y_v [m]	vzepětí výškového zakružovacího oblouku
α [°]	směrový úhel oblouku

1. Úvod

Předmětem této práce je studie nové železniční trati v úseku Ústí nad Orlicí (dále jen Ústí) – Rudoltice v Čechách (dále jen Rudoltice). Řešení je navrženo ve 4 variantách pro návrhové rychlosti $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $230 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a $250 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Je navrženo nové staničení trati vedoucí směrem od Ústí k Rudolticím, které je opačné od směru trati. Ten je historicky zaveden směrem k Praze. Kolej č. 1 se nachází vlevo ve směru trati, tedy vpravo ve směru staničení.

Odbočení u Ústí je navrženo na rychlost $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Nejprve bylo prověřováno na rychlost $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, což se po zpracování více variant s touto návrhovou rychlostí ukázalo jako neefektivní. Zábory zastavěných území ve městě by byly neúměrné ušetřenému času jízdou vyšší rychlostí. Z tohoto důvodu byla zvolena a zpracována varianta pro rychlost nižší. Díky nižší rychlosti se také povedlo zvýšit úhel křížení se stávající tratí v tomto úseku. Je navrženo staničení s km 0,000 000 v začátku výhybky 1, kolej č. 2 přebírá toto staničení na konci společné části. Staničení části koleje před výhybkou navazuje na staničení stávající trati.

Odbočení u Rudoltic je navrženo na rychlost $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Staničení tohoto společného úseku navazuje na staničení z varianty 4, které je zavedeno až po začátek výhybky 1. Staničení části koleje před výhybkou navazuje na staničení stávající trati.

Varianty řešení jsou uvažovány po ZP posledního směrového oblouku v koleji č. 1 před Rudolticemi. Tedy po bod, kdy je držena normová osová vzdálenost kolejí a obě koleje vedou na společném tělese. Do společného úseku u Rudoltic je zahrnut i pravostranný směrový oblouk v koleji č. 1, který je navržen pro rychlost dané varianty.

1.1 Stávající trať

Trasa stávající trati je součástí třetího železničního koridoru. Ten spojuje mimo jiné Plzeň, Prahu a Ostravu a zajišťuje spojení mezi Německem a Slovenskem.

V úseku Ústí – Česká Třebová vede trať podél řeky Třebovky. V tomto úseku jsou kvůli směrovým a výškovým poměrům omezené rychlosti. V úseku mezi Ústím a Dlouhou Třebovou je sice traťová rychlost $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Avšak za touto stanicí rychlost klesá až do České Třebové, kde je traťová rychlost $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. V úseku z České Třebové do Rudoltic kolísá traťová rychlost mezi 120 a $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Novostavba v úseku

Ústí – Rudoltice by uvolnila kapacitu stávající trati, včetně dopravního uzlu Česká Třebová, zkrátila by cestovní dobu osobních vlaků v tomto úseku a měla by dopad i na zvýšení kvality a rychlosti na části třetího železničního koridoru.

2. Směrové řešení

Odbočení ze stávající trati včetně mimoúrovňového křížení u Ústí je navrženo společné pro všechny varianty, stejně tak odbočení u Rudoltic. Pro jednotlivé varianty jsou oblouky v koleji č. 2 vždy navrženy s poloměrem o osovou vzdálenost menší nebo větší podle toho, zda se kolej č. 2 nachází uvnitř nebo vně oblouku. Přehled variant i společných úseků a zobrazenými úseky mostů a tunelů je zobrazen v příloze 1. Ve všech směrových obloucích jsou dodrženy mezní hodnoty návrhových parametrů dle normy ČSN 73 6360-1 [1].

2.1 Směrové řešení – společná část

Všechny společné části jsou zobrazeny v situacích jednotlivých variant, viz přílohy 2a – 5c.

2.1.1 Společná část u Ústí nad Orlicí

V tomto úseku je každá kolej vedena na samostatném tělese.

Kolej č. 1 se odpojuje od stávající trati v km 254,850 000 = ZÚ km 0,000 000, kam je vložen začátek výhybky 1 (dále jen ZV). Je použita výhybka v základním tvaru J60-1:26,5-2500-PHS pro rychlost v odbočné větvi $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Na výhybku navazuje pravostranný oblouk o poloměru $R = 950 \text{ m}$ a dále levostranný oblouk o poloměru $R = 950 \text{ m}$, ve kterém se nachází přemostění stávající trati délky 153 m (viz kapitola 5.4.2). Za tímto obloukem již navazují jednotlivé variantní řešení. V úseku stávající trati mezi km 255,110 000 a ZV dojde ke směrovému a výškovému vyrovnání koleje (dále jen SVVK). Parametry směrových oblouků jsou uvedeny v tabulce 1, staničení jejich významných bodů pak v tabulce 2.

Tabulka 1: Tabulka směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	R [m]	V [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	D [mm]	I [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
1	950	130	116	94	10,493913	35,956	9,9 V	9,9 V
2	950	130	116	94	31,609397	349,493	10 V	10 V
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
1	120,64	120,64	338,638	8 V	138,84	138,84	0,638	0,638
2	122,2	122,2	340,719	8,1 V	302,072	302,072	0,655	0,655

Tabulka 2: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	km 0,253 728	km 0,374 368	km 0,410 324	km 0,530 964
2	km 0,690 580	km 0,812 780	km 1,162 273	km 1,284 473

V koleji č. 2 je výhybka J60-1:26,5-2500-PHS vložena ve stejném staničení jako v koleji č. 1. V místě odbočení je navržena osová vzdálenost kolejí 5,0 m v souladu s normou ČSN 73 6320 [2]. Protože je v přilehlých úsecích osová vzdálenost kolejí 4,0 m, jsou před začátek výhybky vloženy dva protisměrné prosté kružnicové oblouky bez mezipřímé o poloměrech $R = 16\ 000$ m. Oba tyto oblouky jsou bez převýšení. Hodnota náhlé změny nedostatku převýšení pro rychlost $160\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (rychlost na stávající trati) je $\Delta I = 38\text{ mm} < \Delta I_n = 40\text{ mm}$ [1]. Před těmito oblouky dojde ke SVVK v délce 50 m. Za výhybkou následuje pravostranný oblouk o poloměru $R = 950$ m, na který po dodržení minimální hodnoty délky mezipřímé navazuje levostranný oblouk o stejném poloměru. Za tímto obloukem již vedou obě koleje na společném tělese a jsou zde navrženy jednotlivé varianty. V tabulkách 3 a 4 jsou uvedeny parametry směrových oblouků a staničení jejich významných bodů.

Tabulka 3: Tabulka směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	R [m]	V [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	D [mm]	I [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
1	16000	160	0	19	0,308429	77,517	-	-
2	16000	160	0	19	0,308429	77,517	-	-
3	950	130	116	94	15,293684	104,958	10,1 V	10,1 V
4	950	130	116	94	31,609397	335,973	11,1 V	11,1 V
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
1	-	-	-	-	38,758	38,758	-	-
2	-	-	-	-	38,758	38,758	-	-
3	123,26	123,263	342,198	8,2 V	176,366	176,366	0,666	0,666
4	135,72	135,72	359,073	9 V	308,868	308,868	0,808	0,808

Tabulka 4: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	-	km 255,100 000	km 255,022 483	-
2	-	km 255,022 483	km 254,944 967	-
3	km 0,239 450	km 0,362 713	km 0,467 671	km 0,590 934
4	km 0,746 787	km 0,822 507	km 1,218 480	km 1,354 200

2.1.2 Společná část u Rudoltic v Čechách

Řešení této části navazuje na danou variantu řešení. Návrhová rychlost v této společné části je $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, vyjma pravostranného směrového oblouku v koleji č. 1 navazujícího na variantu trasy. Tento úsek začíná začátkem přechodnice posledního směrového oblouku v koleji č. 1. Daný oblouk je parametry navržen na rychlost dané varianty. Parametry těchto oblouků jsou uvedeny v tabulce 5, staničení jejich významných bodů v tabulce 6. Po tomto směrovém oblouku následuje mezipřímá a poté je do koleje č. 1 vložena výhybka 1 tvaru J60-1:33,5-8000/4000/14000-PHS. Mezi ZV 1 a km 19,032 061 = km 16,730 000 trati 270 Česká Třebová – Přerov dojde ke SVVK.

Tabulka 5: Tabulka směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	R [m]	V [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	D [mm]	l [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
V1	2000	160	83	68	9,662528	170,757	12,20 V	12,20 V
V2	2800	200	84	85	9,662528	256,98	9,88 V	9,88 V
V3	3300	230	95	95	9,662528	282,37	10 V	10 V
V4	3800	250	97	98	9,662528	331,759	10 V	10 V
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
V1	132,8	132,8	515,364	10 V	218,496	218,496	0,367	0,367
V2	168	168	685,857	10 V	296,928	296,928	0,42	0,42
V3	218,5	218,5	849,150	10 V	360,208	360,208	0,603	0,603
V4	245	245	964,880	10,1 V	411,48	411,48	0,658	0,658

Tabulka 6: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
V1	km 16,452 049	km 16,584 849	km 16,755 606	km 16,888 406
V2	km 16,118 730	km 16,286 730	km 16,543 711	km 16,711 711
V3	km 16,009 986	km 16,228 486	km 16,510 856	km 16,729 356
V4	km 15,888 818	km 16,133 818	km 16,465 577	km 16,710 577

Řešení koleje č. 2 začíná v části, kde se pravostranným obloukem v koleji č. 1 zvětšuje vzájemná osová vzdálenost kolejí. První oblouk této části je o poloměru $R = 1350 \text{ m}$ a začíná v km 16,863 858. Tento oblouk je pravostranný s převýšením $D = 129 \text{ mm}$ a mimoúrovňově kříží stávající trať mostem o délce 170 m (viz kapitola 5.4.2). Dále po dodržení minimální délky mezipřímé [1] následuje levostranný oblouk o poloměru $R = 1400 \text{ m}$, kterým se již trasa dostává blízko ke stávající trati. Na tento oblouk navazuje mezipřímá, po které následuje výhybka 2 tvaru J60-1:33,5-8000/4000/14000-PHS se ZV v km 18,282 767. V místě odbočení je navržena osová vzdálenost kolejí $5,0 \text{ m}$ v souladu

s normou ČSN 73 6320 [2]. Protože je v přilehlých úsecích osová vzdálenost kolejí 4,0 m, jsou před začátek výhybky vloženy dva protisměrné prosté kružnicové oblouky bez mezipřímé o poloměrech $R = 16\ 000$ m. Oba tyto oblouky jsou bez převýšení. Hodnota náhlé změny nedostatku převýšení pro rychlost $160\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (rychlost na stávající trati) je $\Delta I = 38\text{ mm} < \Delta I_n = 40\text{ mm}$ [1]. SVVK je provedeno v úseku mezi km 16,730 000 stávající tratě a začátkem výhybky 2. Parametry všech směrových oblouků v tomto úseku jsou uvedeny v tabulce 7 a staničení jejich významných bodů v tabulce 8.

Tabulka 7: Tabulka směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	R [m]	V [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	D [mm]	I [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
1	1350	160	129	95	21,583979	210,024	16,3 V	16,3 V
2	1400	160	121	95	8,542663	35,863	10 V	10 V
3	16000	160	0	19	0,507703	127,6	-	-
4	16000	160	0	19	0,507703	127,6	-	-
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
1	247,68	247,68	578,245	12 V	355,199	355,199	1,893	1,893
2	35,863	35,863	461,302	7,9 V	170,111	170,111	0,688	0,688
3	-	-	-	-	63,800	63,800	-	-
4	-	-	-	-	63,8	63,8	-	-

Tabulka 8: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	km 16,863 858	km 17,111 538	km 17,321 563	km 17,569 243
2	km 17,682 931	km 17,834 931	km 17,870 794	km 18,022 794
3	-	km 18,362 919	km 18,490 519	-
4	-	km 18,490 519	km 18,618 119	-

2.2 Směrové řešení – varianta 1

Pro tuto variantu jsou poloměry směrových oblouků a ostatní parametry navrženy pro návrhovou rychlost $160\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Tato varianta začíná v km 1,400 000 a končí v km 16,452 049. Daná varianta trasy je vedena 15052 m na společném tělese. Osová vzdálenost kolejí pro rychlost $160\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ je 4,0 m [2].

Tato varianta je řešena čtyřmi směrovými oblouky. První oblouk v koleji č. 1 je pravostranný o poloměru $R = 2000$ m s převýšením $D = 83$ mm. Po něm následuje levostranný o poloměru $R = 2000$ m a poté opět pravostranný taktéž o poloměru

$R = 2000$ m, který má mnohem menší směrový úhel, tudíž delší kružnicovou část. Tímto obloukem se trasa stáčí jižně a jde rovnoběžně s vrstevnicemi. Po dlouhé mezipřímé je navržen poslední směrový oblouk této varianty, který má poloměr $R = 1500$ m, v jehož koncové části a poté v části přímé se nachází mimoúrovňové křížení se stávající tratí. V km 16,452 049 se zvětšuje osová vzdálenost kolejí a dále navazuje společný úsek. Výkresová část varianty 1 směrového řešení je v přílohách 2a – 2c. Parametry směrových oblouků koleje č. 1, resp. koleje č. 2 jsou uvedeny v tabulce 9 a tabulce 10. Staničení významných bodů jsou uvedena v tabulce 11 a tabulce 12.

Tabulka 9: Tabulka směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	R [m]	V [km·h ⁻¹]	D [mm]	I [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
1	2000	160	83	68	11,683751	234,256	12,20 V	12,20 V
2	2000	160	83	68	15,961162	368,635	12,20 V	12,20 V
3	2000	160	83	68	68,809902	2028,927	12,20 V	12,20 V
4	1500	160	111	91	60,993175	1259,518	12,19 V	12,19 V
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
1	132,8	132,8	515,364	10 V	250,476	250,476	0,367	0,367
2	132,8	132,8	515,364	10 V	318,483	318,483	0,367	0,367
3	132,8	132,8	515,364	10 V	1266,651	1266,651	0,367	0,367
4	177,6	177,6	516,140	10 V	868,330	868,330	0,876	0,876

Tabulka 10: Tabulka směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	R [m]	V [km·h ⁻¹]	D [mm]	I [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
1	2004	160	83	68	11,683751	234,990	12,20 V	12,20 V
2	1996	160	83	69	15,961162	367,632	12,02 V	12,02 V
3	2004	160	83	68	68,809902	2033,25	12,20 V	12,20 V
4	1496	160	111	91	60,993175	1255,686	12,19 V	12,19 V
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
1	132,8	132,8	515,879	10 V	250,844	250,844	0,367	0,367
2	132,8	132,8	514,848	10 V	317,979	317,979	0,368	0,368
3	132,8	132,8	515,879	10 V	1269,051	1269,051	0,367	0,367
4	177,6	177,6	515,451	10 V	866,254	866,254	0,878	0,878

Tabulka 11: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	km 1,706 147	km 1,838 947	km 2,073 203	km 2,206 003
2	km 3,077 433	km 3,210 233	km 3,578 868	km 3,711 668
3	km 7,095 172	km 7,227 972	km 9,256 899	km 9,389 699
4	km 13,282 640	km 13,460 240	km 14,719 758	km 14,897 358

Tabulka 12: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	km 1,703 453	km 1,836 253	km 2,071 243	km 2,204 043
2	km 3,078 214	km 3,211 014	km 3,578 645	km 3,711 445
3	km 7,094 950	km 7,227 750	km 9,261 000	km 9,393 800
4	km 13,286 741	km 13,464 341	km 14,720 026	km 14,897 626

2.3 Směrové řešení – varianta 2

Varianta 2 je navržena na rychlost $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Osová vzdálenost kolejí je 4,2 m [2].

Začátek úseku varianty 2 je v km 1,400 000 a konec v km 16,118 730. Prvním směrovým obloukem této varianty v koleji č. 1 je pravostranný oblouk o poloměru $R = 2700 \text{ m}$, na který dále navazuje levostranný o poloměru $R = 2700 \text{ m}$ a v těsném sledu další pravostranný oblouk o poloměru $R = 3500 \text{ m}$. Díky těmto dvěma obloukům se trasa vyhýbá zastavěné části obce Knapovec. Dále navazuje oblouk s menším směrovým úhlem, ve kterém se nachází tunel, jímž trasa překonává hřeben. Dále trasa pokračuje jižně, rovnoběžně ve směru vrstevnic, kde se směrovým obloukem o poloměru $R = 2500 \text{ m}$ stáčí ke stávající trati a mimoúrovňově ji křížuje. V tomto úseku vedou koleje ve stejné osově vzdálenosti 4,2 m, jižně od Rudoltic v Čechách, poté v km 16,188 730 začíná přechodnice směrového oblouku a navazuje společné řešení.

Výkresová část této varianty je zpracovaná v přílohách 3a – 3c. Parametry všech směrových oblouků této varianty jsou uvedeny v tabulce 13 pro kolej č. 1, pro kolej č. 2 v tabulce 14. Dále jsou v tabulce 15 a tabulce 16 uvedeny staničení významných bodů oblouků pro kolej č. 1, resp. pro kolej č. 2.

Tabulka 13: Tabulka směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	R [m]	V [km·h ⁻¹]	D [mm]	l [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
1	2700	200	88	87	15,297095	472,773	10,11 V	10,11 V
2	2700	200	88	87	26,080054	930,094	10,11 V	10,11 V
3	3500	200	67	68	13,377295	601,455	9,85 V	9,85 V
4	3000	200	79	79	61,561732	2743,028	10 V	10 V
5	2500	200	96	93	60,616751	2188,414	10,32 V	10,32 V
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
1	176	176	689,348	10 V	414,011	414,011	0,478	0,478
2	176	176	689,348	10 V	649,010	649,010	0,478	0,478
3	134	134	684,836	10 V	436,108	436,108	0,214	0,214
4	158	158	688,477	10 V	1654,401	1654,401	0,347	0,347
5	192	192	692,820	10 V	1385,417	1385,417	0,614	0,614

Tabulka 14: Tabulka směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	R [m]	V [km·h ⁻¹]	D [mm]	l [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
1	2650	200	87	92	15,297095	462,758	9,45 V	9,45 V
2	2695,8	200	88	88	26,080054	928,374	10 V	10 V
3	3504,2	200	67	68	13,377295	602,338	9,85 V	9,85 V
4	3004,2	200	79	79	61,561732	2747,09	10 V	10 V
5	2495,8	200	96	94	60,616751	2184,415	10,21 V	10,21 V
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
1	174	174	679,043	10 V	406,974	406,974	0,476	0,476
2	176	176	688,811	10 V	648,138	648,138	0,479	0,479
3	134	134	685,247	10 V	436,551	436,551	0,214	0,214
4	158	158	688,958	10 V	1656,606	1656,606	0,346	0,346
5	192	192	692,238	10 V	1383,252	1383,252	0,615	0,615

Tabulka 15: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	km 1,456 732	km 1,632 732	km 2,105 504	km 2,281 504
2	km 2,612 563	km 2,788 563	km 3,718 657	km 3,894 657
3	km 4,377 572	km 4,511 572	km 5,113 027	km 5,247 027
4	km 6,632 853	km 6,790 853	km 9,533 881	km 9,691 881
5	km 12,356 698	km 12,548 698	km 14,737 112	km 14,929 112

Tabulka 16: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	km 1,463 051	km 1,637 051	km 2,099 809	km 2,273 809
2	km 2,613 671	km 2,789 671	km 3,718 045	km 3,894 045
3	km 4,376 960	km 4,510 960	km 5,113 298	km 5,247 298
4	km 6,633 124	km 6,791 124	km 9,538 213	km 9,696 213
5	km 12,361 030	km 12,553 030	km 14,737 445	km 14,929 445

2.4 Směrové řešení – varianta 3

Tato varianta je navržena na rychlost $230 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Jako všechny ostatní varianty, i tato začíná v km 1,400 000 a je trasována až do bodu, kdy se zvětšuje osová vzdálenost kolejí z původních 4,5 m [2], tedy do km 16,000 986. Směrové řešení obsahuje čtyři směrové oblouky.

Trasa začíná pravostranným směrovým obloukem o poloměru $R = 3500 \text{ m}$, na který navazuje levostranný oblouk o poloměru $R = 2900 \text{ m}$, kterým trasa míjí zastavěné území obce Knapovec. Dále se nachází pravostranný směrový oblouk o poloměru $R = 3500 \text{ m}$, za nímž je trasa vedena rovnoběžně s vrstevnicemi jižně k Rudolticím, kde se nachází levostranný směrový oblouk o poloměru $R = 3300 \text{ m}$. V jeho druhé polovině se nachází most, který překonává údolí a na jehož konci se nachází mimoúrovňové křížení stávající trati.

V km 16,000 986 koleje č. 1 začíná přechodnice pravostranného oblouku o poloměru $R = 3300 \text{ m}$, kterým se koleje vzdalují od sebe a navazují na společný úsek. Parametry všech směrových oblouků této varianty jsou uvedeny v tabulce 17 a tabulce 18. Tabulky 19 a 20 uvádějí staničení významných bodů směrových oblouků pro kolej č. 1 a kolej č. 2. Této variantě pro směrové řešení přísluší přílohy 4a – 4c.

Tabulka 17: Tabulka směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	$R \text{ [m]}$	$V \text{ [km}\cdot\text{h}^{-1}]$	$D \text{ [mm]}$	$I \text{ [mm]}$	$\alpha \text{ [}^\circ]$	$L_i \text{ [m]}$	$n_{i,1} \text{ [-]}$	$n_{i,2} \text{ [-]}$
1	3500	230	89	90	11,505256	427,834	9,89 V	9,89 V
2	2900	230	130	86	13,789377	388,949	12,09 V	12,09 V
3	3500	230	89	90	70,798818	3687,668	9,89 V	9,89 V
4	3300	230	105	85	64,97538	3126,582	12,35 V	12,35 V
Oblouk	$L_{k1} \text{ [m]}$	$L_{k2} \text{ [m]}$	$A \text{ [m]}$	$n \text{ [-]}$	$T_1 \text{ [m]}$	$T_2 \text{ [m]}$	$m_1 \text{ [m]}$	$m_2 \text{ [m]}$
1	204,7	204,7	846,430	10 V	419,523	419,523	0,499	0,499
2	239,2	239,2	832,870	8 V	434,991	434,991	0,822	0,822
3	204,7	204,7	846,430	10 V	2277,781	2277,781	0,499	0,499
4	241,5	241,5	892,720	10 V	1968,407	1968,407	0,736	0,736

Tabulka 18: Tabulka směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	R [m]	V [km·h ⁻¹]	D [mm]	l [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
1	3504,5	230	89	90	11,505256	428,648	9,89 V	9,89 V
2	2895,5	230	130	86	13,789377	387,974	12,09 V	12,09 V
3	3504,5	230	89	90	70,798818	3692,673	9,89 V	9,89 V
4	3295,5	230	105	85	64,975380	3121,989	12,35 V	12,35 V
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
1	204,7	204,7	846,977	10 V	419,931	419,931	0,498	0,498
2	239,2	239,2	832,228	8 V	434,502	434,502	0,823	0,823
3	204,7	204,7	846,977	10 V	2280,578	2280,578	0,498	0,498
4	241,5	241,5	892,111	10 V	1965,889	1965,889	0,737	0,737

Tabulka 19: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	km 1,828 979	km 2,033 679	km 2,461 513	km 2,666 213
2	km 2,988 691	km 3,227 891	km 3,616 840	km 3,856 040
3	km 6,079 299	km 6,283 999	km 9,971 667	km 10,176 367
4	km 11,593 133	km 11,834 633	km 14,961 215	km 15,202 715

Tabulka 20: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	km 1,828 979	km 2,033 679	km 2,462 327	km 2,667 027
2	km 2,989 504	km 3,228 704	km 3,616 678	km 3,855 878
3	km 6,079 138	km 6,283 838	km 9,976 510	km 10,181 210
4	km 11,597 977	km 11,839 477	km 14,961 466	km 15,202 966

2.5 Směrové řešení – varianta 4

Tato varianta je navržena na rychlost 250 km·h⁻¹ s osovou vzdáleností kolejí 4,5 m [2]. Trasa začíná pravostranným obloukem o poloměru $R = 4000$ m, na který dále navazuje levostranný a poté pravostranný oblouk, oba o poloměru $R = 3500$ m. Následně je navržen oblouk o poloměru $R = 3800$ m, který trasu pod vrcholem směřuje jižně směrem k Rudolticím. Dále je zde umístěn oblouk o poloměru $R = 4200$ m, na jehož konci dochází k překonání stávající trati mimoúrovňově. V km 15,888 818 se od sebe koleje vzdalují a navazují na společný úsek. Parametry směrových oblouků i mezipřímých jsou navrženy pro standardní hodnoty, s výjimkou nedostatků převýšení, které jsou navrženy na mezní hodnoty pro danou rychlost dle normy [1]. Parametry směrových oblouků jsou uvedeny v tabulce 21 pro kolej č. 1 a v tabulce 22 pro kolej č. 2. V tabulkách 23 a 24

je uvedeno staničení významných bodů směrových oblouků pro kolej č. 1 a kolej č. 2. Směrovému řešení této varianty přísluší přílohy 5a – 5c.

Tabulka 21: Tabulka směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	R [m]	V [km·h ⁻¹]	D [mm]	l [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
1	4000	250	92	93	11,863626	512,914	10 V	10 V
2	3500	250	125	86	21,101047	847,591	14,53 V	14,53 V
3	3500	250	115	96	9,059130	210,552	11,98 V	11,98 V
4	3800	250	124	71	68,092814	3816,478	13,97 V	13,97 V
5	4200	250	88	88	64,375208	4027,054	10 V	10 V
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
1	232,5	232,5	964,36	10,11 V	490,089	490,089	0,563	0,563
2	312,5	312,5	1045,82	10 V	741,849	741,849	1,162	1,162
3	287,5	287,5	1003,12	10 V	393,259	393,259	0,984	0,984
4	248	248	970,77	8 V	2375,449	2375,449	0,674	0,674
5	220	220	961,25	10 V	2435,377	2435,377	0,480	0,480

Tabulka 22: Tabulka směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	R [m]	V [km·h ⁻¹]	D [mm]	l [mm]	α [°]	L_i [m]	$n_{i,1}$ [-]	$n_{i,2}$ [-]
1	4004,5	250	92	93	11,863626	513,752	10 V	10 V
2	3495,5	250	125	86	21,101047	846,099	14,53 V	14,53 V
3	3504,5	250	115	96	9,059130	211,192	11,98 V	11,98 V
4	3804,5	250	124	70	68,092814	3821,291	14,17 V	14,17 V
5	4195,5	250	88	88	64,375208	4022,504	10 V	10 V
Oblouk	L_{k1} [m]	L_{k2} [m]	A [m]	n [-]	T_1 [m]	T_2 [m]	m_1 [m]	m_2 [m]
1	232,5	232,5	964,90	10,11 V	490,509	490,509	0,562	0,562
2	312,5	312,5	1045,15	10 V	741,096	741,096	1,164	1,164
3	287,5	287,5	1003,76	10 V	393,58	393,58	0,983	0,983
4	248	248	971,34	8 V	2378,115	2378,115	0,674	0,674
5	220	220	960,73	10 V	2432,886	2432,886	0,481	0,481

Tabulka 23: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 1

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	km 1,613 944	km 1,846 444	km 2,359 358	km 2,591 858
2	km 2,776 770	km 3,089 270	km 3,936 861	km 4,249 361
3	km 4,763 144	km 5,050 644	km 5,261 196	km 5,548 696
4	km 5,840 469	km 6,088 469	km 9,904 947	km 10,152 947
5	km 11,050 730	km 11,270 730	km 15,297 785	km 15,517 785

Tabulka 24: Tabulka staničení významných bodů směrových oblouků koleje č. 2

Oblouk	ZP	KP = ZO	KO = ZP	KP
1	km 1,613 944	km 1,846 444	km 2,360 197	km 2,592 697
2	km 2,777 609	km 3,090 109	km 3,936 208	km 4,248 708
3	km 4,762 491	km 5,049 991	km 5,261 183	km 5,548 683
4	km 5,840 457	km 6,088 457	km 9,909 748	km 10,157 748
5	km 11,055 531	km 11,275 531	km 15,298 035	km 15,518 035

3. Výškové řešení

Výškové řešení je navrženo s ohledem na dodržení maximálního podélného sklonu 25 ‰ a standardních délek úseků s jednotným sklonem [1]. Byla snaha dodržet také mezní hodnoty poloměrů výškových zakružovacích oblouků, nicméně v některých případech byly dodrženy pouze hodnoty minimální. Dodržení mezních hodnot by totiž znamenalo nutnou úpravu směrového vedení trasy a neúměrné navýšení záborů pozemků.

Výškově (kromě společných částí) je navržena niveleta koleje č. 1, kolej č. 2 se předpokládá ve shodné výšce jako kolej č. 1. Sklon stávající trati v místě výhybky 1 a 2 u Ústí je 3,70 ‰, na tento sklon navazuje společná část. V místě odbočení u Rudoltic je trasa navržena ve sklonu 6,50 ‰ (sklon stávající trati).

3.1 Výškové řešení – společná část

Výkresová část k následujícím společným částem výškového řešení je uvedena v příloze 10.

3.1.1 Společná část u Ústí nad Orlicí

Jelikož je tato část navržena na rychlost $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, první lom nivelety v koleji č. 1, který je zároveň posledním v této společné části, je zaoblen výškovým zakružovacím obloukem o poloměru $R_v = 6800 \text{ m}$. Tímto lomem nivelety se trať dostává do sklonu 24,88 ‰, aby bylo možné se v následujícím úseku dostat co nejvýše v části překračování hřebenu a tím snížit délku nutných tunelů. Tento lom se nachází v km 0,175 989. Parametry tohoto lomu jsou uvedeny v tabulce 25. Trať začíná ve sklonu 3,70 ‰, z důvodu napojení na stávající trať, ve které je tentýž sklon.

Tabulka 25: Parametry a staničení lomu sklonu nivelety koleje č. 1

Staničení	Výška [Bpv]	Sklon před [‰]	Sklon za [‰]	R_v [m]	t_z [m]	y_v [m]
km 0,175 989	331,684	+3,70	+24,88	6800	72,0	0,381

Kolej č. 2 je v tomto úseku řešená pomocí dvou lomů sklonu, oba s poloměrem výškového zakružovacího oblouku $R_v = 1200 \text{ m}$. Tato společná část končí v km 1,354 200, což se rovná km 1,358 200 koleje č. 1 ve výšce 351,101 m Bpv se sklonem 24,88 ‰.

Odtud vedou obě koleje ve stejné výškové úrovni a kolej č. 2 přebírá staničení z koleje č. 1. V tabulce 26 jsou uvedeny parametry lomů sklonu nivelety koleje č. 2 v tomto společném úseku.

Tabulka 26: Parametry a staničení lomů sklonu nivelety koleje č. 2

Staničení	Výška [Bpv]	Sklon před [‰]	Sklon za [‰]	R_v [m]	t_z [m]	y_v [m]
km 0,144 660	332,484	+3,70	+11,31	12000	44,9	0,084
km 0,982 332	341,850	+11,31	+24,88	12000	82,2	0,281

3.1.2 Společná část u Rudoltic v Čechách

Kolej č. 1 se napojuje na stávající trať ve sklonu shodném se sklonem stávající trati, tj. sklonem -6,50 ‰ ve výšce 362,060 m Bpv. Kolej č. 2 ve společné části začíná v km 15,888 818, kde přebírá staničení varianty 4, s výškou koleje 386,639 Bpv. Obsahuje 4 lomy sklonu, jejichž poloha, výška a další parametry jsou uvedeny v tabulce 27.

Tabulka 27: Parametry a staničení lomů sklonu nivelety koleje č. 2

Staničení	Výška [Bpv]	Sklon před [‰]	Sklon za [‰]	R_v [m]	t_z [m]	y_v [m]
km 16,368 146	380,201	-13,43	+1,91	12000	92,057	0,353
km 17,216 942	381,823	+1,91	-24,62	6800	90,193	0,598
km 17,624 847	371,782	-24,62	-13,74	8800	47,838	0,130
km 18,075 645	365,586	-13,74	-6,5	12000	43,464	0,079

3.2 Výškové řešení – varianta 1

První varianta je řešena sedmi výškovými zakružovacími oblouky. Poloměry těchto oblouků jsou ve shodě s mezní hodnotou pro rychlost $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ dle normy [1]. Vedení nivelety bylo navrženo ve snaze co nejvíce se přiblížit stávajícímu terénu a minimalizovat tím zemní práce. Parametry a staničení lomů sklonu nivelety jsou uvedeny v tabulce 28. V příloze 6 je zobrazeno grafické řešení této varianty.

Tabulka 28: Parametry a staničení lomů sklonu nivelety

Staničení	Výška [Bpv]	Sklon před [‰]	Sklon za [‰]	R_v [m]	t_z [m]	y_v [m]
km 6,249 889	482,803	+24,88	-7,43	12000	193,864	1,566
km 8,003 662	469,771	-7,43	-23,23	12000	94,800	0,374
km 9,056 634	445,310	-23,23	+3,65	12000	161,286	1,084
km 10,327 179	449,948	+3,65	-23,40	12000	162,285	1,097
km 11,893 727	413,295	-23,40	-4,17	12000	115,335	0,554
km 14,133 034	403,947	-4,17	-5,66	12000	8,939	0,003
km 15,586 826	395,712	-5,66	-13,43	12000	46,597	0,090

3.3 Výškové řešení – varianta 2

Výškové řešení této varianty je navrženo pro rychlost 200 km·h⁻¹. Je tvořeno šesti lomy nivelety. Varianta začíná v km 1,400 000 stoupajícím sklonem 24,88 ‰, který umožňuje zkrácení tunelových úseků. První lom nivelety s výškovým zakružovacím obloukem o poloměru $R_v = 16000$ m se nachází v km 7,186 117, což je zároveň nejvyšší bod dané trasy. Z tohoto bodu trasa již v proměnlivém sklonu klesá až k napojení do společného úseku. Staničení lomů sklonu této varianty a jejich další parametry jsou uvedeny v tabulce 29. Podélný profil této varianty je v příloze 7.

Tabulka 29: Parametry a staničení lomů sklonu nivelety

Staničení	Výška [Bpv]	Sklon před [‰]	Sklon za [‰]	R_v [m]	t_z [m]	y_v [m]
km 7,186 117	506,096	+24,88	-19,96	16000	358,725	4,021
km 9,992 120	470,047	-19,96	+4,00	16000	191,685	1,148
km 10,280 828	475,202	+4,00	-24,85	16000	230,829	1,665
km 12,053 625	431,142	-24,85	-15,34	16000	76,104	0,181
km 13,231 243	413,076	-15,34	-7,43	16000	63,253	0,125
km 15,038 963	399,637	-7,43	-13,43	16000	47,981	0,072

3.4 Výškové řešení – varianta 3

Tato varianta obsahuje pouze pět lomů sklonu z důvodu dodržení daných poloměrů výškových zakružovacích oblouků a standardních hodnot vzdáleností lomů sklonu [1], které rostou společně s rostoucí rychlostí. Parametry i staničení lomů sklonu nivelety jsou uvedeny v tabulce 30. Podélný profil této varianty je uveden v příloze 8.

Tabulka 30: Parametry a staničení lomů sklonu nivelety

Staničení	Výška [Bpv]	Sklon před [‰]	Sklon za [‰]	R_v [m]	t_z [m]	y_v [m]
km 6,766 292	495,647	+24,88	-11,47	20000	363,536	3,304
km 9,064 985	469,273	-11,47	+2,32	20000	137,942	0,476
km 10,488 435	472,576	+2,32	-21,72	20000	240,449	1,445
km 13,413 244	409,037	-21,72	-7,22	20000	145,081	0,526
km 15,309 590	395,352	-7,22	-13,43	20000	62,154	0,097

3.5 Výškové řešení – varianta 4

Pro tuto variantu bylo klíčovým prvkem dodržení standardních hodnot vzdáleností mezi lomy sklonu [1]. Proto je v této variantě, i díky členitému terénu, větší množství mostů i tunelů. Daná varianta je tedy řešena čtyřmi lomy sklonu, pomocí nichž bylo snahou se co nejvíce přiblížit terénu trasy. Jejich umístění a další parametry jsou uvedeny v tabulce 31.

Tabulka 31: Parametry a staničení lomů sklonu nivelety

Staničení	Výška [Bpv]	Sklon před [‰]	Sklon za [‰]	R_v [m]	t_z [m]	y_v [m]
km 7,501 482	513,943	+24,88	-5,51	22000	334,257	2,539
km 9,239 869	504,369	-5,51	-20,77	22000	167,843	0,640
km 13,858 983	408,451	-20,77	-8,69	22000	132,818	0,401
km 15,008 988	398,457	-8,69	-13,43	22000	52,147	0,062

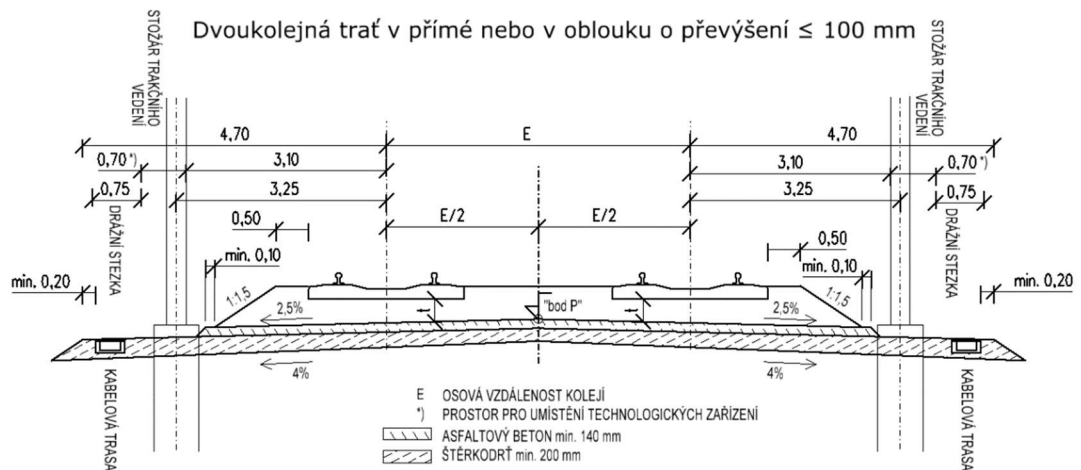
4. Konstrukce železničního svršku

Železniční svršek je tvořen kolejnicemi 60 E2, které jsou svařeny do bezстыkové koleje. Kolejnicové pásy jsou uloženy na betonových pražcích délky 2,600 m a hmotnosti min. 300 kg s rozdělením „u“. Upevnění je navrženo pružné bezpodkladnicové. Tloušťka kolejového lože pod pražcem je 350 mm. Kolejové lože je tvořeno štěrkem frakce 31,5/63.

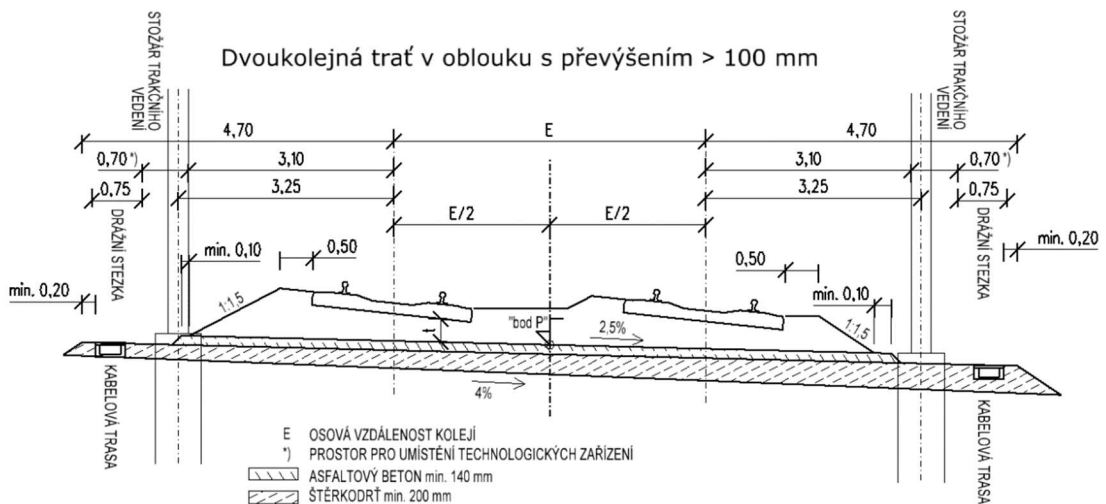
Pro varianty 1 a 2 je kolejové lože navrženo dle předpisu SŽ S3 [4] se sklony svahů 1:1,25. Pro varianty 3 a 4 je kolejové lože navrženo dle Manuálu pro projektování VRT ve stupni DÚR [3]. Hrana kolejového lože je vzdálena 500 mm od okraje hlavy pražce. Sklon kolejového lože je v tomto případě 1:1,5.

5. Konstrukce železničního spodku

Rozměr PTŽS je pro varianty 1 a 2 vždy min. 3,200 m od osy přilehlé koleje. Varianty 3 a 4 se řídí Manuálem pro projektování VRT ve stupni DÚR [3], a proto jsou rozměry PTŽS navrženy dle obrázku 1 – pro kolej v přímé a v oblouku s převýšením ≤ 100 mm, resp. obrázku 2 – pro kolej v oblouku s převýšením > 100 mm.



Obrázek 1: Rozměry PTŽS pro dvoukolejnou trať v přímé nebo ve směrovém oblouku s převýšením ≤ 100 mm [3]



Obrázek 2: Rozměry PTŽS pro dvoukolejnou trať ve směrovém oblouku s převýšením > 100 mm [3]

5.1 Konstrukce pražcového podloží

Podle údajů uvedených v geologické mapě [5] je podloží v oblasti navrhované trati velmi proměnné. Proto byla po konzultaci se zástupcem SŽ v celém úseku uvažována

jednotná konstrukce pražcového podloží na náspu a v zářezu. Násyp je ve všech variantách uvažován ze zlepšených zemin. V rámci této práce nebyly navrženy přechodové oblasti mostu.

Pro variantu 1 je uvažováno s konstrukční vrstvou z ŠD 0/32 kv tloušťky 0,4 m v zářezu i na náspu. Dále je uvažováno s podkladní vrstvou z DK 0/90 tloušťky 0,5 m v zářezu (případně cementobetonové stabilizace, dle úrovně podzemní vody).

Ve variantě 2 je v zářezu navržena konstrukční vrstva z ŠD 0/63 kv tloušťky 0,4 m a dále podkladní vrstvy z ŠD 0/63 kv tloušťky 0,30 m a z DK 0/90 tloušťky 0,5 m (případně cementobetonové stabilizace). Na náspu je navržena konstrukční vrstva z ŠD 0/63 kv tloušťky 0,4 m a podkladní vrstva z drceného kameniva 0/90 tloušťky 0,25 m.

Pražcové podloží varianty 3 i 4 je navrženo shodně, a to jako vrstva z asfaltového betonu (dále AC) tloušťky 0,14 m a ŠD 0/32 kv tloušťky 0,2 m pro zářez i násyp. Dále je pro zářez navržena podkladní vrstva z ŠD 0/63 kv tloušťky 0,4 m a DK 0/90 tloušťky 0,5 m (případně cementobetonové stabilizace). Pro násyp je navržena podkladní vrstva z ŠD 0/63 kv tloušťky 0,35 m.

5.2 Těleso železničního spodku

Svahy jsou navrženy s lomeným sklonem s výškou svahu o stejném sklonu vždy max. 6 m. Dle geologické mapy [5] je podloží v místě navrhované trati velmi proměnné. Z tohoto důvodu byly v této práci navrženy sklony svahů v délce trati jednotně, v základním sklonu 1:2, 1:2,25 a 1:2,5 [6]. V žádné z variant se nepředpokládá zřízení svahových stupňů v základové spáře náspu.

V rámci této práce se před započítáním výkopových prací předpokládá skrývka ornice tloušťky 0,15 m, která bude skladována a později použita na ohumusování svahů. To bude provedeno na svazích tělesa v náspu i svazích v zářezu, a to v tloušťce 0,15 m.

5.3 Odvodnění

Plán tělesa železničního spodku je pro varianty 1 i 2 v souladu s předpisem SŽ S4 [6] ve střešovitém sklonu 5 %, téhož sklonu je také zemní plán a subplán. Pro varianty 3 a 4 je podle Manuálu pro projektování VRT ve stupni DÚR [4] PTŽS navržena ve střešovitém sklonu v přímých úsecích a v obloucích s převýšením do 100 mm včetně, viz obrázek 1.

V obloucích s převýšením > 100 mm je navržena jednostranně skloněná PTŽS i zemní pláň, viz obrázek 2. Příčný sklon PTŽS je 2,5 %, sklon zemní pláně i subpláně je 4 %.

Pro jednotlivé varianty je navrženo podélné odvodnění. Jeho průběh je zobrazen v podélných profilech, viz přílohy 6 – 9. Předpokládá se, že bude provedeno pomocí zpevněných příkopů. Bude odvádět vodu svedenou z PTŽS i zemní pláně v zářezech a v náspech s příkloněným terénem. Podélné příkopy mají sklon vždy $\geq 3 \%$. V místech, kde není zřízen zpevněný příkop, je uvažováno s odvedením vody volně na terén.

5.4 Stavby železničního spodku

Stavby železničního spodku jsou významnou položkou investičních nákladů. Proto byla snaha o jejich minimalizaci a vedení kolejí v největší možné míře na svahovaném zemním tělese.

5.4.1 Tunely

Kvůli nutnosti překonání hřebenu byly v každé variantě navrženy alespoň dva tunely. Tunely jsou uvažovány jako dvoukolejné, jejich délky i staničení jsou uvedeny v tabulce 32.

Tabulka 32: Staničení a délky tunelů v jednotlivých variantách

		Staničení		Délka [m]
Varianta 1	km	5,159 000	km 5,910 000	751
	km	6,930 000	km 7,845 000	915
Celkem V1				1666
Varianta 2	km	5,000 000	km 5,925 000	925
	km	7,150 000	km 8,550 000	1400
Celkem V2				2325
Varianta 3	km	5,200 000	km 5,920 000	720
	km	7,050 000	km 8,600 000	1550
Celkem V3				2270
Varianta 4	km	5,050 000	km 5,840 000	790
	km	7,350 000	km 8,550 000	1200
	km	10,150 000	km 10,700 000	550
Celkem V4				2540

5.4.2 Mosty

Ve společné části u Ústí je navržen jednokolejný most, který převádí kolej č. 1 přes stávající trať. Obdobný most je navržen i na společném úseku u Rudoltic, avšak zde se most přes stávající trať nachází v koleji č. 2.

V jednotlivých variantách se taktéž nachází několik mostů za účelem přemostění stávající trati mezi Rudolticemi a Českou Třebovou nebo překonání hlubokého údolí. Všechny mosty navržené pro tato řešení jsou i s jejich umístěním a délkami uvedeny v tabulce 33. V místech mimoúrovňového křížení železničních tratí je navržen rozdíl nivelet min. 11 m. Pro zjištění orientačních šířek mostních objektů, potřebných k jejich nacenění byla použita norma ČSN 73 6201 [7].

Tabulka 33: Staničení a délky mostů v jednotlivých úsecích

		Staničení		Délka [m]
Varianta 1	km	4,700 000	km 4,860 000	160
	km	6,021 000	km 6,314 000	293
	km	14,650 000	km 15,000 000	350
Celkem V1				803
Varianta 2	km	4,625 000	km 4,880 000	255
	km	6,100 000	km 6,750 000	650
	km	13,725 000	km 14,720 000	995
Celkem V2				1900
Varianta 3	km	4,675 000	km 4,850 000	175
	km	6,050 000	km 6,720 000	670
	km	13,900 000	km 14,700 000	800
Celkem V3				1645
Varianta 4	km	4,610 000	km 4,885 000	275
	km	5,950 000	km 6,260 000	310
	km	6,490 000	km 6,760 000	270
	km	8,840 000	km 9,410 000	570
	km	13,025 000	km 14,680 000	1655
Celkem V4				3080
Společný úsek Ústí – kolej č. 1	km	0,670 000	km 0,823 000	153
Společný úsek Rudoltice – kolej č. 2	km	17,080 000	km 17,220 000	140

5.4.3 Propustky

Pro potřeby nacenění je délka propustků pro všechny uvažována jednotně, a to 2 m. Staničení propustků jednotlivých variant uvedeno v tabulce 34.

Tabulka 34: Tabulka propustků

Varianta 1	km	9,150 000
	km	16,250 000
Varianta 2	km	9,028 000
	km	13,200 000
	km	16,000 000
Varianta 3	km	9,000 000
	km	10,100 000
	km	13,200 000
Varianta 4	km	12,600 000

6. Nacenění variant

Nacenění bylo provedeno pro všechny varianty ve stejném rozsahu. Uvažováno bylo s konstrukcí železničního svršku i spodku, stavbami železničního spodku a trakčním zařízením. Pro varianty 3 a 4 bylo jakožto pro vysokorychlostní tratě zahrnuto do nacenění i jejich oplocení.

Nacenění bylo provedeno podle Sborníku pro oceňování železničních staveb ve stupni studie [8]. Celkové ceny jednotlivých variant jsou uvedeny v tabulce 35.

Tabulka 35: Ceny jednotlivých variant

Varianta	Celková cena [mil. Kč]
1	8637,68
2	11694,31
3	13020,75
4	16890,39

Kvůli nedostatku informací pro určení příslušných koeficientů nebylo uvažováno s žádnými riziky. Je však možné, že se vlivem jejich započítání mohou uvedené ceny navýšit. Podrobnější informace o jednotkových cenách, měrných jednotkách a cenách za jednotlivé položky u daných variant uvádí příloha 15.

7. Porovnání variant

Jednotlivé varianty se vzájemně liší rychlostmi, délkou mostních i tunelových objektů a zejména výškou počáteční investice. Pro přehlednější srovnání uvádím tabulku 36, kde jsou vidět základní parametry jednotlivých variant.

Tabulka 36: Základní parametry jednotlivých variant

Varianta	Délka trasy [km]	V [km·h ⁻¹]	Počet mostů	Celková délka mostů [m]
1	15,052 049	160	3	803
2	14,718 730	200	3	1900
3	14,600 986	230	3	1645
4	14,488 818	250	5	3080
Počet tunelů	Celková délka tunelů [m]	Výkop [m ³]	Násyp [m ³]	Nacenění SPOŽES [mil. Kč]
2	1666	1 073565	1 948652	8637,7
2	2325	1 083675	1 479599	11694,3
2	2270	1 794710	1 665643	13020,8
3	2540	1 785917	1 550699	16890,4

Všechny varianty jsou poměrně rozsáhlé a náročné, co se týče zemních prací. Z hlediska jejich vyrovnanosti je nejlépe navržena varianta 3, u varianty 1 převyšují násypy nad výkopy téměř dvojnásobně.

Pro variantu 1 se zejména díky nízké rychlosti podařilo snížit délku mostů a tunelů a tím i velmi snížit počáteční investici. Naopak varianta 4 převyšuje nad ostatními svou návrhovou rychlostí, ale za to téměř dvojnásobnou délkou mostů oproti variantě 3. Také její stavební náklady jsou vyšší.

Varianty 2 a 3 jsou téměř vyrovnané z pohledu celkové délky mostů a tunelů, je zde však poměrně velký rozdíl v zemních pracích. Nacenění těchto variant ukazuje o něco ekonomičtější návrh ve prospěch varianty 2.

Pro účely dalšího porovnání variant jsem provedla multikriteriální hodnocení. Pro vybraná kritéria jsem dle vlastního uvážení určila váhy a poté přiřadila číselné hodnocení jednotlivým variantám. Číselné hodnocení odpovídá dané návrhové rychlosti a nacenění dle SPOŽES. Celkové skóre pro jednotlivé varianty jsem následně určila jako součin váhy návrhové rychlosti a hodnoty pro danou variantu dělené součinem váhy

nacenení dle SPOŽES a její hodnoty. Váhy jednotlivých kritérií a hodnocení variant jsou uvedeny v tabulce 37.

Tabulka 37: Multikriteriální hodnocení variant

Kritérium	Váha	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Návrhová rychlost	0,35	160	200	230	250
Nacenení dle SPOŽES	0,65	8637,7	11694,3	13020,8	16890,4
Celkové skóre ($\cdot 10^{-3}$)		9,97	9,21	9,51	7,97

Varianta 1 má nejvyšší celkové skóre, což naznačuje nejlepší kombinaci návrhové rychlosti a investičních nákladů. Na druhé příčce se umístila varianta 3, kde je poměr prověřovaných kritérií stále příznivý. Naopak velice nevýhodně v tomto porovnání vychází varianta 4, kdy je sice vyšší návrhová rychlost, ale tomu neúměrně vysoké investiční náklady.

Na základě multikriteriálního hodnocení uvedeného v tabulce 37 hodnotím variantu 1 jako nejvýhodnější. Nabízí nejlepší kombinaci návrhové rychlosti a nacenení dle sborníku SPOŽES.

8. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytipování možného směrového i výškového vedení trasy v úseku Ústí nad Orlicí – Rudoltice v Čechách. Byly navrženy čtyři varianty směrového i výškového vedení trasy se společným napojením na stávající trať u Ústí a Rudoltic. Výhodou této trasy je zkrácení cestovní doby a zároveň snížení vytíženosti dopravního uzlu Česká Třebová.

Rozdíly mezi jednotlivými variantami byly dány zejména jejich rozdílnými návrhovými rychlostmi, které ovlivňují řadu návrhových parametrů. Po srovnání různých aspektů daných variant se přikláním k řešení zobrazeném variantou 1, které je vhodným kompromisem mezi mírou požadovaného zvýšení rychlosti a zkrácení úseku a předpokládaných investičních nákladů.

Investiční náklady byly zpracovány dle relevantnosti a dohledatelnosti daných položek a dostupných podkladů. Je možné, že další nacenění zahrnující položky, které nebyly součástí této práce, i rizikový faktor prokáže jinou výši investičních nákladů.

Literatura

- [1] ČSN 73 6360-1. *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1: Projektování*. Praha: ÚNMZ, 2021.
- [2] ČSN 73 6320. *Průjezdne průřezy na drahách celostátní, drahách regionálních a místních a vlečkách normálního rozchodu - Národní požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [3] SŽ PO-16/2020-GŘ. *Manuál pro projektování vysokorychlostních tratí ve stupni dokumentace pro vydání územního rozhodnutí*. Praha: Správa železnic, s. o., 2021.
- [4] SŽDC S3. *Železniční svršek*. Ve znění opravy č. 1. Praha: Správa železnic, s.o., 2022.
- [5] *Geologická mapa*. Česká geologická služba [online]. Česká geologická služba [vid. 17.5.2024].
Dostupné z: https://mapy.geology.cz/geological_map500/?locale=cz.
- [6] SŽ S4. *Železniční spodek*. Ve znění změny č. 1. Praha: Správa železnic, s. o., 2024.
- [7] ČSN 73 6201. *Projektování mostních objektů*. Praha: ÚNMZ, 2008.
- [8] *Sborník pro oceňování železničních staveb ve stupni studie (SPOŽES)*. SFDI, 2024.
Dostupné z: <https://www.sfdi.cz/pravidla-metodiky-a-ceniky/cenove-databaze/>.