

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Provozní parametry jeřábových drah

diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Autor práce: Bc. Ondřej Blahák

PRAHA 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Ondřej Blahák

obor Technologická zařízení staveb

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Provozní parametry jeřábových drah**

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Rozdělení jeřábů
4. Jeřábové dráhy
5. Výsledky měření a jejich diskuse
6. Návrh na zlepšení současného stavu
7. Závěr
8. Seznam literatury
9. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

Doporučené zdroje:

1. □ Remta, F.-Kupka, L.-Dražan, F.: Jeřáby. SNTL, Praha, 1975
2. □ Heřmanský, L.: Příručka jeřábníka. DK ROH, Trutnov, 1988, 238 s.
3. □ Anonym: Revizní a provozní technici zdvihacích zařízení. DT ČSVTS, Ústí nad Labem, 1989, 113 s.
4. Nosek, F. et al.: Základní profesní příprava jeřábníka. VÚHŽ, Ostrava, 1992, 172 s.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem poznatky uvedené v příloženém seznamu literatury. Další informace a pomoc při realizaci praktické části mi poskytli pracovníci geodetické společnosti Ags spol. s r.o., jmenovitě Ing. Karel Aldorf, Vladimír Beran, Tomáš Beran a Markéta Butalová, a pracovníci Dopravního podniku hl. m. Prahy, divize Metro, Depo Hostivař. Za cenné rady a připomínky při zpracování bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Pavlu Kicovi, DrSc.

Abstrakt: Cílem předložené práce je shromáždění poznatků a zhodnocení stavu v oblasti provozních parametrů jeřábových drah, především z hlediska dodržení geometrických charakteristik kolejnic a návrh systému pro jejich sledování. V první části je pojednáno o obecných vlastnostech a rozdělení jeřábových zařízení s důrazem na možnosti pojezdu, v další části jsou pak popsány základní provozní a geometrické charakteristiky jeřábových drah včetně možností jejich monitorování a rektifikace. V poslední části práce je navržena metoda pro zjednodušení provozních kontrol základních geometrických parametrů kolejnice, především přímosti ve vodorovném a svislém směru, vycházející z principů jednosnímkové fotogrammetrie, která při použití běžně dostupné techniky digitální fotografie umožní provozním technikům včasné odhalení překročení provozních tolerancí a získání podkladů pro rektifikaci.

Klíčová slova: jeřábová dráha, provozní parametry, rektifikace, přímost kolejnice

Operational parameters of traveller rails of cranes

Summary: The objective of this submitted work is to gather findings and evaluate the situation in the field of the operational parameters of crane traveller rails, primarily from the perspective of maintaining the geometric characteristics of the rails, and to propose a system for their monitoring. The first part covers the general properties and the division of crane equipment with an emphasis on the possibility of travel, while the next part describes the basic operational and geometric characteristics of crane traveller rails including possibilities for their monitoring and rectification. The final part of the work includes a proposed method of simplifying the operational controls of the basic geometric parameters of the rail, primarily the straightness in the horizontal and vertical directions; this method departs from the principles of single-image photogrammetry which, when using normally accessible techniques of digital photography, enables operational technicians to timely detect excesses of operational tolerances and acquire bases for subsequent rectification.

Key Words: crane traveller rail, operational parameters, rectification, rail straightness

Obsah:

1 Úvod	1
2 Cíl práce a metodika	3
3 Obecně o jeřábech. Rozdělení jeřábů	4
3.1 Základní pojmy, základní prvky jeřábové konstrukce	4
3.2 Požadavky na jeřáby. Obecná pravidla pro výpočet rozměrových a výkonových parametrů. Předpisy.....	5
3.3 Standardní kategorie pro rozdělení jeřábů	7
3.4 Pojízdne jeřáby a jejich dělení podle tvaru jeřábové konstrukce	9
3.4.1 Mostové jeřáby	9
3.4.2 Portálové jeřáby	11
3.4.3 Konzolové jeřáby	12
3.4.4 Pojízdne sloupové a věžové jeřáby	13
3.4.5 Lanové jeřáby	14
3.4.6 Kolejové, silniční, pásové jeřáby a plovoucí jeřáby	15
4 Jeřábové dráhy	16
4.1 Základní problematika	16
4.2 Konstrukce jeřábových drah, předpisy, provozní parametry, rektifikace ..	20
4.2.1 Jeřábové dráhy trvalé	20
4.2.2 Jeřábové dráhy dočasné	23
4.3 Návrh systému pro sledování prostorového přetvoření jeřábové dráhy	24
4.3.1 Princip metody	25
4.3.2 Parametry potřebného vybavení, rozbor přesnosti měření	28
5 Výsledky měření a jejich diskuse	35
5.1 Praktická realizace návrhu	35
5.2 Diskuse výsledků měření	37
6 Návrh na zlepšení současného stavu	49
6.1 Zhodnocení provozně ekonomického přínosu metody	49
7 Závěr	51
8 Seznam literatury	52
9 Seznam použitých obrázků a tabulek.....	54

1 Úvod

Snižování výrobních a provozních nákladů je již řadu let důležitým prostředkem posílení konkurenceschopnosti většiny podniků. Kromě inovací v technologiích výroby, efektivního využití lidských zdrojů a organizační struktury podniku se na tomto procesu značnou měrou podílí ekonomické využití strojního zařízení. Úspora je dosahována především optimálním nasazením techniky dle výrobcem stanovených výkonových parametrů, kdy na jedné straně dochází k minimalizaci energetických ztrát, na straně druhé je pak zajištěna plynulost materiálového toku a návaznost výrobního taktu jednotlivých zařízení v rámci výrobního procesu. Nedílnou součástí provozování strojního zařízení je jeho pravidelná kontrola a údržba. Zanedbání těchto úkonů obvykle přináší ekonomické ztráty ve formě zvýšených nákladů na opravy a rekonstrukce zařízení a ztráty z neplánovaných odstávek provozu. Sledování specifických provozních parametrů je proto nutnou součástí provozování jakéhokoli strojního zařízení a vytváří předpoklady pro účinnou prevenci jeho havarijních stavů.

Tato práce se zabývá problematikou provozních parametrů jeřábových drah. Zdvihací a jeřábová technika je jako univerzální manipulační prostředek významným prvkem vybavení většiny výrobních podniků. Během dlouhého vývoje těchto zařízení se postupně hlavní těžiště zájmu při provozování přesouvalo z původních požadavků čistě technologických a výkonových směrem k požadavkům ekonomickým a bezpečnostním. Efektivní provoz jeřábu je dán kromě správného využití výkonových parametrů také kvalitní kontrolní a servisní činností a účinným předcházením či včasným odhalováním nežádoucích stavů konstrukcí, jejichž nadlimitní hodnoty mohou být příčinou havarijních stavů nebo bezpečnostních rizik.

V rámci velkého množství různých typů jeřábů existuje velmi početná skupina jeřábů pojízdných s vlastní ocelovou jeřábovou dráhou. Každá jeřábová dráha musí splňovat požadavky pevnostní a požadavky geometrické. Pravidelná kontrola má být schopna včas odhalit odchylky v geometrii dráhy, které hrozí vyvoláním některého z havarijních stavů. Při nedodržení provozních tolerancí se zvyšuje riziko opotřebení součástí zařízení, bezpečnostní riziko a výrazně se snižuje ekonomická efektivita provozu.

Vzhledem k tomu, že sledování geometrie kolejnic bývá obtížné, zejména u převýšených a špatně přístupných jeřábových drah mostových a konzolových jeřábů, a při konvenčních metodách geodetického zaměření je značně nákladné s nejistými výsledky, navrhuje tato práce jednodušší způsob monitorování základních geometrických parametrů

přímých jeřábových drah, tedy přímosti ve vodorovném a svislém směru. Měl by se stát vhodnou pomůckou pro provozovatele jeřábových zařízení nebo pro pracovníky servisních organizací k pravidelné kontrole, rektifikaci, ale také montáži jeřábových drah.

2 Cíl práce a metodika

Cílem předložené práce je nejprve shrnout a zhodnotit současný stav v oblasti sledování provozních parametrů ocelových jeřábových drah a následně podat návrh metody pro zjednodušení provádění pravidelných kontrol. Důvodem je zkušenost s uplatňováním předepsaných způsobů kontroly a rektifikace těchto zařízení v nejrůznějších provozech. Nepravidelná a zpravidla nevhodnými pomůckami prováděná kontrola geometrických parametrů, nejčastěji z důvodů nepříznivých prostorových podmínek, obvykle vede k překročení provozních tolerancí a tím ke značně neekonomickému provozu zařízení, zbytečnému opotřebení klíčových částí a v neposlední řadě k narušení bezpečnosti provozu. Dlouhodobé zatížení způsobené deformacemi nosných prvků konstrukce jeřábové dráhy pak bývá v mnoha případech příčinou havarijních stavů, které již nelze odstranit prostou rektifikací polohy kolejnic v rámci rektifikačních vůlí, ale musí se přikročit k celkové opravě celé konstrukce. Tyto případy bývají obvykle odhaleny až v rámci kontrol, které jsou prováděny specializovanými geodetickými společnostmi za použití složitého vybavení a měřických postupů při opětovném uvedení do provozu po rekonstrukci či výměně důležitých součástí zařízení, nebo změně podmínek provozování.

Z uvedeného je zřejmé, že v mnoha případech chybí dostatečná průběžná kontrola geometrického tvaru dráhy provozním technikem. Na vině je především fakt, že neexistuje jednoduchý způsob, jak provést proměření parametrů dráhy za provozu bez drahých a komplikovaných přístrojů a především znalostí měřických postupů. Kontrola je proto prováděna pouze vizuálně a v takovém případě může odhalit jen deformace několikanásobně překračující provozní tolerance.

Ve druhé části se proto tato práce pokouší navrhnout metodu pro snadnou kontrolu základních technických parametrů s pomocí dnes běžně dostupné techniky, tak, aby mohla být kontinuálně k dispozici provozním technikům a nasazena kdykoli během provozu zařízení. Metoda se soustředí na kontrolu nejběžnějších charakteristik přímých jeřábových drah, především na směrové a výškové výchylky od ideální přímky. Je založena na využití digitální fotografie a vychází ze základních principů jednosnímkové fotogrammetrie. Podrobný popis a vysvětlení metody je uvedeno v dalších částech textu.

3 Obecně o jeřábech. Rozdělení jeřábů

3.1 Základní pojmy, základní prvky jeřábové konstrukce

Vezmeme-li v úvahu členění dopravy dle [5], patří jeřáby do kategorie manipulačních zařízení určených pro tzv. ložné operace, tedy úkony nazývané v obecné terminologii nakládkou, překládkou a vykládkou, pouze ve specializovaných oborech lze nalézt také jeřáby, které současně s dopravní funkcí vykonávají některé technologické operace (např. v hutnictví kalící či kovací jeřáby apod.). V členění dopravy podle místa a rozsahu jejího působení se pak uplatňují zejména ve vnitropodnikové přepravě buď ve formě meziobjektové nebo vnitroobjektové. Charakteristickým rysem jeřábové manipulace je nespojitý materiálový tok, tzn. cyklická manipulace po jednotlivých dávkách. Konkrétní konstrukční řešení pak umožňují přepravu různých typů materiálu.

Jeřáby jsou vždy tvořeny nosnou (obvykle ocelovou) konstrukcí, jejíž tvar a rozměr v zásadě určuje základní typ a použití zařízení. Na této konstrukci jsou pak účelně umístěny mechanismy zajišťující pohon pohyblivých částí jeřábu, případně jeho pojezdu, mechanismy pro uchopení, zdvih a přemístění břemen, brzdící zařízení, prvky pro obsluhu a řízení jeřábu a prvky zajišťující bezpečnost.

Při popisu jeřábů a jejich částí je stanoveno názvosloví dle ČSN 27 0000 „Jeřáby názvosloví“. Uvádím zde vysvětlení některých základních pojmů dle [1]:

Jeřáb – zdvihací zařízení, kterým se přemísťují břemena svislým a vodorovným pohybem ve vymezeném prostoru.

Kočka – pojízdné zdvihadlo, u něhož se břemeno zvedá pod úrovní jeho jízdní dráhy.

Výložník – vodorovná (případně sklopná) část konstrukce některých typů jeřábů, na které je umístěno zdvihací zařízení

Jmenovitá nosnost jeřábu – je dána hmotností dovoleného břemena v tunách anebo v kilogramech, kterým se smí jeřáb v provozu zatížit.

Rozpětí jeřábu – vodorovná vzdálenost středních rovin pojízdných kol.

Rozchod – u jeřábů pojízdných po vlastní dráze je vodorovná vzdálenost středních rovin jeřábových kolejnic.

Vyložení jeřábu – vodorovná vzdálenost svislé osy závěsu břemena od osy otáčení u jeřábů s otočným výložníkem nebo od hrany klopení u jeřábů s neotočným výložníkem.

Výška zdvihu – svislá vzdálenost mezi nejnižší a nejvyšší pracovní polohou uchopovacího zařízení.

Parametr jeřábu – u jeřábů s měnitelným vyložením konstanta. Jde o součin vyložení a dovoleného břemene (tzn. čím větší vyložení, tím menší břemeno). Jednotka je [t.m].

3.2 Požadavky na jeřáby. Obecná pravidla pro výpočet rozměrových a výkonových parametrů. Předpisy

Stejně jako na všechna dopravní a manipulační zařízení je na jeřáby v praxi kladeno mnoho provozně ekonomických požadavků. V první řadě je požadována maximální výkonnost při zachování minimálních nákladů na provoz. Tyto dva vzájemně se popírající požadavky nutně přinášejí potřebu stanovení vyhovujícího kompromisu mezi nosností jeřábu a vlastní hmotností pohybujících se částí zařízení. Robustní konstrukce umožňuje sice dosáhnout vysoké nosnosti v rámci jednoho pracovního cyklu, výrazně však znesnadňuje dodržení optimálního počtu pracovních cyklů v časové jednotce především z hlediska energetického příkonu zařízení.

Pro navrhování nosných prvků tedy platí pravidla pro dimenzování ocelových konstrukcí. Výpočty vychází z předpisů daných normou ČSN 27 0103, která stanoví výpočet podle mezních stavů únosnosti a přetvoření konstrukce. Norma předpokládá přihlídnutí ke všem skutečným zatížením, která se mohou při provozu vyskytnout, včetně např. vlivu větru, kmitání jeřábových konstrukcí apod. Statický výpočet pak obsahuje základní údaje o druhu jeřábu a jeho rozměrových a výkonových parametrech, uvažovaná zatížení, navrhované materiály nosné konstrukce, vlastní hmotnosti všech částí jeřábu, výpočty napětí ve všech nebezpečných průřezích nosné konstrukce, výpočty na únavu, stanovení bezpečnosti proti převržení, výpočet základů a pojezdových drah jeřábu [1]. Celý výpočet musí uvažovat jednak zatížení stálá, tedy zatížení od vlastních hmotností konstrukce a od trvalých předpětí, zatížení proměnná, která způsobují přenášená břemena, pohyblivé části stroje, přičení v jeřábové dráze, vítr, sníh, změny teploty, zatížení pochozích částí apod. a zatížení mimořádná, vznikající při poruchách, zkouškách, montáži a dopravě. Dynamická část výpočtu je věnována schopnosti konstrukce účinně tlumit kmity vznikající při proměnlivém působení dynamických sil od pohyblivých částí mechanismu. Náhlé změny zatížení zde bývají způsobeny pružnými reakcemi zdvihacích lan při zvedání a spouštění

břemene, silovými účinky při rozjezdu a brždění, při nárazech pojízďecího zařízení na nárazníky v koncových polohách či působením větru.

Důležitým předpokladem pro návrh nosnosti je zařazení jeřábu v rámci rozsáhlejšího dopravního cyklu a tedy nutnost jeho přizpůsobení navazujícím dopravním zařízením. S tím souvisí typizace a standardizace hlavních prvků, která umožňuje efektivní využití všech dostupných prostředků pro konkrétní potřeby pracoviště a exaktní konstruování jeřábových zařízení v rámci celých dopravních systémů.

Dalším obecným požadavkem je bezpečnost a spolehlivost provozu zařízení. Obě tyto kategorie jsou v první řadě zajištěny v kvalitní konstrukci jeřábu a v pravidelných zkouškách a údržbě dle platných norem a dle dokumentace pro provoz stroje, pravidelných školeních obsluhy. Zařízení jsou osazena řadou automatických bezpečnostních prvků, zejména koncovými spínači v krajních polohách pracovních drah, pojistkami proti přetížení konstrukce, kontrolou průjezdního profilu drah pohyblivých částí zařízení, možností dálkové nebo plně automatické obsluhy. Jde zejména o automatické navádění zařízení v případě špatného výhledu obsluhy, signalizaci možných kolizí dopravovaného materiálu, případně dopravních zařízení.

Ceněnou vlastností jeřábů je rovněž jejich přizpůsobivost rozdílným podmínkám. Nejčastěji jde o potřebu pružné změny parametrů stroje při změně typu dopravovaného materiálu. Jde především o možnost obměny zdvihacího zařízení zařazením různých typů háků nebo třmenů v případě kusového materiálu, nebo drapáků či nádob pro sypký a tekutý materiál. Přizpůsobení však mnohdy vyžaduje i změna situace v navazujících dopravních procesech, tedy je nutná možnost ekonomicky přijatelné změny využití teoretického výkonu přizpůsobením pracovních rychlostí, změnou počtu pracovních cyklů či práce v jednom cyklu.

Pro konstruování, montáž, zkoušení, provoz a údržbu jeřábových zařízení platí celá řada technických norem.

ČSN ISO 4306-1 až 3 stanovují požadavky na názvosloví jeřábů a jejich částí.

ČSN ISO 4304 a 4305 stanovují všeobecné požadavky na stabilitu jeřábů

ČSN 270140 1 až 6 stanovují hlavní zásady konstruování jeřábových zařízení

ČSN 270142 stanovuje provádění a rozsah revizních zkoušek jeřábových zařízení

ČSN ISO 12480-1 až 3 stanovují zásady bezpečného používání jeřábů

Normy ČSN skupiny 34 se vztahují na elektrická zařízení jeřábů. Celá řada dalších podrobných norem rozvádí požadavky na jednotlivé části zařízení, např. ocelová lana, závěsná zařízení, prvky obsluhy, zabezpečovací zařízení, vlastnosti nosných konstrukcí, vázací prostředky atd.

Zkoušky jeřábů prověřují jejich funkce, bezpečnost a spolehlivost. Provádí se pravidelně v předem stanovených intervalech a v mimořádných situacích, kterými zejména jsou – dokončená montáž, dokončená rekonstrukce, oprava důležitých částí, přemístění jeřábu na jiné pracoviště. Tyto situace jsou důvodem k provedení tzv. montážní zkoušky, která obsahuje kontrolu jeřábové dráhy a průjezdního profilu, kontrolu výstroje a vybavení jeřábu a kontrolu všech funkcí ovládání, pohybových mechanismů, bezpečnostních prvků. Po montážní zkoušce následuje zkouška zatěžkávací, která se provádí s břemenem o hmotnosti odpovídající jmenovité nosnosti jeřábu. Zkouší se pohyby různými rychlostmi, chování v krajních polohách a funkce brzd.

Pravidelné zkoušení a údržba jeřábů jsou povinností revizního technika, který musí mít odpovídající kvalifikaci (zkoušky revizního technika zdvihacích zařízení). Provádění a rozsah revizních zkoušek stanovuje norma ČSN 270142. Součástí pravidelných zkoušek je kontrola stavu prostředků k vázání, uchopování a zavěšování břemen, zdvihacích lan, svárů nosných konstrukcí apod.

3.3 Standardní kategorie pro rozdělení jeřábů

Jednoduchý nástin možností rozdělení jeřábů uvedený v této kapitole se přidržuje již zavedeného systému hledisek pro stanovení hlavních kategorií jeřábových zařízení [1], [2]. Vzhledem k zaměření této práce je zdůrazněno hledisko způsobu pohybu jeřábové konstrukce, tvar konstrukce, který je obecně v literatuře považován za nejcharakterističtější kritérium dělení jeřábů je proto zmíněn jako subkategorie pro pojízdné jeřáby. Zde je nutno říci, že uvedený způsob systematizace je značně schematický a vychází pouze z velmi obecných vlastností jeřábových konstrukcí. V praxi se vyskytuje nespočetně variantních řešení, která vychází z uvedených kategorií, často jsou však přizpůsobena konkrétní situaci.

Rozdělení podle způsobu uchopení břemene

Vzhledem k velmi rozdílné povaze různých manipulovaných materiálů lze jeřáby dělit podle jejich uzpůsobení k přenášení určitého druhu břemen. Až na některé jednotlivé výjimky (např. přístavní plovoucí jeřáby) se odlišnosti mezi takto vymezenými skupinami jeřábů netýkají celkové koncepce nebo konstrukce zařízení. Dělení se týká výhradně koncových uchopovacích prvků samotných zdvihacích zařízení. Nejdůležitější vlastností zdvihaného materiálu je jeho struktura, tzn. rozlišujeme v první řadě přenášení kusového, sypkého a tekutého materiálu. Tím je dána potřeba použití háků, třmenů, kleští, břemenových elektromagnetů, drapákových mechanismů, nádob či vakuových chapadel. Především v provozech napojených na dálkovou přepravu jsou s výhodou používány typizované přípravky pro uchopení kontejnerů.

Rozdělení podle druhu pohonu

Druh pohonu je volen především podle toho, jaký druh energie je na místě k dispozici. U stacionárních zařízení jde tedy obvykle o pohon elektrickým motorem. Jeho výhody pro použití ve zdvihací technice spočívají především ve snadné obsluze, čistotě provozu, regulovatelnosti, možnosti okamžitého zapínání a vypínání, schopnosti snášet značná přetížení při rozjezdu, možnosti reverzace chodu přímo motorem apod. Jde tedy o pohon nejrozšířenější u všech zařízení, jejichž stanoviště umožňuje přívod elektrické energie.

U jeřábů mobilních (tzn. silničních, kolejových, plovoucích) je nutno použít pohonu nezávislého na pevném přívodu energie. Zde se uplatňuje především naftový spalovací motor, který obvykle kombinuje funkci pohonu jeřábu a pohonu dopravního prostředku, na kterém je jeřáb osazen. U některých zdvihacích zařízení (pístové zvedáky) se k pohonu používá stlačený vzduch, který dodává pístový kompresor. Pro jednoduchá zařízení s občasným provozem a nízkými nosnostmi je k dispozici také pohon ruční, obvykle realizovaný ručními klikami a vhodnými převody.

Rozdělení podle místa a způsobu použití

Toto rozdělení závisí na účelu a umístění jeřábu. Rozlišujeme tak jeřáby dílenské, montážní, hutní (kovací, kalčí, licí, sázecí....), železniční, stavební, skládkové, skladištní, přístavní, apod. Tento výčet nemůže být úplný, v každém oboru je zdvihací technika přizpůsobena konkrétnímu účelu a vymezuje tak samostatnou kategorii.

Rozdělení podle druhu pohybu jeřábu

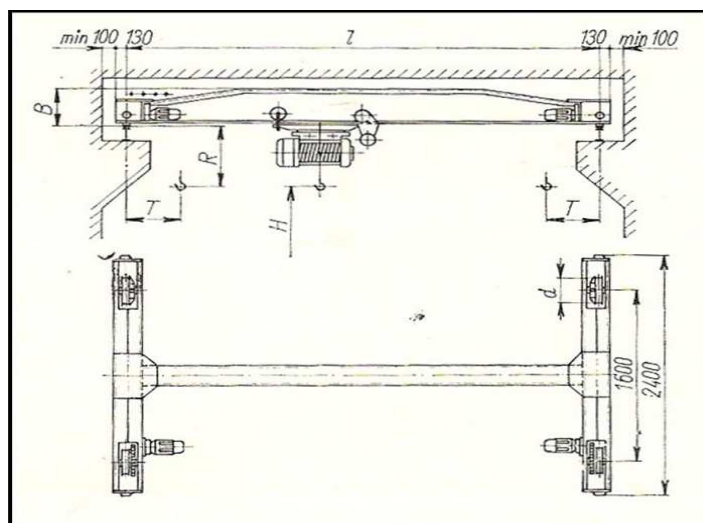
Podle druhu pohybu můžeme jeřáby rozdělit na nepojízdné, pojízdné a otočné. Nepojízdné obvykle přemísťují břemena pohybem kočky po výložníku. Pojízdné a otočné jeřáby konají vlastní pohyb, který může být i kombinací pojezdu a otáčení. Jsou tak schopny obsloužit větší pracovní prostor. Popis a podrobnější rozdělení pojízdných jeřábů, je uveden v následující samostatné kapitole.

3.4 Pojízdné jeřáby a jejich dělení podle tvaru jeřábové konstrukce

3.4.1 Mostové jeřáby

Asi nejrozšířenějším typem jeřábu v montážních dílnách, skladech, nádvorních skládkách apod. je jeřáb mostový. Nosnou konstrukci tohoto jeřábu vytváří jeřábový most, který bývá tvořen jedním dvěma, nebo více nosníky a opatřen pojízdčím ústrojím, které pojíždí po vyvýšené jeřábové dráze. Na mostě je umístěna buď vrchní anebo podvěsná jeřábová kočka, vybavená zdvihacím a pojízdčím ústrojím. Dále obvykle zařízení obsahuje přívody elektrické energie k pohonům, signalizační a bezpečnostní prvky (nárazníky, pojistky apod.), případně řídicí kabinu pro jeřábníka.

obr. 1 Elektrický mostový jeřáb, zdroj [1]



Běžné mostové jeřáby jsou elektřinou poháněné a stavějí se pro nosnosti od 1 t až 500 t s rozpětím do 40 m. Nejdůležitějším kritériem pro detailnější rozdělení mostových jeřábů je samotná konstrukce jeřábového mostu, která především rozhoduje o nosnosti a konstrukční výšce jeřábu. V nosnostech do 5 t se uplatňují jednonosníkové konstrukce.

Pro nosnosti až do 320 t se konstruuji tzv. dvounosníkové mostové jeřáby. Most je obvykle tvořen dvěma válcovanými, plnostěnnými nebo skříňovými nosníky, po kterých pojíždí kočka s elektrickým kladkostrojem (do 12,5 t) nebo normální kočka (do 320 t). Jednou z výhod dvounosníkových mostů je možnost uplatnění větších rozpětí vzhledem k lepším pevnostním charakteristikám konstrukce. Tento typ jeřábu musí být vybaven brzdou zdvihacího zařízení s regulací rychlosti a brzdou na každé straně pojezdu mostu.

Pro rozpětí větší než 30 m se uplatňují dvounosníkové mostové jeřáby s kočkou uvnitř mostu. Jsou tvořeny dvěma příhradovými nosníky, mezi nimiž je zavěšena kočka. Kromě dobré tuhosti konstrukce, zvýšené příčným příhradovým nosníkem na vrchu hlavních nosníků, je výhodou nižší konstrukční výška celého zařízení. Kabina obsluhy bývá nejčastěji pohyblivá spolu s kočkou a umožňuje tak dobrý přehled po pracovišti.

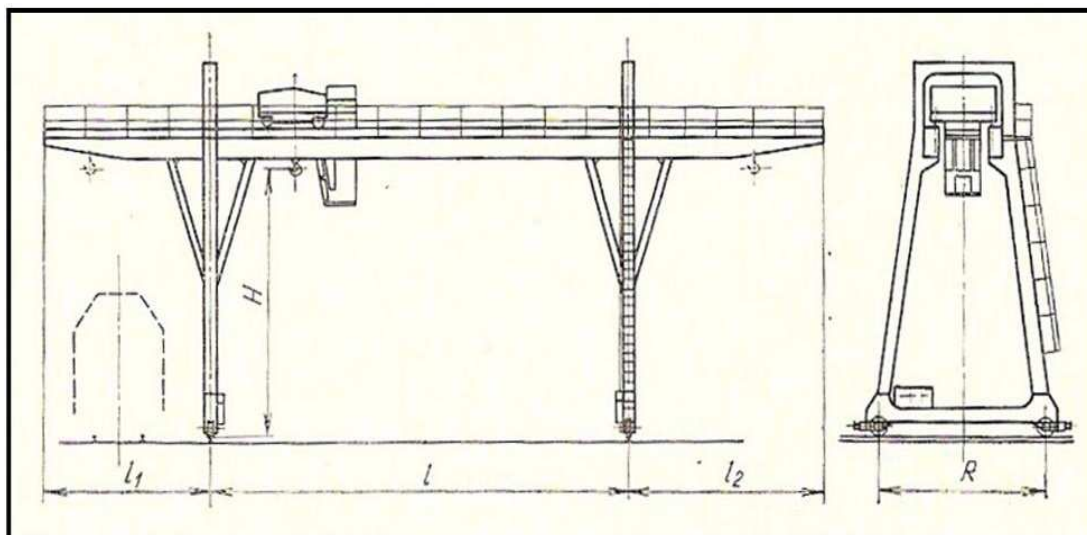
Vícenosníkové mosty se používají zpravidla u netypizovaných konstrukcí, především tam, kde není výhodné použití dvounosníkových skříňových mostů. Kromě výše vyjmenovaných kategorií existují samozřejmě mostové jeřáby zvláštních konstrukcí, které jsou buď přizpůsobeny pracovnímu prostoru nebo specifickému určení jeřábu. Mezi ně patří například mostové jeřáby podvěsné. Jsou tvořeny jednonosníkovým mostem, který pojíždí na visuté jeřábové dráze. Výhodou je možnost řazení několika mostů vedle sebe a přejezd jedině kočky z jednoho mostu na druhý.

Dalším speciálním typem je mostový jeřáb stohovací, který je určen především pro manipulaci s paletami ve skladovacích prostorech, při nakládce a vykládce vozidel apod. Kočka jeřábu obsahuje svislý teleskopický sloup, který spouští a vysouvá vidlici k uchopování palet. Sloup je otočný o 360° a spolu s pohybem mostu a kočky umožňuje obsluhu celého pracovního prostoru jeřábu.

3.4.2 Portálové jeřáby

Nosnou konstrukci portálových jeřábů tvoří tzv. portál, tedy jeřábový most opatřený dvěma podpěrami, které pojíždějí po jeřábové dráze uložené na zemi, případně jsou pevně ukotveny v základu. Zvláštním případem jsou tzv. poloportálové jeřáby, jejichž jedna větev jeřábové dráhy je ve výšce jeřábového mostu. Jsou určeny k použití především na venkovních skladištích, překladištích a výrobnách, kde je vyžadován jen občasný pojezd celého portálu po jeřábové dráze a většina manipulací je prováděna pohybem kočky nebo otočného výložníku. Vzhledem k robustnosti konstrukce portálu jsou jeho pojezdové rychlosti obvykle malé.

obr. 2 Portálový jeřáb, zdroj [1]



Podle konstrukce můžeme rozestnat portálové jeřáby s kočkou, portálové jeřáby s otočným výložníkem a portálové překládací mosty.

Nosná konstrukce jeřábů bývá tvořena nosníky tvaru I nebo příhradovými nosníky. Jeřábový most může mít jeden nebo oba konce převislé. Konstrukce podpěr pak musí umožňovat příjezd kočky do krajních poloh. Toto řešení umožňuje obsluhu širšího prostoru, než je rozpětí jeřábu, případné snížení rozpětí podpěr poskytuje možnost odlehčení konstrukce.

Portálové jeřáby s otočným výložníkem (tzv. přístavní) jsou vybaveny otočnou částí, která je uložena na portálu a je opatřena výložníkem, který může být pevný nebo kyvný.

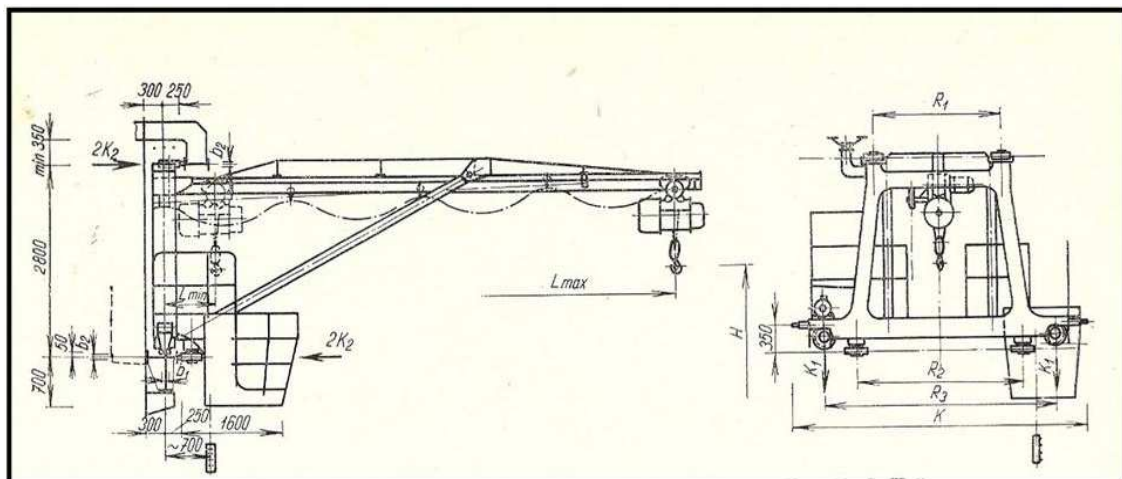
Přístavní jeřáby se dále dle své funkce dělí na jeřáby pro kusová břemena, jeřáby drápkové a jeřáby v loděnicích pro montážní práce při stavbách a opravách lodí.

Nejrozměrnějšími portálovými jeřáby jsou tzv. portálové překládací mosty. Jsou konstruovány pro velké výkony na větších skládkách sypkých hmot (uhlí, rudy, koks apod.), případně na skládkách rozměrnějších kusových hmot (tyčové materiály apod.). S výhodou jsou využívány pro nakládku a vykládku velkých lodí. Rozpětí portálu dosahuje až 120 m a často jsou oba konce převislé. Dosahují nosnosti až 32 t.

3.4.3 Konzolové jeřáby

Konzolové jeřáby obvykle pojíždějí po jedné větvi jeřábové dráhy upevněné na stěně haly v nosné konstrukci stavby. Tyto jeřáby se konstruují pro nosnosti 1-8 t. Skládají se ze svislého rámu jeřábu a ramena nebo výložníku. Rameno se používá, je-li konstrukce neotočná, a širšího pracovního pole se dosahuje proměnlivým vyložením.

obr. 3 Konzolový jeřáb neotočný, zdroj [1]



Jde-li o konstrukci otočnou, pak se užívá název výložník. Klopící momenty konstrukce obvykle zachycují dva páry kladek na horní a spodní části nosníku. Proměnlivého vyložení je dosaženo pojížděním podvěsné nebo normální kočky po vodorovném rameni. Je-li jeřáb vybaven kabinou pro obsluhu, je umístěna na boku nosné konstrukce.

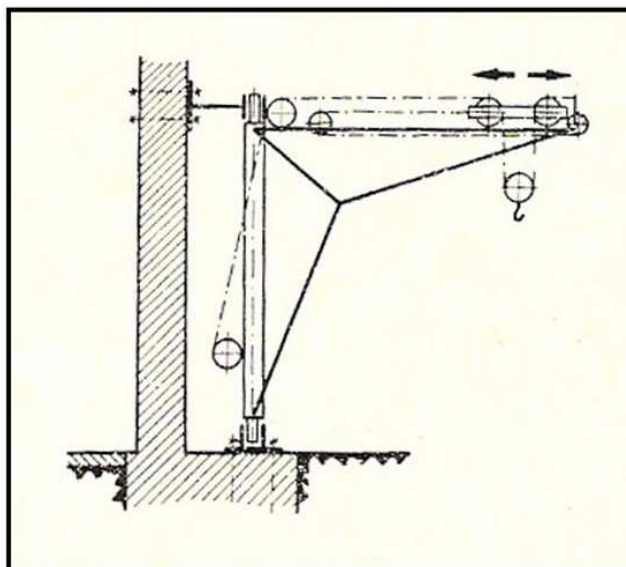
Otočné konzolové jeřáby se konstruují ve dvou základních provedeních. Je-li vodorovný výložník ukotven na vrchním a patním ložisku svislé konstrukce jeřábu, umožňuje toto uspořádání otáčení do 180°. Otáčení výložníku způsobuje rozdílné tlaky v různých polohách, při konstrukci je proto nutné vyšetřovat adhezi pojížděcích kol jeřábu a jeho celkovou stabilitu. Posuneme-li otočný výložník pod úroveň vodorovné konstrukce, získáme možnost otáčení o 360°. Toto řešení však klade mnohem větší nároky na zachycení

proměnlivých klopících sil ve všech směrech. Jeřáb proto musí být zajištěn řadou opěrných kladek.

3.4.4 Pojízdné sloupové a věžové jeřáby

Sloupové a věžové jeřáby jsou charakterizovány otáčecím výložníkem okolo svislého sloupu nebo věže (příhradová konstrukce) pojíždějící po jeřábové dráze. Základní rozdělení těchto jeřábů je na jeřáby s otočným sloupem a se sloupem nehybným. Otočný sloup je vždy uložen v horním (nástěnném nebo stropním) a dolním ložisku. Jeřáby s nehybným sloupem nebo věží umožňují vždy otáčení výložníku o 360°.

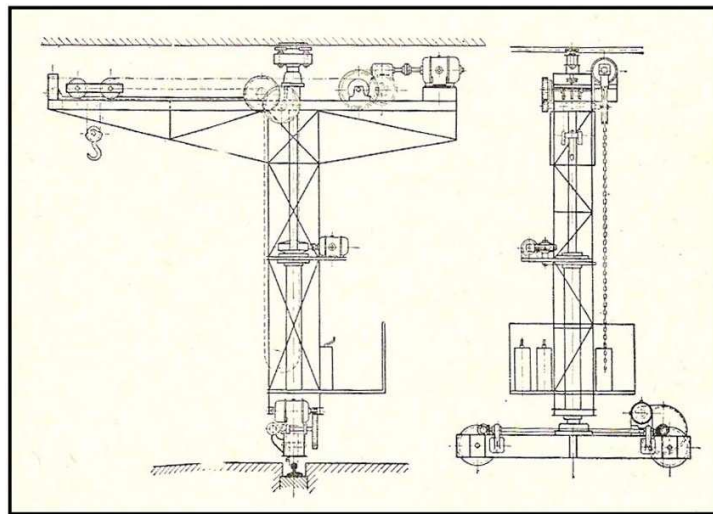
obr. 4 Schéma nástěnného jeřábu, zdroj [1]



Výkonnější variantou jsou jeřáby s nehybnou vysokou příhradovou věží. Nejběžnější užití těchto jeřábů je na stavbách a mohou dosahovat vyložení přes 30 m při nosnosti 250 t. Bývají osazeny sklopným nebo vodorovným výložníkem s kočkou. Celá otočná partie je umístěna na horní části věže. Výhodou těchto jeřábů je možnost snadné montáže a dopravy. Mezi stavebními jeřáby lze samozřejmě nalézt také konstrukce s otočnou věží, která je ukotvena v čepu podvozku pojíždějícím po jeřábové dráze.

Jiným typem věžových jeřábů s neotočnou věží jsou jeřáby velocipédové. Sloup pojíždí po jeřábové dráze s jednou větví. Jeřáb je proto stabilizován opěrnými koly, která jsou umístěna nad výložníkem a pojíždějí po stropní kolejnici. Tento typ jeřábu se s výhodou používá v nižších prostorech, kam nelze instalovat jeřáb mostový. Nosnost se pohybuje do 10 t, vyložení do 7 m.

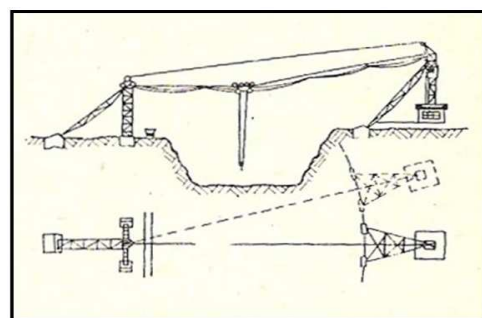
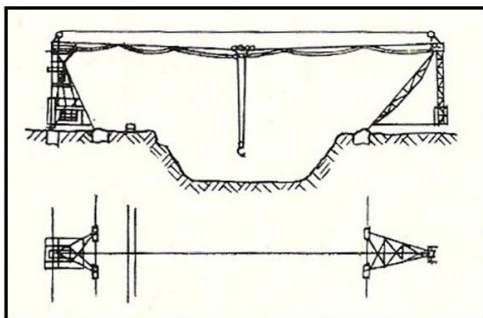
obr. 5 Velocipédový jeřáb, zdroj [1]



3.4.5 Lanové jeřáby

Zvláštní kategorií jeřábů jsou lanové jeřáby. Základním principem těchto zařízení je pohyb kočky po nosném laně, který je vyvolán lanem tažným. Nosné lano je obvykle napnuto mezi dvěma podpěrami, které tak vymezují pracovní prostor jeřábu. Samotná břemena jsou pak zvedána a spouštěna lanem zdvihacím. Zásadní dělení těchto zařízení je na jeřáby pojízdné a nepojízdné, které obsáhnou pouze pruh pod napnutým nosným lanem. Podpěry jeřábů pojízdných mohou konat buď rovnoběžný nebo kruhový pohyb. To znamená, že obě podpěry se mohou souběžně pohybovat po přímých nebo zakřivených drahách tak, aby jejich vzdálenost zůstávala stejná a nedocházelo ke změně napětí nosného lana. Při zakřivené dráze musí být tedy nestejně rychlosti pohybu podpěr. V případě kruhového pohybu pojíždí pouze jedna podpěra po kruhové dráze se středem v ose druhé podpěry. Jeřáb tak obsluhuje plochu o tvaru kruhové výseče.

obr. 6 Lanový jeřáb rovnoběžně pojízdný obr. 7 Lanový jeřáb kruhově pojízdný, zdroj [1]



Lanové jeřáby obvykle dosahují rozpětí do 400 m, v ojedinělých případech může být i větší (až 1000 m). Nosnosti se pohybují většinou do 25 t. Pro vyšší nosnosti je obvykle třeba instalovat větší počet nosných lan. Pro rozpětí menší než 100 m se v některých případech konstruuje lanové jeřáby jako portálové nebo mostové. Zde jsou podpěry spojeny vodorovným příhradovým nosníkem, který nahrazuje ukotvení napínacích lan. Mezi jeho konci je pak nataženo nosné lano pro pojezd kočky.

3.4.6 Kolejové, silniční, pásové jeřáby a plovoucí jeřáby

Hlavním rysem těchto jeřábů je to, že nemají vlastní jeřábovou dráhu a jejich pojezd je realizován samostatným vozidlem. Vlastní jeřáb bývá otočný s možností změny vyložení. Podle druhu vozidla, které je použito k pojezdu, rozlišujeme jeřáby kolejové (tedy umístěné na vozidle s železničním podvozkem), bezkolejové (s vozidlem na pneumatikách nebo pásech) a plovoucí, umístěné na vhodném plavidle.

4 Jeřábové dráhy

4.1 Základní problematika

Dle zavedené terminologie ČSN 735130 „Jeřábové dráhy“ se jeřábovou dráhou rozumí konstrukce určená pro pojezd jeřábu tvořená nosníkovou konstrukcí s kolejnicemi, popřípadě samostatnou kolejnicí na podloží, nebo nosníky podvěsných jeřábů. Pro popis prostorové úpravy jeřábové dráhy je nutno definovat některé základní pojmy a charakteristiky spojené s konstrukcí.

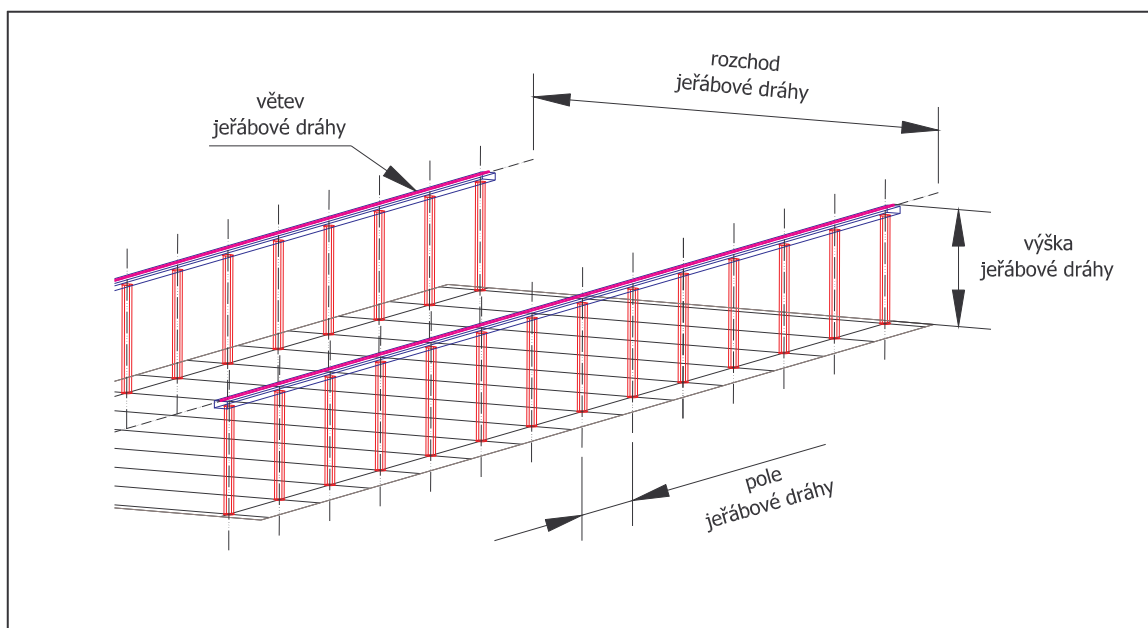
Větev jeřábové dráhy – větví se rozumí část konstrukce jeřábové dráhy nesoucí jeden kolejový pas. Jeřábové dráhy nejběžnějších typů mostových a portálových jeřábů jsou tvořeny dvěma větvemi, po jedné větví jeřábové dráhy pojíždějí např. jeřáby konzolové.

Pole jeřábové dráhy – tento pojem je zaveden pro vyvýšené jeřábové dráhy, jejichž konstrukce je upevněna na podpěrách. Polem je část každé větve jeřábové dráhy mezi dvěma podpěrami. Vzhledem k možnostem rektifikace v místě hlavy podpěr tak obvykle pole jeřábové dráhy představuje základní rozměrovou jednotku pro kontrolní a zkušební pozorování a rektifikaci jeřábové dráhy.

Rozchod jeřábové dráhy – definován jako vodorovná vzdálenost mezi podélnými osami jeřábových kolejnic.

Výška jeřábové dráhy – svislá vzdálenost od terénu k hlavě kolejnice.

obr. 8 Jeřábová dráha



Jeřábové dráhy a jejich nosný systém jsou vždy namáhány souborem statických a dynamických účinků, které vyplývají na jedné straně z hmotností přepravovaných břemen a na straně druhé z vlastního pojíždění jeřábu po dráze. Kromě účinků svislých pak na konstrukci dráhy působí vodorovné síly způsobené příčným pohybem jeřábu v rámci vzdálenosti nákolků protilehlých kol a síly vznikající tzv. příčnícím jeřábu, tzn. osa tělesa jeřábu se díky vůlím mezi nákolky a kolejnicemi dostává do nerovnoběžného postavení s osou jeřábové dráhy a dochází ke kontaktu nákolku s hranou kolejnice. Tyto účinky způsobují během provozu jednak opotřebení nákolků a uložení kol jeřábu, opotřebení kolejnic dráhy, ale také prostorové vychýlení kolejnic a posunutí sousostí kol, změny v rozpětí kol jeřábu. Výrazně se zvyšuje zatížení hnacího ústrojí pojezdu.

Práce, které se v minulosti zabývaly těmito problémy, např. [9], hodnotí příčnící jeřábu fakticky jako nejnebezpečnější formu interakce mezi koly a kolejnicí. Nejvýznamnější příčinou jsou podle těchto výzkumů odchylky v poloze a tvaru jeřábové dráhy, které se díky účinkům příčnící a náhodných příčných posunů jeřábové konstrukce při pojezdu dále zvětšují. Tento trend pak vede k průběžnému zvyšování dynamického namáhání celé soustavy až k případným havarijním stavům (porušení jeřábové dráhy, porušení pojížděcího ústrojí jeřábu, zadírání při pojezdu nebo provozně neúnosné vady a příčné posuvy během pojezdu). V příslušných normách jsou proto pro jednotlivé typy zařízení stanoveny provozní tolerance geometrického tvaru jeřábových drah, které reprezentují součet všech vlivů – výrobní tolerance, pružné deformace, deformace následkem teplot, opotřebení (doporučené hodnoty provozních tolerancí by měly být uvedeny výrobcem v dokumentaci).

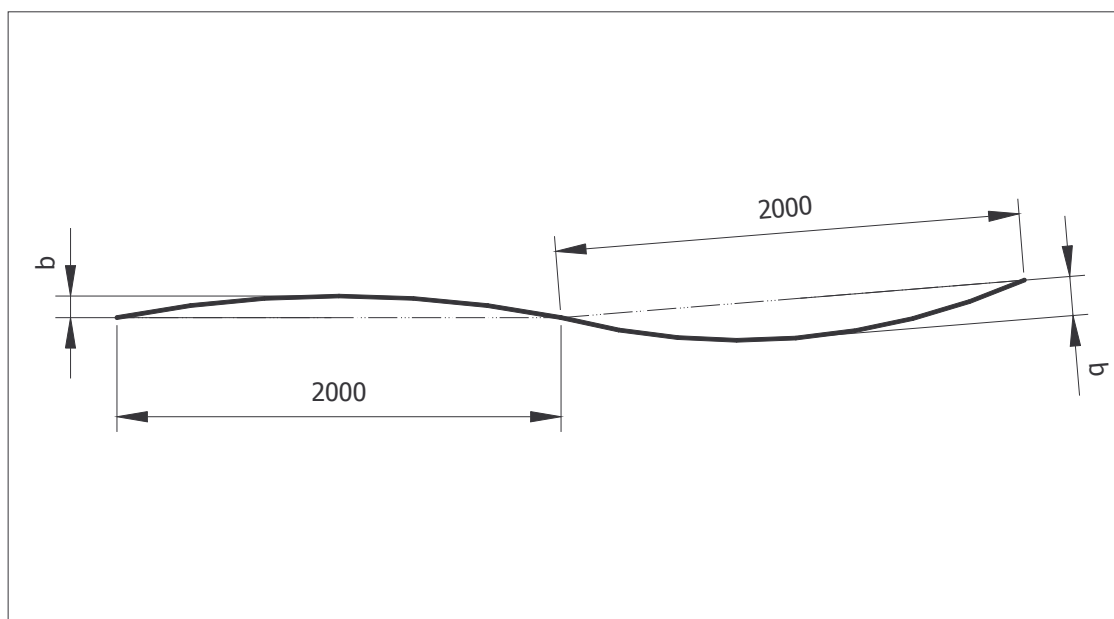
Přehled nejvýznamnějších úchylek geometrického tvaru jeřábové dráhy a jejich nejčastějších následků [3]:

Překročení provozní tolerance rozchodu jeřábové dráhy – následkem je především příčnící jeřábu, zvýšené opotřebení pojezdových kol a kolejnic a přídavné namáhání pohonu a nosné konstrukce.

Překročení provozní tolerance pro sklon jeřábové dráhy – následkem je u nebrzděných jeřábů pohyb už při sklonu okolo 1 ‰, u brzděných zvýšené namáhání brzděného ústrojí.

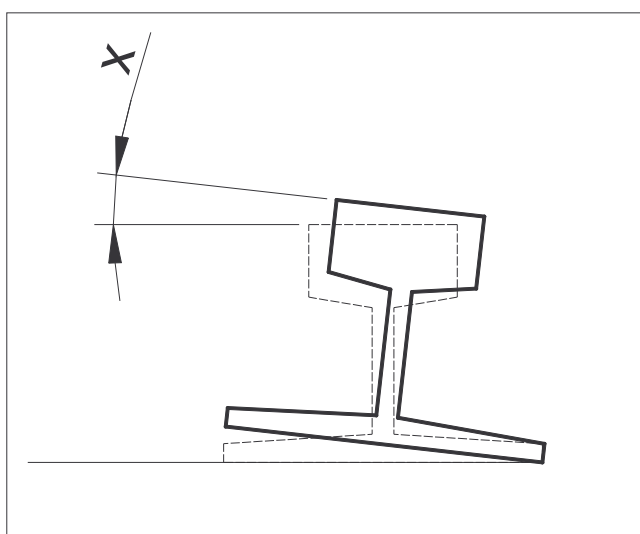
Překročení provozní tolerance pro odklon střednice kolejnice od projektované osy – následkem je příčnící jeřábu, opotřebení nákolku nebo vodicích kladek, poškození kolejnice, přídavné namáhání pohonu a nosné konstrukce (obr. 9).

obr. 9 Odklon střednice kolejnice



Překročení provozní tolerance pro sklon kolejnic v příčné rovině – následkem jsou zvýšené hranové tlaky, poškození kolejnice a pojezdových kol, excentrické namáhání nosníku jeřábové dráhy (obr. 10).

obr. 10 Sklon kolejnice v příčné rovině



Výškové a stranové přesazení spojů kolejnice jeřábové dráhy – následkem je zvýšené dynamické namáhání konstrukce, opotřebenění pojezdových kol.

Vzhledem k tomu, že příčné, případně rotační pohyby jeřábové konstrukce jsou v zásadě náhodného charakteru a jejich účinky a velikosti závisí na dalších okolnostech (okamžitá rychlost a zrychlení pojezdu, hmotnost, poloha a okamžitý směr pohybu břemene, použitý převod při pojezdu, aktuální poloha jeřábu na dráze, okamžité fyzikální vlastnosti prostředí apod.), je prakticky nemožné technickými prostředky zabránit jejich vzniku. Také dimenzování jeřábových drah a jeřábů na teoreticky možné (v praxi však nepříliš pravděpodobné) kombinace všech uvedených faktorů, které způsobí extrémní hodnoty namáhání, se jeví jako nevhodné.

Jako přiměřeně účinné a hospodárné řešení se pak jeví pravidelná kontrola a zkoušení stavu jeřábové dráhy a pojezdového ústrojí a porovnávání se stanovenými provozními parametry a jejich tolerancemi. Tyto kontroly jsou nezbytné už proto, že v platných normách jsou provozní tolerance stanoveny víceméně empiricky za použití statistických metod zpracování výsledků pozorování provozu jeřábových zařízení a při zavedení zjednodušujících předpokladů při jejich vyhodnocení. Konstrukcemi přesnějších matematických modelů výpočtu účinků pojezdu se zabývá práce [9]. Jejich uvedení do praxe je však problematické vzhledem ke složitosti zkoumaného jevu a obtížnosti experimentálního ověření získaných výsledků.

Kontroly zařízení mají tedy za cíl monitorovat stupeň opotřebenění konstrukcí, odhalit překročení daných tolerancí provozních parametrů a zabezpečit jejich případnou rektifikaci. Četnost kontrol je rovněž stanovena v platných normách, vzhledem k náhodné povaze výše uvedených interakcí je však tento předpis schematický a v praxi nemůže optimálně pokrýt nároky na monitorování zařízení vzhledem ke způsobu a četnosti jeho využití a specifickým konstrukčním nebo provozním podmínkám. Pravidelné kontroly navíc znesnadňuje obtížná měřitelnost a prokazatelnost rozměrového a tvarového přetvoření konstrukcí. Provozovatel prostřednictvím svého provozního technika tak obvykle provádí pouze namátkovou pohledovou kontrolu zařízení, která však většinou nemůže odhalit počínající překročení tolerancí a signálem pro rektifikaci konstrukcí bývá až dosažení některého z havarijních stavů. V takových případech však již často dochází k překročení rektifikačních vůlí, případně k porušení konstrukce a náprava je možná pouze nákladnou rekonstrukcí.

Exaktní měření skutečného tvaru a polohy kolejnic jeřábové dráhy je tedy obvykle činností externí organizace specializované k provádění metrologických pozorování a vybavené speciálním přístrojovým zázemím. Taková měření na jedné straně poskytují kvalitní a komplexní informace o stavu konstrukce, jsou však nákladná a časově náročná, tzn. vyžadují obvykle celodenní odstávku zařízení. Předpisy vyžadují provedení takového odborného zaměření vždy po montáži, rekonstrukci nebo úpravě jeřábové dráhy, tedy po jakýchkoli zásazích do konstrukce jeřábové dráhy. Provozovatel je podle těchto požadavků povinen mít protokol o měření jeřábové dráhy před uvedením do provozu. Z výše popsaných důvodů je pro provozovatele obvykle nepřijatelné provádět takové zaměření častěji jako součást běžné pravidelné či namátkové kontroly zařízení.

Nezákladnějším dělením jeřábových drah je rozlišení na jeřábové dráhy trvalé a jeřábové dráhy dočasné. Dočasné dráhy jsou budovány na dobu nezbytně nutnou k provedení stavebních, montážních aj. prací a pro jejich kontrolu, zkoušení a rektifikaci platí, především díky větším provozním tolerancím, mírně odlišné předpisy, než je tomu u drah trvalých.

4.2 Konstrukce jeřábových drah, předpisy, provozní parametry, možnosti rektifikace

4.2.1 Jeřábové dráhy trvalé

Jeřábovou dráhou se rozumí konstrukce určená pro pojezd jeřábu. Je tvořena nosníkovou konstrukcí a kolejnicemi, případně samostatnou kolejí na podloží. Její součástí je příslušenství - nárazníky, narážky, lávky, schodiště. Potřeba snižování nákladů na údržbu a opravy jeřábových drah nutí organizace předcházet poruchám především stálou a periodickou kontrolou stávajících jeřábových drah a uváděním nových jeřábových drah do provozu v souladu s platnými technickými normami a předpisy.

Pro projektování, výrobu, montáž a provoz trvalých jeřábových drah platí ČSN 735130 „Jeřábové dráhy“. Stanoví požadavky na prostorovou úpravu, konstrukci, mezní odchylky a rektifikaci jeřábových drah.

Základní požadavky normy ČSN 735130 „Jeřábové dráhy“:

Při montování jeřábové dráhy nutno přihlídnout mimo jiné

- k stanoveným tolerancím pro jeřábovou dráhu,
- k požadavkům na rektifikaci.

Prostorová úprava musí respektovat

- hodnoty výrobně montážních úchylek jeřábové dráhy,
- hodnoty požadované rektifikace jeřábové dráhy,
- bezpečné vzdálenosti – svislé a boční vůle (dle ČSN 270140).

Konstrukční požadavky na uložení a připojení nosníků jeřábové dráhy

- uložení musí být navrženo tak, aby kromě zajištění její funkce v souladu s výpočtovým modelem jeřábové dráhy i zajištění sloupů v podélném směru, umožnilo upravit překročené výrobní, montážní a provozní úchytky.

Tolerance:

Jsou-li za provozu překročeny tolerance o 20%, musí se jeřábová dráha vyrovnat.

Rozchod: $S \leq 10 \text{ m} \quad \Delta S = \pm 3 \text{ mm}$

$S > 10 \text{ m} \quad \Delta S = \pm (3 + 0,25(S - 10)) \text{ mm}$

Výšková úroveň hlavy kolejnice: $\pm 10 \text{ mm}$

Výšková úchytky nesmí překročit 2 mm na úseku 2 m,

Rozdíl výšek obou kolejnic max. 10 mm.

Tolerance v bočním směru: $\pm 10 \text{ mm}$

Směrová úchytky nesmí překročit 1 mm na úseku 2 m.

Svislá osa stojny kolejnice nesmí být posunuta vzhledem ke svislé ose nosníku o více než polovinu tloušťky stěny nosníku.

Měření úchylek:

Příčné a výškové úchytky, úchytky rozchodu a rozdíl výšek kolejnic se musí zjišťovat v místech všech podpěr (ne u jeřábové dráhy na podloží) a na převislých koncích nosníků delších než 3 m. Je-li pole větší než 18 m, měří se úchytky i v mezilehlých místech

max. však po 12 m. Jeřáby musí být odstraněny do krajních poloh, musí být mimo provoz. Měření se musí provádět vždy po montáži, generální opravě nebo rekonstrukci

Při navrhování jeřábových drah je třeba přihlížet k rozměrům stavby, k parametrům jeřábů, k požadavkům na mezní odchylky jeřábových drah a jejich měření. Ty stanoví ČSN 732611 „Úchylky rozměrů a tvarů ocelových konstrukcí“.

Dle ČSN 735130 je stanovena povinnost provést kontrolu geometrického tvaru jeřábové dráhy po montáži nebo rekonstrukci. Výsledky měření se uvádí v protokolu, který potvrzuje splnění podmínek dle ČSN 735130 a ČSN 732611. Protokol musí být vyhotoven před předáním jeřábové dráhy provozovateli. Při této kontrole se provádí posouzení možností rektifikace jeřábové dráhy za provozu. Kontrolní měření před předáním do provozu musí provádět organizace s oprávněním pro tuto činnost. Kontrolní prohlídky jeřábových drah v provozu provádí provozní technik, který může, je-li to konstrukcí jeřábové dráhy umožněno, provést rektifikaci. Překročení mezních odchylek jeřábových drah dle ČSN 735130 spadá do poruch s důležitostí “C” – závada nemá podstatný vliv na provoz jeřábů, lze rektifikovat při plánované odstávce zařízení.

Konstrukční řešení trvalé jeřábové dráhy na podpěrách musí umožnit snadnou rektifikaci. Provádí se obvykle příčnými, podélnými a výškovými posuny nosníků v jejich přípojích k hlavám podpěr pomocí rektifikačních šroubů a podložek. Jeřábové dráhy se nesmí rektifikovat naklápěním nosníků či příčnými posuny kolejnice po nosníku.

Doporučené rektifikační vůle:

Skupina I - nepředpokládají se změny geometrického tvaru jeřábové dráhy za provozu

příčně: ± 15 mm, výškově: ± 10 mm, podélně: ± 5 mm

Skupina II - předpokládají se malé změny

příčně: ± 30 mm, výškově: $+ 30$ mm a -10 mm, podélně: ± 5 mm

Skupina III - předpokládají se velké změny-volí se individuálně (musí být uvedeny v dokumentaci)

Při montáži je možno využít pouze:

příčně: ± 15 mm, výškově: ± 10 mm, podélně: ± 5 mm

zbývající část vůle slouží k rektifikaci

Rektifikace jeřábových drah umístěných na podloží se pro malé hodnoty provádí podložením, u šterkového lože podbitím pražců, pro větší výškové posuny a směrové vyrovnání je však obvykle nutná demontáž a nové sesazení celé konstrukce.

4.2.2 Jeřábové dráhy dočasné

Slouží pro jeřáby věžové, sloupové, portálové, derikové. Obvykle jsou uloženy v úrovni terénu, případně vyvýšené. Jde o konstrukce sloužící k pojíždění jeřábu zahrnující lože, pražce, kolejivo, spojovací materiál a ostatní vybavení. Lože – zhutněný materiál, betonové desky apod. - přenáší tlaky od jeřábu do podloží. Provádí se na dobu nezbytně nutnou do doby ukončení stavebních, montážních aj. prací. Důležitý parametr pro projektování je únosnost podloží, tzn. namáhání, při kterém nebude překročen mezní stav přetvoření (pak dojde k svislým a vodorovným posunům jeřábové dráhy dočasné zejména díky sedání podloží). Prostorová úprava jeřábové dráhy musí zajišťovat bezpečný průjezdní profil (největší obrys + předepsané vůle). Kontroly provádí provozní technik – po smontování a zatížení jeřábem s břemenem je nutno provést měření k ověření únosnosti podloží, kontroly pak probíhají periodicky, měří se zejména rozchod, úchylnka směru kolejnic, niveleta kolejnic. Překročení provozní tolerance je důvodem k zastavení provozu jeřábové dráhy, odbornou organizací musí být provedeno kontrolní měření a následná rektifikace.

Potřeba pravidelného monitorování stavu dočasných jeřábových drah vychází zejména z jejich častého využití na staveništích, kde nepravidelné zatížení, povětrnostní vlivy, blízkost výkopů, pohyb těžké techniky okolo apod. mohou způsobit nebezpečné havarijní stavy během krátké doby. Přestože stanovené provozní tolerance jsou obvykle větší než u jeřábových drah trvalých, četnost sledování bývá vyžadována vyšší pro výrazně zvýšená bezpečnostní rizika provozu.

Pro projektování, výrobu, montáž a provoz dočasných jeřábových drah platí ČSN 272435 „Jeřábové dráhy dočasné“. Stanoví požadavky na prostorovou úpravu, konstrukci, mezní odchylky a rektifikaci jeřábových drah.

Základní požadavky normy ČSN 272435 „Jeřábové dráhy dočasné“:

Rozchod : do 5 m \pm 5 mm

nad 5 m \pm 1 ‰ rozchodu

Úchylka od přímosti kolejnice : do 100 m ± 20 mm
nad 100 m ± 25 mm
a současně v úseku 20 m ± 5 mm

Vzájemné převýšení horních hran kolejnic : max. 2 ‰ rozchodu

Odchyly od vodorovnosti v podélném směru : nesmí přesáhnout 1 ‰ spádu v 5-10m úsecích, přičemž max. rozdíl proti stanovené niveletě smí být ± 1 ‰ rozchodu. Rozdíl výšek hran obou kolejnic musí být v celé délce v témže smyslu.

Je-li při kontrole jeřábové dráhy zjištěna větší úchylka, je nutná rektifikace. U dočasných jeřábových drah je obvykle rektifikace obtížná – lože ze šterku, případně panelů a pražce nebo prefabrikáty s kusy kolejnice je nutno pro rektifikaci rozebrat, u panelů lze malé výškové rozdíly rektifikovat podkládáním pražců.

4.3 Návrh systému pro sledování prostorového přetvoření jeřábové dráhy

Drobné a snadno rektifikovatelné překročení provozních tolerancí nedokáže provozní technik bez potřebného vybavení a měřické odbornosti odhalit. V další části práce je tedy navržen systém pro jednoduché monitorování základních provozních parametrů kolejnic jeřábové dráhy, který využívá běžnou dnes dostupnou techniku, nevyžaduje speciální odbornost pro obsluhu a je schopen snadno odhalit odchyly v poloze kolejnic a poskytnout data potřebná pro rektifikaci bez delší odstávky jeřábu z provozu. Návrh se soustředí na monitorování základních geometrických parametrů kolejnice, tzn. její přímosti v horizontálním a vertikálním směru. Jeho smyslem není plně nahrazení komplexního odborného měření jeřábové dráhy v rámci pravidelných revizí zařízení, ale získání jednoduchého prostředku pro včasné odhalení dílčího přetvoření konstrukce během provozu jeřábu.

4.3.1 Princip metody

Metoda je založena na požadavku použití běžně dostupné techniky tak, aby nevyžadovala náročné školení a odbornou způsobilost prováděcích techniků. Vychází obecně z tzv. fotogrammetrických technologií s využitím digitální fotografie jako média, které dnes již umožňuje díky vysokému rozlišení zaznamenávat prostorové informace s dostatečnou podrobností a přesností.

Nosnou myšlenkou je realizace ideální přímky v měřeném úseku jeřábové dráhy pomocí stacionární měřické kamery a digitálního snímku měřické značky umístěné v referenčním koncovém bodě úseku kolejnice. Zjišťování odchylek polohy v předem určených monitorovaných profilech je pak možné díky snímkování značky postupně umístěné v těchto bodech a vyhodnocení posunu středu značky na jednotlivých snímcích vzhledem ke snímku referenčnímu. Skutečné hodnoty pro případnou rektifikaci kolejnice jsou pak dány rozdílem tzv. snímkových souřadnic středu značky na snímku a známou skutečnou vzdáleností značky (tzv. staničení) od měřické kamery.

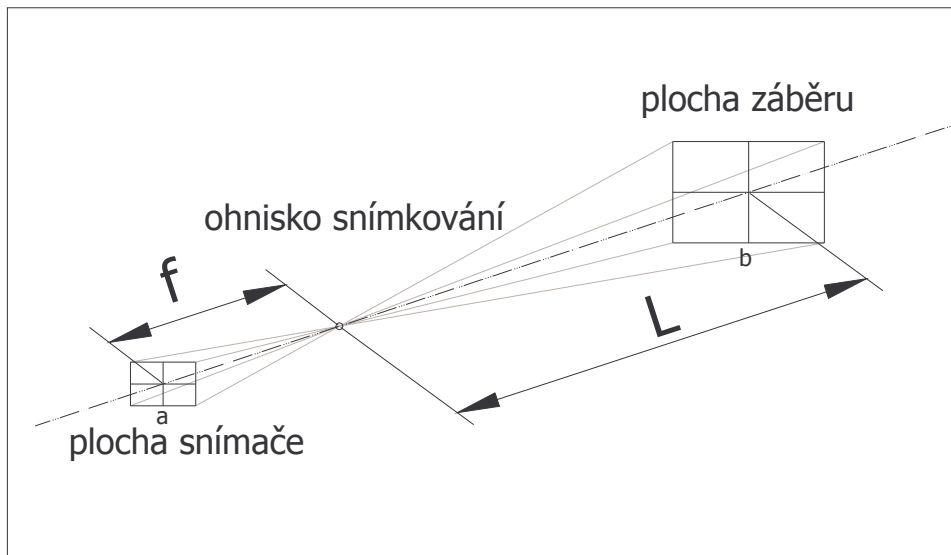
V monitorovaném úseku kolejnice je tedy třeba určit stálé sledovací body. Ideální modulovou roztečí těchto bodů je vzdálenost podpěr konstrukce jeřábové dráhy. V místech podpěr jsou současně rektifikační body jeřábové dráhy, tzn. umožňují přímé určení parametrů pro rektifikaci z polohy měřické značky. Výhodou je rovněž jednoznačná poloha monitorovacího bodu v ose podpěry bez nutnosti značení a snadné určení vzdálenosti snímkování. Tento základní systém bodů je možno dle potřeby (např. v případě velké rozteče podpěr) doplnit body mezilehlými v konstantních vzdálenostech.

Správných výsledků odchylek kolejnice v poloze lze dosazením do níže uvedených rovnic dosáhnout pouze při přesném usazení měřické kamery a měřické značky v referenčním bodě do svislé roviny procházející osou kolejnice nebo do polohy odsazené o stejnou hodnotu od této roviny. Při nestejném osovém urovnání kamery a značky musí být nejprve vyhodnocené snímkové souřadnice opraveny se znalostí skutečné polohy obou zařízení.

Správných výsledků odchylek kolejnice ve výšce lze dosazením do níže uvedených rovnic dosáhnout pouze při stejné výšce ohniska snímkování a měřické značky nad hlavou kolejnice. Při nestejném výškovém urovnání musí být nejprve vyhodnocené snímkové souřadnice opraveny se znalostí rozdílu ve výškách obou zařízení.

Princip výpočtu odchylek je patrný z obr.11.

obr. 11 Princip výpočtu odchylek



Ze známého rozměru snímače a [m], ohniskové vzdálenosti f [m] a vzdálenosti snímkaného objektu L [m] lze určit rozměr b plochy záběru ve vzdálenosti L :

$$b = \frac{aL}{f} \quad [\text{m}], \quad (1)$$

a ze známého počtu k [pix] obrazových bodů snímku pak rozměr p , který zobrazuje jeden obrazový bod snímku ve vzdálenosti L .

$$p = \frac{b}{k} = \frac{aL}{kf} \quad [\text{m} \cdot \text{pix}^{-1}], \quad (2)$$

Pro skutečnou velikost odchylky o polohy měřické značky od referenční přímky v horizontálním nebo vertikálním směru pak platí:

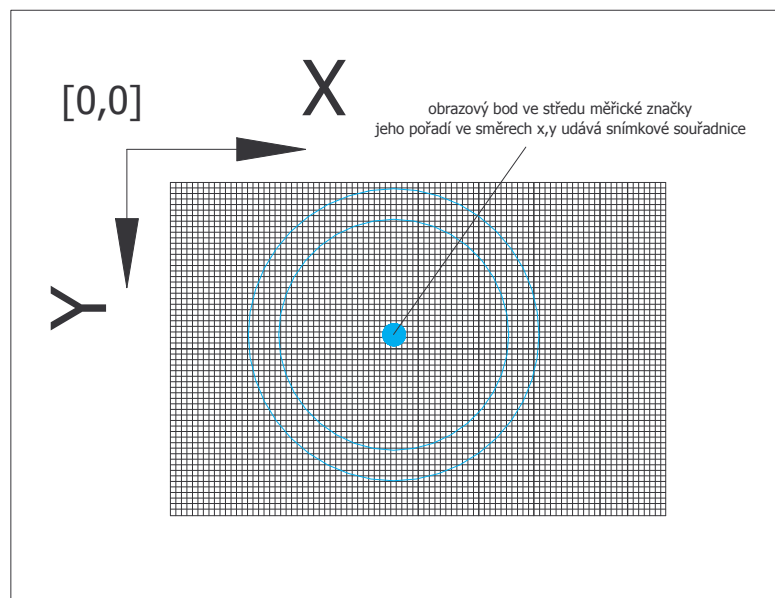
$$O = xp = \frac{xaL}{kf} \quad [\text{m}], \quad (3)$$

kde x [pix] je rozdíl snímkové souřadnice středu měřické značky na aktuálním a referenčním snímku.

Identické vztahy platí také pro určení odchytky ve svislém směru.

Schéma způsobu určení souřadnic středu měřické značky na zvětšeném snímku je uvedeno na obr. 12.

obr. 12 Určení souřadnic středu měřické značky



Vztah (2) v celé ploše snímku platí pouze v idealizovaném případě za předpokladu nulového zkreslení objektivu. Každý skutečný objektiv je charakterizován tzv. vadou objektivu, která zahrnuje individuální skutečné hodnoty ohniskové vzdálenosti, polohy hlavního snímkového bodu (přesného směru středového paprsku snímkování) a zkreslení (tzv. distorze). Proto je pro běžné fotogrammetrické aplikace nutno kalibrovat každý objektiv na modelových kalibračních etalonech, kde je prováděn přesný výpočet těchto parametrů [10], [11], [12].

Předkládaná metoda vychází z předpokladu, že pozorované změny polohy středu měřické značky se budou pohybovat v maximálních hodnotách do cca 15 mm. Vzhledem k řádovému rozdílu mezi vzdálenostmi snímkování a zjišťovanými odchytkami v poloze měřické značky bude pro vyhodnocení využita nepatrná část snímkového pole. Pro zvolenou

měřickou kameru (viz níže) činí odchylka 15 mm od 0,4% snímkového pole pro $L = 50$ m do 3% snímkového pole pro $L = 6$ m (obvyklý modul rozteče podpěr). Na takovýchto rozměrech je vliv distorze na určení relativních posunů prakticky zanedbatelný. Vzhledem k převážně radiálním směrům distorze je vhodné zacílení prvního referenčního snímku tak, aby měřická značka byla co nejbližší středu snímkového pole.

4.3.2 Parametry potřebného vybavení, rozbor přesnosti měření

Měřická kamera

Digitální fotoaparát s výstupem na paměťové médium, resp. s některým ze způsobů přenosu dat do připojeného počítače (bluetooth, USB apod.). Rozlišení kamery je jedním ze základních parametrů výběru. K provádění rozvahy byla stanovena maximální délka úseku jeřábové dráhy, která bude snímkována z jednoho stanoviště. Vzhledem k běžným rozměrům trvalých jeřábových drah a k požadavku na snadnou dostupnost potřebné techniky byla stanovena na 50 m. Vzhledem k výše (Kapitola 4.2) uvedeným hodnotám tolerancí, především pro odklon podélné osy kolejnice ve vodorovném a svislém směru, byla stanovena požadovaná nejistota určení polohy měřické značky na ± 1 mm. To znamená, že základní obrazový bod na snímku by měl na vzdálenost 50 m zobrazit plochu max. 1×1 mm².

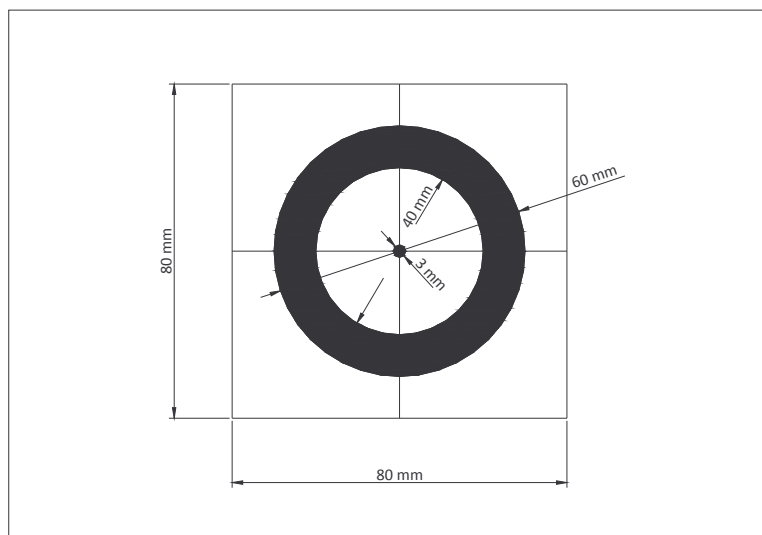
Byla zvolena měřická kamera Nikon D80 s rozlišením 10 Mpix. Velikost snímače zjištěna u výrobce činí 23,6 x 15,8. Počet obrazových bodů snímku je 3872 x 2592. Kamera byla vybavena objektivem Nikkor 70-300 mm 1:4,5-5,6G. Pro snímkování byla pevně nastavena ohnisková vzdálenost 300 mm, která dle vztahu (2) zaručuje šířku záběru obrazového bodu 1,02 mm pro vzdálenost 50 m. Kamera umožňuje bodové ostření obrazu na středu snímku a je vybavena dálkovým ovladačem závěrky, který je nutno použít pro zajištění stability kamery během snímkování. Pro účely experimentu byl pro upnutí kamery do pozice pro snímkování použit pevný fotografický stativ s možností sníženého ustavení hlavy.

Měřická značka

Byla navržena tak, aby umožnila jednoznačnou identifikaci středu v různých vzdálenostech snímkování a současně poskytovala možnost automatického bodového doostření snímku pro každou snímkovací vzdálenost. Ideální se jeví kontrastní černobílá

barevná kombinace se systémem soustředných kružnic. Pro účely navrženého experimentu byla zvolena značka tvořená černým mezikružím na bílém podkladu a černým kruhovým středovým polem. Uspořádání a rozměry značky jsou patrné z obr.13.

obr. 13 Rozměry měřické značky



Průměr středového kroužku 3 mm umožňuje identifikaci středu na snímcích s největšími vzdálenostmi snímkování (staničení $L =$ cca 50 m), kde plocha záběru obrazového bodu dosahuje rozměru přibližně $1 \times 1 \text{ mm}^2$ a současně na snímcích nejbližší polohy značky (staničení $L =$ cca 2 m) pokryje plochu o průměru pouhých cca 70 obrazových bodů, tzn. umožňuje snadný výpočet středu značky z odečtení krajních poloh průměru při dostatečné eliminaci distorze objektivu.

Vzhledem k tomu, že jeřábová dráha zvolená pro experiment je tvořena kolejnicemi typu S49 (kolejnice pro železniční svršek), byl pro uchycení značky zvolen a zapůjčen přípravek náležící do vybavení pracovníků železniční geodézie. Upínací část přípravku je přizpůsobena rozměru hlavy kolejnice tak, že je zaručena osová poloha středového trnu, na kterém je nasazen nástavec pro cílové terče. Celý nástavec díky použití geodetické trojnožky umožňuje urovnání do svislého směru. Ve snaze neporušit osové parametry zapůjčeného přípravku nebyla demontována původní terčová část, naopak byla využita k přesnému osovému umístění cílové značky pro snímkování. Výškové usazení značky bylo provedeno po stabilizaci měřické kamery do stejné výšky nad temenem kolejnice, viz obr.14.

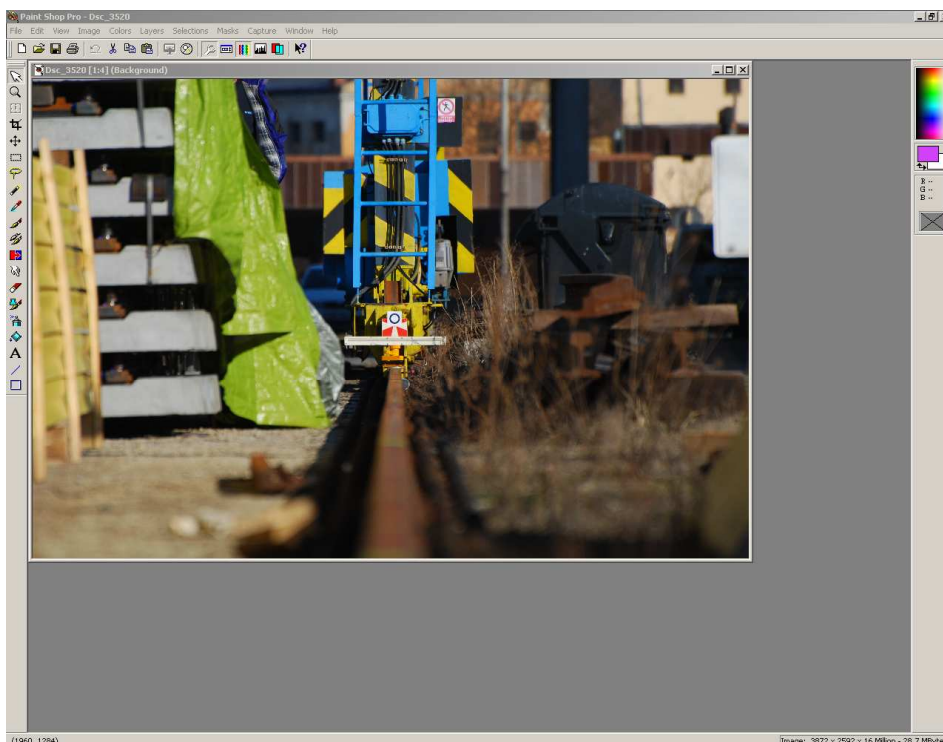
obr. 14 Upnutí měřické značky



Počítač a software pro vyhodnocení snímků

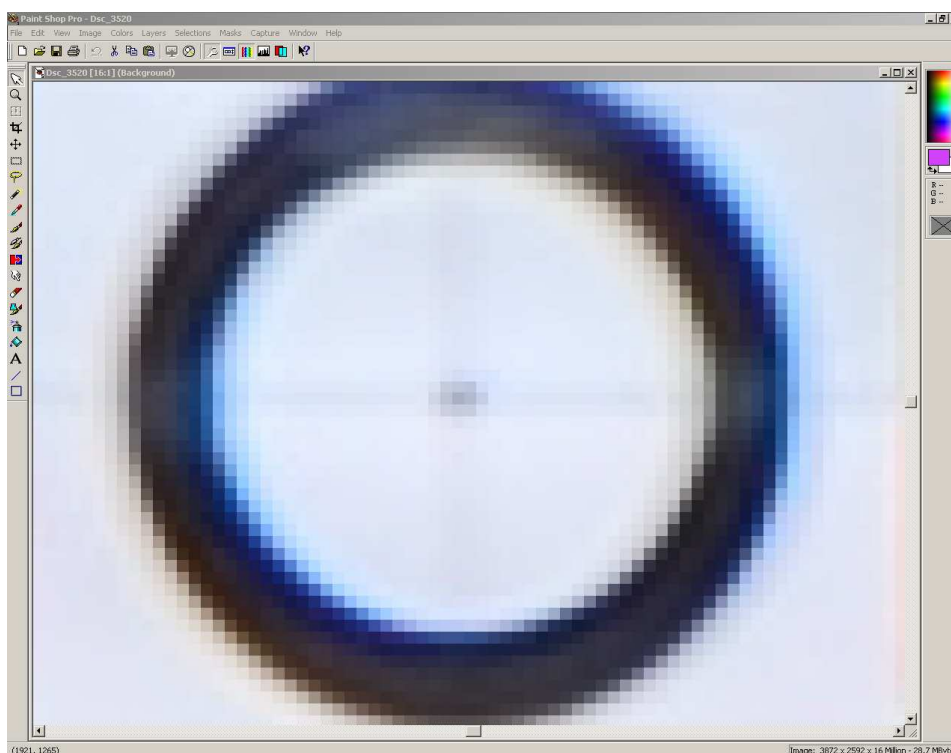
Vyhodnocení lze provádět v jakémkoli volně dostupném software pro práci s digitálními snímky, který umožňuje zvětšení snímku až na úroveň zřetelně viditelného rastru obrazových bodů a je vybaven funkcí pro zobrazení souřadnic kurzorem vybraného obrazového bodu. Pro vyhodnocení experimentu byl zvolen systém Paint Shop Pro v5.

obr. 15 Snímek ve staničení 50 m



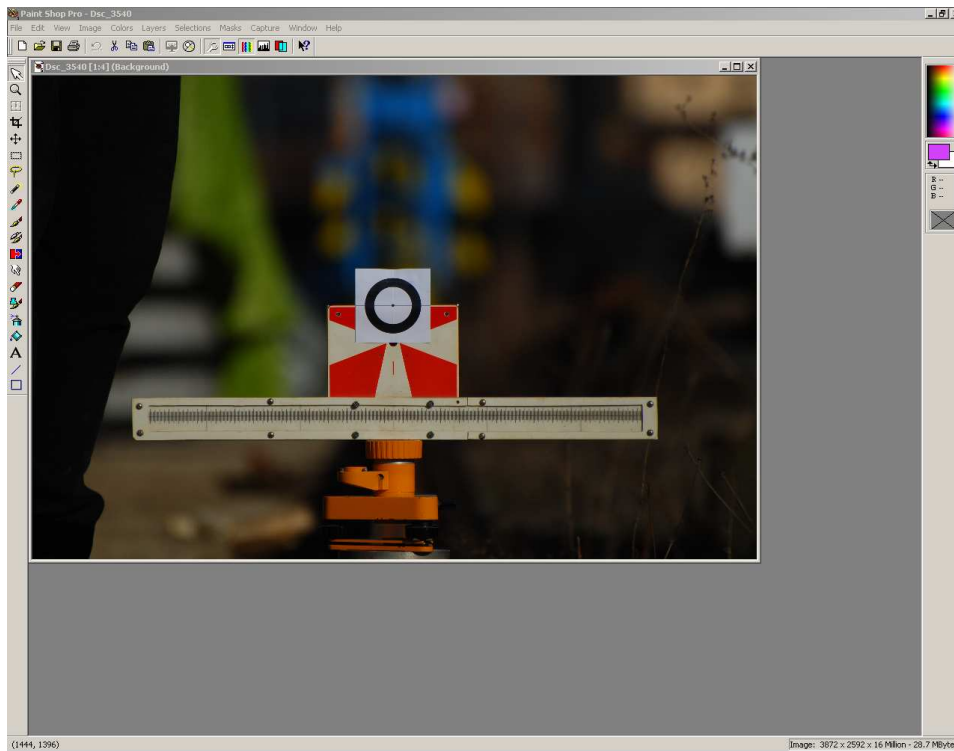
Na obr.15 je ukázka zobrazení měřického snímku v použitém software. Jde o snímek značky v monitorovacím bodě ve staničení 50 m od ohniska snímkování. Plocha snímku je tvořena rastrem 3872 x 2592 obrazových bodů. Údaj vlevo dole zobrazuje souřadnice aktuální polohy kurzoru v souřadnicovém systému s počátkem v levém horním rohu snímku. Na obr.16 je zobrazen tentýž snímek v maximálním zvětšení. Zde je dobře identifikovatelný obrazový bod zobrazující střed centrálního kroužku značky.

obr. 16 Zvětšený snímek ve staničení 50 m

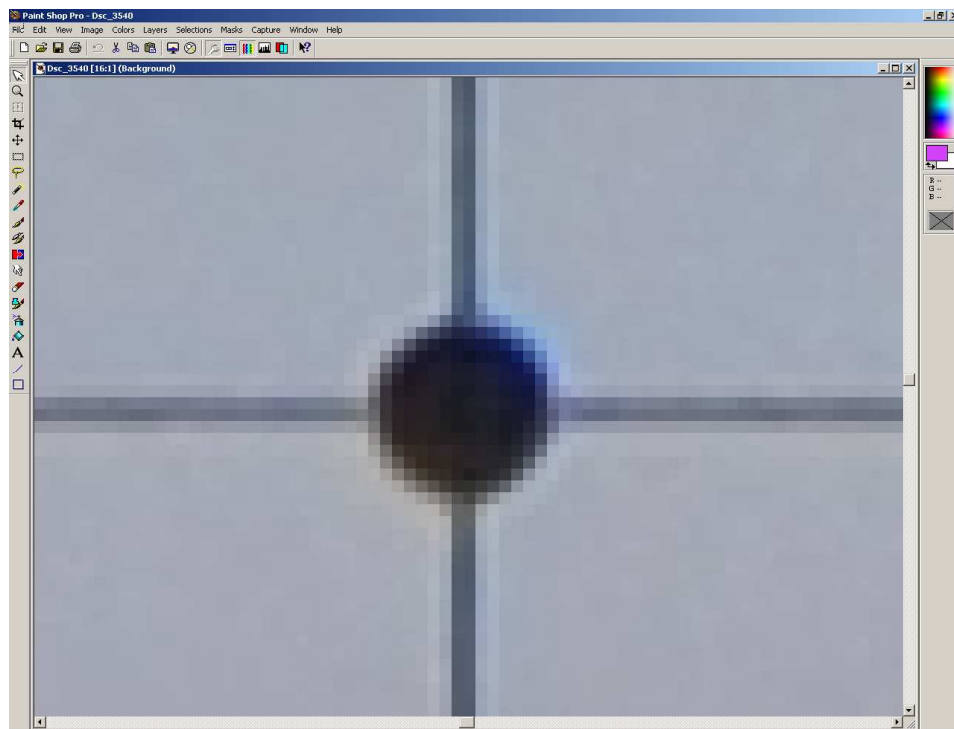


Pro ilustraci jsou na obr. 17 a obr. 18 zobrazeny obdobným způsobem snímky v monitorovacím bodě ve staničení 10 m.

obr. 17 Snímek ve staničení 10 m



obr. 18 Zvětšený snímek ve staničení 10 m



Rozbor přesnosti měření

Rozbor přesnosti měření lze provést s využitím zákona o hromadění chyb [14]. Vyjdeme-li z rovnice (2), pak pro nejistotu určení velikosti záběru obrazového bodu platí:

$$\delta(p) = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial a}\right)^2 \delta^2(a) + \left(\frac{\partial p}{\partial L}\right)^2 \delta^2(L) + \left(\frac{\partial p}{\partial f}\right)^2 \delta^2(f)} \quad [\text{m.pix}^{-1}], \quad (4)$$

tedy

$$\delta(p) = \frac{1}{k} \sqrt{\left(\frac{L}{f}\right)^2 \delta^2(a) + \left(\frac{a}{f}\right)^2 \delta^2(L) + \left(\frac{aL}{f^2}\right)^2 \delta^2(f)} \quad [\text{m.pix}^{-1}], \quad (5)$$

Pro dosažení volíme nejistotu rozměru snímače dle nejnižšího řádu rozměru udaného výrobcem $a = 23,6 \cdot 10^{-3}$ m, $\delta(a) = 10^{-4}$ m, nejistotu určení ohniskové vzdálenosti dle zkušeností z kalibrací různých typů objektivů $f = 0,3$ m, $\delta(f) = 10^{-3}$ m, nejistotu v určení staničení snímkování z požadavku na jednoduchost metody, tzn. eliminaci potřeby použití přesných pomůcek pro rozměření vzdáleností a volbu monitorovacích bodů dle umístění rektifikačních prvků jeřábové dráhy $\delta(L) = 0,1$ m. Konstanta $k = 3872$ pix. Vzhledem k tomu, že staničení snímkování L bude dosahovat velkého rozpětí hodnot, nejistotu $\delta(p)$ počítáme pro $L = 2$ m a $L = 50$ m.

$$\text{Dostáváme} \quad \delta(p)_2 = 2,04 \cdot 10^{-6} \text{ m.pix}^{-1}$$

$$\delta(p)_{50} = 5,84 \cdot 10^{-6} \text{ m.pix}^{-1}$$

Výpočet nejistoty výsledné odchylky provedeme dle stejného principu s použitím rovnice (3).

$$\delta(O) = \sqrt{p^2 \delta^2(x) + x^2 \delta^2(p)} \quad [\text{m}], \quad (6)$$

Nejistotu snímkové souřadnice volíme $\delta(x) = 0,5$ pix a dosazení provedeme pro předpokládanou odchylku $o = 0,015$ m. Pak pro $L = 2$ m této odchylce odpovídá $x = 350$ pix, pro $L = 50$ m $x = 15$ pix.

Dostáváme $\delta(O)_2 = 7,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

$$\delta(O)_{50} = 5,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Z uvedeného rozboru vyplývá, že i při monitorování větších odchylek při překročení provozních tolerancí jeřábové dráhy nepřesahuje nejistota výsledku 1 mm a zvolené značně vysoké hodnoty nejistot vstupních veličin neovlivní celkový výsledek natolik negativně, aby bylo nutno přikročit k přesnějšímu rozměřování vzdáleností snímkování, nebo provádění kalibrace měřické kamery.

5 Výsledky měření a jejich diskuse

5.1 Praktická realizace návrhu

Pro účely experimentu byla zvolena jeřábová dráha v areálu Dopravních podniků hl. m. Prahy, divize Metro, Depo Hostivař. Jedná se o dva nezávislé jeřábové portály, každý je vybaven dvěma kočkami. Nosnost jednoho portálu činí 5+5 t. Portály pojíždějí po venkovní trvalé pozemní jeřábové dráze v přímém směru o celkové délce 80 m a rozchodu 11305 mm. Jeřáb je využíván pro překládku materiálu pro stavbu a opravy kolejového svršku tratí metra a pracovní prostor je vybaven kolejí standardního rozchodu 1435 mm pro najíždění nákladních vagónů údržby a zpevněnou plochou pro prostředky silniční přepravy.

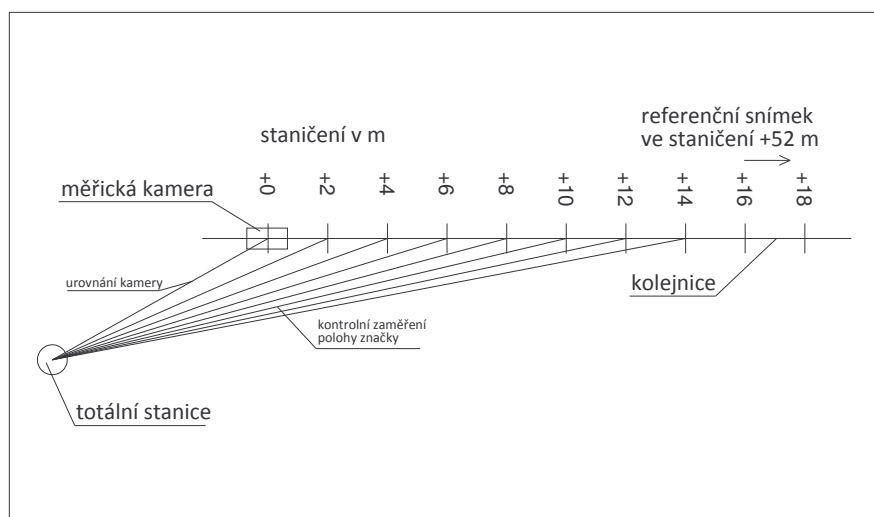
obr. 19 Jeřábová dráha v areálu Dopravních podniků



Volba tohoto zařízení byla motivována snadnou přístupností samotné konstrukce jeřábové dráhy, dále nárazovým režimem provozu jeřábu, tzn. možností využít delší časové úseky odstavení jeřábu z provozu a v neposlední řadě ochotou vedení provozu k poskytnutí potřebných povolení pro vstup a provádění experimentů. Experiment byl proveden na pravém kolejovém pasu v úseku o celkové délce 52 m. Cílem měření nebylo skutečné provedení dílčí rektifikace jeřábové dráhy, ale ověření možnosti zjištění aktuálních geometrických parametrů navrženým postupem.

Na začátku vybraného úseku kolejnice byl nejprve zvolen základní referenční bod o pracovním staničení +0 m jako stanoviště snímkování. Od tohoto počátku bylo provedeno rozměření monitorovacích intervalů po 2 m. Nejdálší takto získaný bod ve staničení +52 m byl osazen měřickou značkou pro definování referenční přímky pořízením úvodního snímku. Snímkováním měřické značky umístěné postupně ve všech připravených monitorovacích bodech byla získána řada snímků pro vyhodnocení polohy a výšky kolejnice v celém úseku. Postup byl proveden dvakrát. Při pořizování první řady snímků byla poloha měřické značky současně měřena konvenční geodetickou metodou pro získání nezávislého srovnávacího zaměření a možnost vyhodnocení kvality výsledků fotogrammetrické metody. Geodetická technika byla před zahájením snímkování využita k přesnému osovému urovňání měřické kamery nad temenem kolejnice. Tento postup byl zvolen pro ověření možností navržené metody. K případnému praktickému využití bude třeba vyvinout přípravek pro jednoduché uchycení kamery do požadované polohy na obdobném principu, jako je tomu u přípravku pro měřickou značku. Schéma uspořádání experimentu je na obr. 20.

obr. 20 Schéma uspořádání experimentu

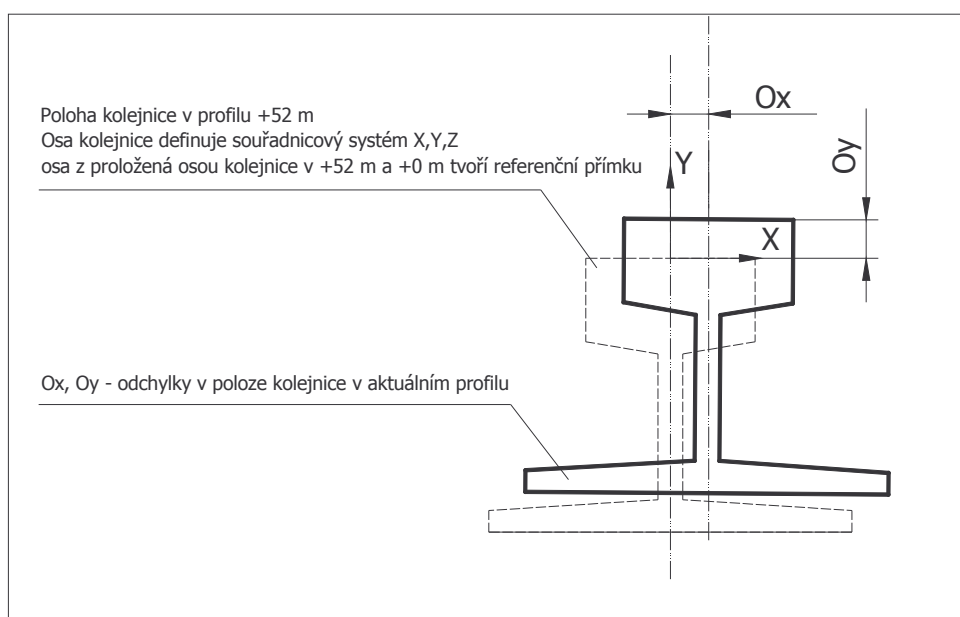


5.2 Diskuse výsledků měření

Výsledky měření konvenční geodetickou metodou

Kontrolní zaměření pro ověření výsledků bylo provedeno konvenční geodetickou metodou pracovníky společnosti AGs spol. s r.o., která se specializuje na měření při stavbě a kontrole kolejových tratí. Byla použita totální stanice Sokkia SET2030R pro určení polohy měřických terčů v místních polárních souřadnicích a následnou transformací v geodetickém výpočetním systému Groma byl zaveden pravoúhlý souřadnicový systém s jednou z os proloženou stanovištěm snímkování a referenčním bodem ve staničení +52 m. Přímost kolejnice je tak vyhodnocena ve směru zbývajících souřadnicových os, kde osa x popisuje odchylku ve směru vodorovném a osa y ve směru svislém.

obr. 21 Způsob vyhodnocení přímosti kolejnice



Osy obou souřadnicových systémů (snímkových souřadnic – obr. 21 a souřadnic polohy kolejnice – obr. 21) jsou záměrně označeny stejnými symboly, v principu je výpočet pro každý snímek převodem pro vyjádření pozorované odchylky v různých jednotkách (pix,mm). Z uvedených vyobrazení je patrná opačná orientace osy Y souřadnicových systémů. Je tím dodrženo vyjádření kladné hodnoty odchylky výšky temene kolejnice směrem vzhůru. Vztah (3) je proto pro případ výškových souřadnic upraven na tvar:

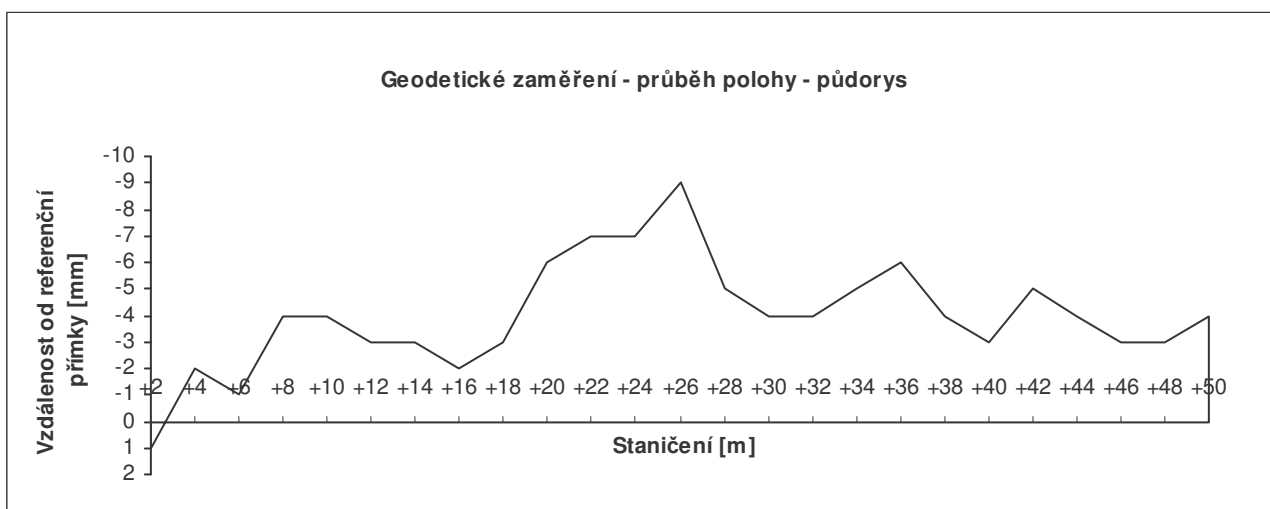
$$O = -xp = -\frac{xaL}{kf} \quad [\text{m}], \quad (7)$$

Výsledky geodetického zaměření jsou shrnuty v tabulce tab.1, grafické zobrazení pak na obr. 22, 23.

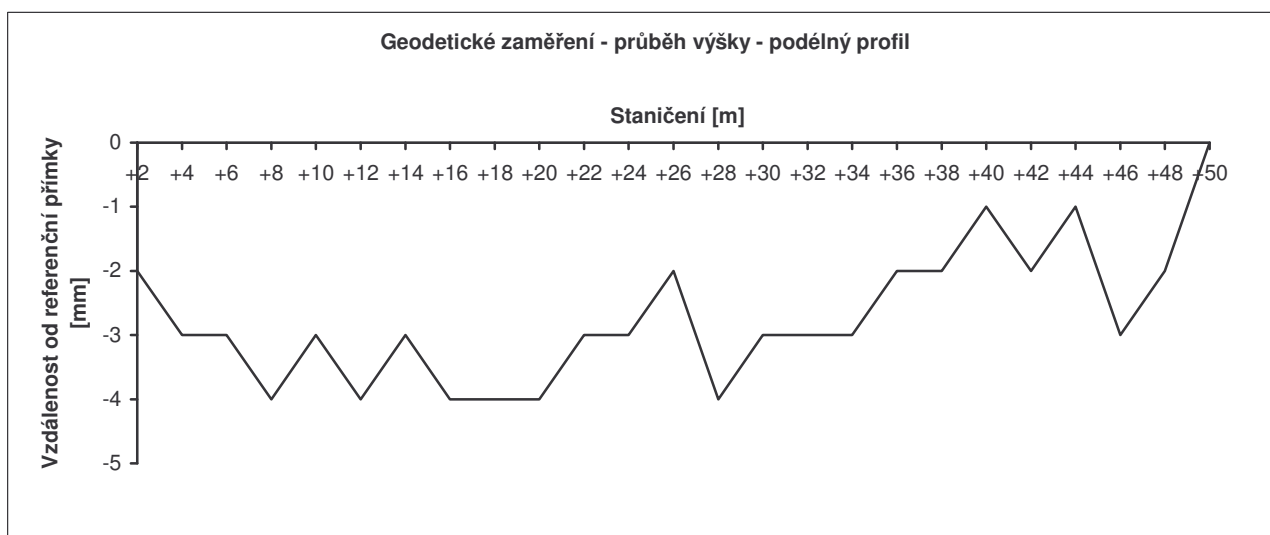
tab. 1 Výsledky geodetického zaměření

Geodetické zaměření		
staničení [m]	odchylka Ox [mm]	odchylka Oy [mm]
0	0	0
+2	1	-2
+4	-2	-3
+6	-1	-3
+8	-4	-4
+10	-4	-3
+12	-3	-4
+14	-3	-3
+16	-2	-4
+18	-3	-4
+20	-6	-4
+22	-7	-3
+24	-7	-3
+26	-9	-2
+28	-5	-4
+30	-4	-3
+32	-4	-3
+34	-5	-3
+36	-6	-2
+38	-4	-2
+40	-3	-1
+42	-5	-2
+44	-4	-1
+46	-3	-3
+48	-3	-2
+50	-4	0
+52	0	0

obr. 22 Grafické zobrazení výsledků geodetického zaměření – průběh polohy



obr. 23 Grafické zobrazení výsledků geodetického zaměření – průběh výšky



Výsledky měření snímkováním

Pro ohniskovou vzdálenost 300 mm byla dle vztahu (2) sestavena tabulka velikostí obrazových bodů v monitorovacích vzdálenostech

(na kolejnici rozměřeno po 2 m).

tab. 2 Velikosti obrazových bodů

Tabulka velikostí obrazových bodů

staničení [m]	velikost p [mm.pix⁻¹]
+2	0.04
+4	0.08
+6	0.12
+8	0.16
+10	0.20
+12	0.24
+14	0.28
+16	0.33
+18	0.37
+20	0.41
+22	0.45
+24	0.49
+26	0.53
+28	0.57
+30	0.61
+32	0.65
+34	0.69
+36	0.73
+38	0.77
+40	0.81
+42	0.85
+44	0.89
+46	0.93
+48	0.98
+50	1.02
+52	1.06

V následujících tabulkách tab. 3 a tab. 4 jsou uvedeny výsledky měření ze dvou provedených řad snímkování. Zjištěné odchylky v poloze kolejnice jsou označeny Ox_1 , Ox_2 , odchylky ve výšce Oy_1 , Oy_2 . V tabulce tab. 5 je provedeno porovnání výsledků snímkování s výsledky geodetického zaměření.

Rozdíly výsledků jsou vypočteny pro řadu snímkování 1 dle těchto vztahů:

$$\begin{aligned}\Delta Ox_1 &= Ox_1 - Ox && [\text{mm}], \\ \Delta Oy_1 &= Oy_1 - Oy && [\text{mm}],\end{aligned}\tag{8}$$

a pro řadu snímkování 2:

$$\begin{aligned}\Delta Ox_2 &= Ox_2 - Ox && [\text{mm}], \\ \Delta Oy_2 &= Oy_2 - Oy && [\text{mm}],\end{aligned}\tag{9}$$

Výsledky snímkování - řada 1

staničení [m]	snímkové souřadnice x [pix]	snímkové souřadnice y [pix]	ref 1960	ref 1303	velikost obr.bodu p [mm]	Ox ₁ [mm]	Oy ₁ [mm]
			odchylka x [pix]	odchylka y [pix]			
+2	1989	1350	29	47	0,04	1	-2
+4	1936	1344	-24	41	0,08	-2	-3
+6	1941	1326	-19	23	0,12	-2	-3
+8	1940	1323	-20	20	0,16	-3	-3
+10	1938	1325	-22	22	0,20	-4	-4
+12	1948	1320	-12	17	0,24	-3	-4
+14	1949	1317	-11	14	0,28	-3	-4
+16	1950	1314	-10	11	0,33	-3	-4
+18	1949	1316	-11	13	0,37	-4	-5
+20	1946	1313	-14	10	0,41	-6	-4
+22	1947	1310	-13	7	0,45	-6	-3
+24	1946	1307	-14	4	0,49	-7	-2
+26	1945	1307	-15	4	0,53	-8	-2
+28	1948	1310	-12	7	0,57	-7	-4
+30	1952	1311	-8	8	0,61	-5	-5
+32	1954	1308	-6	5	0,65	-4	-3
+34	1953	1307	-7	4	0,69	-5	-3
+36	1954	1305	-6	2	0,73	-4	-1
+38	1955	1306	-5	3	0,77	-4	-2
+40	1954	1305	-6	2	0,81	-5	-2
+42	1954	1305	-6	2	0,85	-5	-2
+44	1955	1305	-5	2	0,89	-4	-2
+46	1956	1305	-4	2	0,93	-4	-2
+48	1956	1305	-4	2	0,98	-4	-2
+50	1957	1304	-3	1	1,02	-3	-1
+52	1960	1303	-	-	-	-	-

tab. 3 Výsledky snímkování – řada 1

Výsledky snímkování - řada 2

ref 1942

ref 1281

staničení [m]	snímkové souřadnice x [pix]	snímkové souřadnice y [pix]	odchylka x [pix]	odchylka y [pix]	velikost obr.bodu [mm]	Ox ₂ [mm]	Oy ₂ [mm]
+2	1984	1334	42	53	0,04	2	-2
+4	1920	1317	-22	36	0,08	-2	-3
+6	1920	1305	-22	24	0,12	-3	-3
+8	1926	1302	-16	21	0,16	-3	-3
+10	1922	1297	-20	16	0,20	-4	-3
+12	1928	1294	-14	13	0,24	-3	-3
+14	1931	1293	-11	12	0,28	-3	-3
+16	1931	1291	-11	10	0,33	-4	-3
+18	1932	1292	-10	11	0,37	-4	-4
+20	1929	1291	-13	10	0,41	-5	-4
+22	1930	1290	-12	9	0,45	-5	-4
+24	1927	1285	-15	4	0,49	-7	-2
+26	1926	1286	-16	5	0,53	-8	-3
+28	1931	1288	-11	7	0,57	-6	-4
+30	1933	1287	-9	6	0,61	-5	-4
+32	1935	1286	-7	5	0,65	-5	-3
+34	1934	1286	-8	5	0,69	-6	-3
+36	1934	1284	-8	3	0,73	-6	-2
+38	1936	1284	-6	3	0,77	-5	-2
+40	1936	1284	-6	3	0,81	-5	-2
+42	1936	1284	-6	3	0,85	-5	-3
+44	1937	1282	-5	1	0,89	-4	-1
+46	1937	1284	-5	3	0,93	-5	-3
+48	1938	1282	-4	1	0,98	-4	-1
+50	1938	1282	-4	1	1,02	-4	-1
+52	1942	1281	-	-	-	-	-

tab. 4 Výsledky snímkování – řada 2

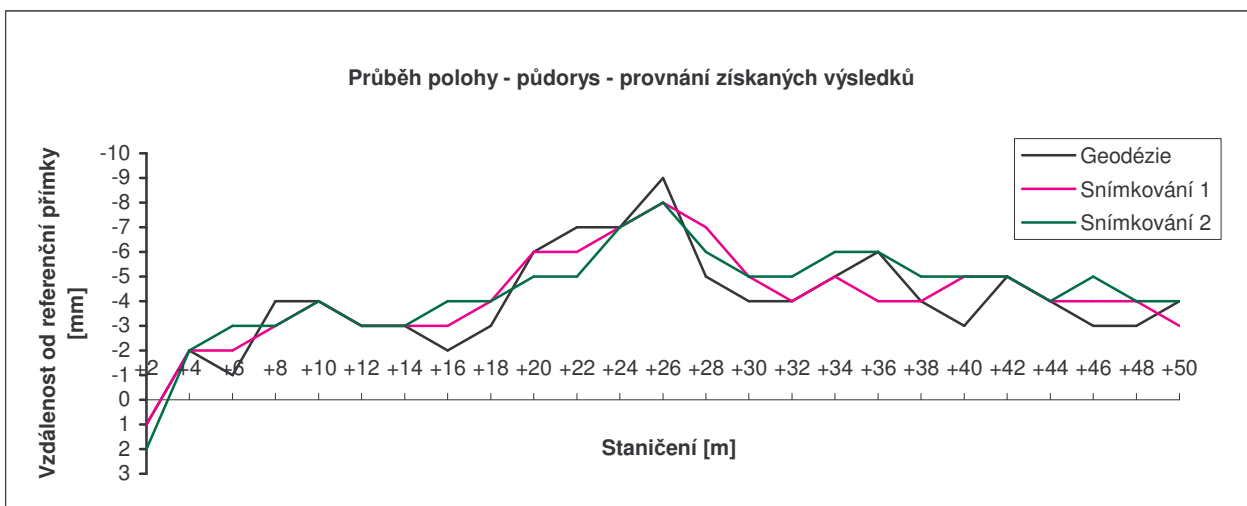
Porovnání výsledků snímkování a geodetického zaměření

Geodetické zaměření			Snímkování řada 1				Snímkování řada 2			
staničení [m]	Ox [mm]	Oy [mm]	Ox ₁ [mm]	Oy ₁ [mm]	ΔOx ₁ [mm]	ΔOy ₁ [mm]	Ox ₂ [mm]	Oy ₂ [mm]	ΔOx ₂ [mm]	ΔOy ₂ [mm]
+2	1	-2	1	-2	0	0	2	-2	1	0
+4	-2	-3	-2	-3	0	0	-2	-3	0	0
+6	-1	-3	-2	-3	-1	0	-3	-3	-2	0
+8	-4	-4	-3	-3	1	1	-3	-3	1	1
+10	-4	-3	-4	-4	0	-1	-4	-3	0	0
+12	-3	-4	-3	-4	0	0	-3	-3	0	1
+14	-3	-3	-3	-4	0	-1	-3	-3	0	0
+16	-2	-4	-3	-4	-1	0	-4	-3	-2	1
+18	-3	-4	-4	-5	-1	-1	-4	-4	-1	0
+20	-6	-4	-6	-4	0	0	-5	-4	1	0
+22	-7	-3	-6	-3	1	0	-5	-4	2	-1
+24	-7	-3	-7	-2	0	1	-7	-2	0	1
+26	-9	-2	-8	-2	1	0	-8	-3	1	-1
+28	-5	-4	-7	-4	-2	0	-6	-4	-1	0
+30	-4	-3	-5	-5	-1	-2	-5	-4	-1	-1
+32	-4	-3	-4	-3	0	0	-5	-3	-1	0
+34	-5	-3	-5	-3	0	0	-6	-3	-1	0
+36	-6	-2	-4	-1	2	1	-6	-2	0	0
+38	-4	-2	-4	-2	0	0	-5	-2	-1	0
+40	-3	-1	-5	-2	-2	-1	-5	-2	-2	-1
+42	-5	-2	-5	-2	0	0	-5	-3	0	-1
+44	-4	-1	-4	-2	0	-1	-4	-1	0	0
+46	-3	-3	-4	-2	-1	1	-5	-3	-2	0
+48	-3	-2	-4	-2	-1	0	-4	-1	-1	1
+50	-4	0	-3	-1	1	-1	-4	-1	0	-1

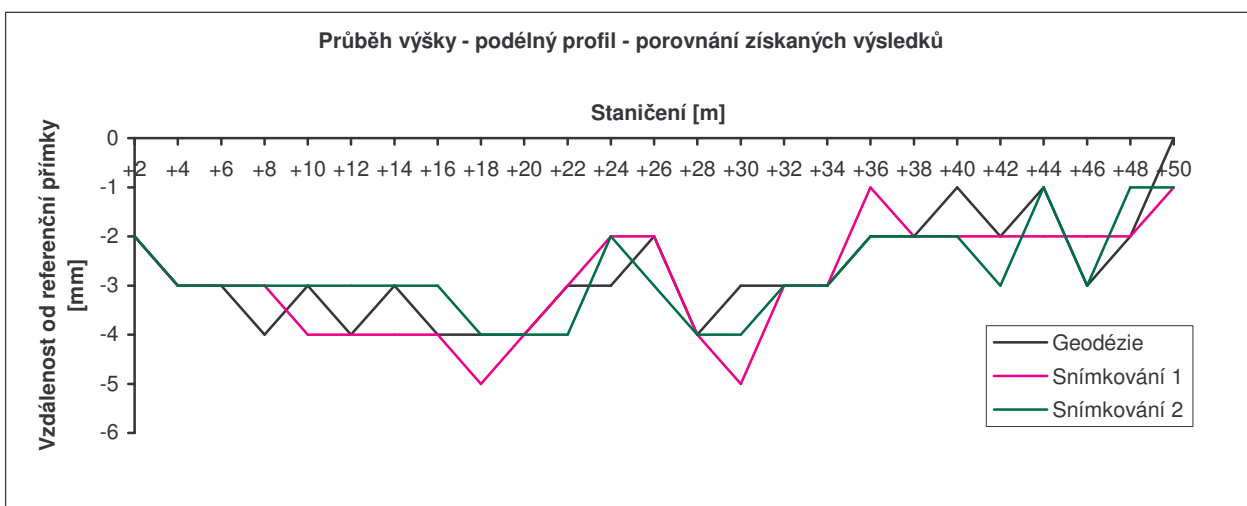
tab. 5 Porovnání výsledků snímkování a geodetického zaměření

V následujících grafech je zobrazeno porovnání výsledků zaměření průběhu kolejnice získaných geodetickou metodou a oběma řadami snímkování. Z porovnání obou grafů jsou zřejmé výraznější zjištěné odchylky od přímky v poloze kolejnice oproti odchylkám výškovým a přibližně shodné průběhy všech tří křivek. Statistické zpracování výsledků pro porovnání výsledků použitých metod je uvedeno v další části textu.

obr. 24 Grafické zobrazení porovnání výsledků – průběh polohy



obr. 25 Grafické zobrazení porovnání výsledků – průběh výšky



Statistické zpracování výsledků

Dle literatury [15] byly pro získané soubory pozorování zpracovány statistické charakteristiky polohy a variability. Podle vztahů:

$$\begin{aligned} \overline{\Delta O_x} &= \frac{\sum \Delta O_x}{n} && [\text{mm}], \\ \text{a} \quad \overline{\Delta O_y} &= \frac{\sum \Delta O_y}{n} && [\text{mm}], \end{aligned} \quad (10)$$

byly vypočteny aritmetické průměry rozdílů výsledků snímkování a geodetického zaměření. Tyto hodnoty udávají průměrnou hodnotu odchýlení výsledku snímkování od geodetického měření, jejich znaménko pak převažující směr těchto rozdílů. Pro posouzení faktických velikostí rozdílů je třeba stanovit rozptyly a směrodatné odchylky dle vztahů pro rozptyly:

$$\begin{aligned} s_{ox}^2 &= \frac{\sum \Delta O_x^2 - \overline{\Delta O_x} \sum \Delta O_x}{n-1} && [\text{mm}^2], \\ s_{oy}^2 &= \frac{\sum \Delta O_y^2 - \overline{\Delta O_y} \sum \Delta O_y}{n-1} && [\text{mm}^2], \end{aligned} \quad (11)$$

a pro směrodatné odchylky:

$$\begin{aligned} s_{ox} &= \sqrt{s_{ox}^2} && [\text{mm}], \\ s_{oy} &= \sqrt{s_{oy}^2} && [\text{mm}], \end{aligned} \quad (12)$$

Výsledky statistického zpracování

Řada snímkování 1:

Aritmetický průměr - poloha	$\overline{\Delta O_{x1}} = -0,16 \text{ mm}$
Rozptyl - poloha	$s_{ox1}^2 = 0,89 \text{ mm}^2$
Směrodatná odchylka - poloha	$s_{ox1} = 0,94 \text{ mm}$
Aritmetický průměr - výška	$\overline{\Delta O_{y1}} = -0,16 \text{ mm}$
Rozptyl - výška	$s_{oy1}^2 = 0,55 \text{ mm}^2$
Směrodatná odchylka - výška	$s_{oy1} = 0,75 \text{ mm}$

Řada snímkování 2:

Aritmetický průměr - poloha	$\overline{\Delta O_{x2}} = -0,36 \text{ mm}$
Rozptyl - poloha	$s_{ox2}^2 = 1,16 \text{ mm}^2$
Směrodatná odchylka - poloha	$s_{ox2} = 1,08 \text{ mm}$
Aritmetický průměr - výška	$\overline{\Delta O_{y2}} = -0,04 \text{ mm}$
Rozptyl - výška	$s_{oy2}^2 = 0,46 \text{ mm}^2$
Směrodatná odchylka - výška	$s_{oy2} = 0,68 \text{ mm}$

Porovnání rozptylů výsledků obou řad snímkování ukazuje na vyšší spolehlivost určení výšky než polohy kolejnice. Důvod je možno hledat v mechanismu upínání měřické značky ke kolejnici a ve výšce značky nad temenem kolejnice. Zatímco samotnou výšku značky je možno s dostatečnou přesností změřit, chyba z nekolmosti středového trnu upínacího zařízení je dána obtížně popsatelnými nepřesnostmi v provedení přípravku a s výškou značky stoupá. Pro experiment byla použita výška 275 mm, v dalších případech měření bude vhodné použít nejmenší možnou výšku značky nad temenem kolejnice ve vazbě na výšku stanoviště měřické kamery.

V další části výpočtu je provedeno statistické porovnání rozptylů a průměrů dvou výběrových množin vzniklých dvěma řadami snímkování. Dle [15] byl pro srovnání rozptylů zvolen tzv. F-test. Testové kritérium F dle vztahu:

$$F = s_1^2 / s_2^2, \quad s_1^2 > s_2^2, \quad (13)$$

je porovnáno s tabelovanou [16] kritickou hodnotou F rozdělení $F_{\alpha}(n-1, n-1)$. Testování bylo provedeno na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Test pro polohu kolejnice:

$$F=1,30 \quad F_{0,05}(24,24)=1,98 \quad F < F_{0,05}(24,24)$$

rozptyly v určení polohy kolejnice lze považovat za shodné.

Test pro výšku kolejnice:

$$F=1,19 \quad F_{0,05}(24,24)=1,98 \quad F < F_{0,05}(24,24)$$

rozptyly v určení výšky kolejnice lze považovat za shodné.

Pro srovnání průměrů obou výběrů byl proveden tzv. Dvouvýběrový t-test. Dle [15] bylo vypočteno testovací kritérium t:

$$t = (O1 - O2) / s \sqrt{(2/n)}, \quad (14)$$

kde

$$s^2 = ((n-1) s_1^2 + (n-1) s_2^2) / (2n-2), \quad (15)$$

které bylo srovnáno s tabelovanou [16] kritickou hodnotou t Studentova t-rozdělení $t_{\alpha}(2n-2)$. Testování bylo provedeno na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Test pro polohu kolejnice:

$$s^2=1,03 \quad t=0,70 \quad t_{0,05}(48)=2,01 \quad \text{abs}(t) < t_{0,05}(48)$$

průměry v určení polohy kolejnice lze považovat za shodné.

Test pro výšku kolejnice:

$$s^2=0,51 \quad t = -0,60 \quad t_{0,05}(48)=2,01 \quad \text{abs}(t) < t_{0,05}(48)$$

průměry v určení výšky kolejnice lze považovat za shodné.

6 Návrh na zlepšení současného stavu

6.1 Zhodnocení provozně ekonomického přínosu metody

Předkládaná metoda sledování provozních parametrů jeřábových drah je určena především pro zjednodušení postupu při monitorování základních charakteristik kolejnice v rámci pravidelných kontrol, při rektifikaci, nebo při montáži jeřábové dráhy. Tyto činnosti, ať už je vykonává provozovatel jeřábu nebo specializovaná servisní firma, vyžadují účast geodetické společnosti, která provádí veškeré úkony ke zjišťování geometrických parametrů [6], [7], [8].

Běžné náklady na geodetické práce prováděné na jeřábových drahách (platné pro převyšované dráhy mostových nebo konzolových jeřábů):

Orientační cena kontrolního zaměření aktuálního stavu jeřábové dráhy	15 000,- Kč
Orientační cena měřických prací při rektifikaci jeřábové dráhy	30 000,- Kč
Orientační cena měřických prací při montáži jeřábové dráhy	40 000,- Kč

Použití fotogrammetrické metody by tedy znamenalo omezení nákladů na geodetické práce pouze na nutné kontrolní zaměření pro vydání protokolu úředně oprávněného zeměměřického inženýra před uvedením jeřábové dráhy do provozu po montáži nebo rekonstrukci a v případě povinných pravidelných měření (interval 3-6 let). Snímkování může provádět jeden pracovník v rámci celkové kontroly zařízení při použití běžně dostupné techniky, tak jak bylo popsáno v experimentální části práce. Pořizovací náklady na nutné vybavení vychází z běžných maloobchodních cen a jsou uvedeny dle údajů obchodního serveru afoto.cz.

Příklad potřebného vybavení:

Měřická kamera (tělo) Nikon DC D80	15 000,- Kč
Objektiv Nikkor 70-300mm 1:4,5-5,6 G	15 000,- Kč
Měřická značka	200,- Kč
Upínací prvky (odhad ceny)	5 000,- Kč
Počítač pro vyhodnocení	předpoklad využití běžného PC ve vybavení společnosti

Software pro vyhodnocení

předpoklad využití volně dostupného software
pro práci se snímky a tabulkového editoru

Náklady na zaškolení (tzn. provedení 0.etapy sledování) 2 000,- Kč

Celkové náklady na pořízení vybavení a implementaci měřické metody nepřesáhnou částku 40 000,- Kč. Tento náklad bude při využití metody vyrovnán úsporami za geodetické práce při montážích drah a při jejich rektifikacích. Dílčí rektifikace pro vyrovnání drobných nepřesností v poloze a výšce kolejnic lze provést v rámci běžných kontrol zařízení fotogrammetricky, jejich pravidelné provádění několikanásobně prodlouží interval pro celkové rekonstrukce jeřábové dráhy a odrazí se v nižším stupni opotřebení součástí pojezdu a pohonu jeřábu. Namáhanými partiemi jsou především nákolky, ložiska kol pojezdu, nosná konstrukce pojezdu a pohon s převodovými částmi. Výměna nebo repase těchto ústrojí již představuje náklady řádově vyšší a prodloužení jejich životnosti by mělo být hlavním zdrojem ekonomického efektu navrženého způsobu měření.

7 Závěr

Práce si vytkla za cíl navrhnout způsob monitorování geometrických provozních parametrů jeřábových drah s uplatněním předností moderní digitální fotografie, především vysokého rozlišení běžně dostupných snímačů obrazu. Rozbor experimentálně získaných dat potvrdil možnost využití předložené fotogrammetrické metody k vyhodnocení přímosti kolejnice ve vodorovném a svislém směru. Po odstranění drobných zjištěných nedostatků, jak již bylo zmíněno v diskusi výsledků měření, tedy zjednodušení, zpřesnění a zvýšení stability upnutí měřické kamery a značky pomocí univerzálního upínacího prvku může být tato metoda přínosem jak pro organizace provozující jeřáby na kolejových drahách, tak pro společnosti poskytující servis těchto zařízení.

Výhody metody jsou zejména v jednoduchém provedení měření spočívajícím v obsluze běžného digitálního fotoaparátu a v základním počítačovém zpracování pořízených snímků, nízkých nárocích na počet prováděcích pracovníků – v běžném případě může celé měření snadno provést jedna osoba a v dokumentační a archivační hodnotě snímků. Pořízené fotografie mohou být kromě aktuálně získaných dat použity kdykoli pro provedení opakovaných nebo doplňujících měření, pro vizuální kontrolu změn konstrukcí mezi jednotlivými etapami sledování nebo jako důkazní materiál o provedených měřeních a rektifikacích.

Metoda byla navržena pro použití na jeřábové dráze. Principiálně je však možné obdobný postup využít pro jakékoli zařízení nebo konstrukci vyžadující přímý směr. Nabízí se tak uplatnění u všech typů dopravních zařízení s přímými úseky dráhy, při sestavování výrobních a dopravních linek se zřetelem na směrovou návaznost jednotlivých částí nebo při monitorování a posuzování přímosti konstrukcí staveb.

8 Seznam literatury

- [1] Remta, F. - Kupka, L. - Dražan, F.: *Jeřáby 1.díl*. 2. vydání. Praha: SNTL, 1974. 648 s.
- [2] Remta, F. - Kupka, L. - Dražan, F.: *Jeřáby 2.díl*. 2. vydání. Praha: SNTL, 1975. 566 s.
- [3] Graja, J.: Úchyly rozměrů a geometrických tvarů jeřábů. In *Zdvihací zařízení v praxi. Novinky ve výrobě mostových jeřábů a norem ČSN*. Trutnov: H.V.K.L. Propag Team, 1992. s. 73 – 83.
- [4] Krumphanzl, V.: *Jeřáby. Příručka pro zaměřování a značkování jeřábů. Výtah z přednášek o užité geodesii*. Praha, 1953. 27 s.
- [5] Ďurkovič, O.: *Dopravní a manipulační stroje*. 1. vydání. Praha: Vysoká škola zemědělská. Technická fakulta, 1995. 224 s. ISBN 80-213-0134-1
- [6] Kolektiv autorů.: *Revizní technik jeřábů a zdvihadel I*. 1.vydání.Ostrava: Dům techniky ČSVTS, 1990. 77 s.
- [7] Kolektiv autorů.: *Revizní technik jeřábů a zdvihadel II*. 1.vydání.Ostrava: Dům techniky ČSVTS, 1990. 79 s.
- [8] Kolektiv autorů.: *Revizní technik jeřábů a zdvihadel III*. 1.vydání.Ostrava: Dům techniky ČSVTS, 1990. 89 s.
- [9] Řeřicha, P.: *Vodorovné účinky pojezdu mostového jeřábu*. Kandidátská disertační práce. Praha: ČVUT, 1972.
- [10] CDW, *Close range digital workstation*. Braunschweig: Rollei Fototechnic GmbH, 1998. 207s.
- [11] *Kalibrační protokoly měřických kamer*. Firemní dokumentace. Praha: Ags spol. s r.o.

- [12] Obr, V. – Koska, B.: *Metody odstranění distorzí* [online]. Praha: FSI ČVUT, [cit 2011-02-03]. Dostupné z: <http://k154.fsv.cvut.cz/~koska/publikace/soubory/>
- [13] Pavelka, K. et. al.: *Fotogrammetrie 30: Digitální metody*. Skriptum. Praha: FSI ČVUT, 2001. 179s. ISBN 80-01-02413-X
- [14] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: *Teorie chyb a vyrovnávací počet*. Praha: GKP, 1990. 416s. ISBN 80-7011-056-2
- [15] Kába, B. – Svatošová, L.: *Statistika*. Skriptum. Praha: ČZU, 2005. 152s. ISBN 80-213-0746-3
- [16] Prášilová, M. – Svatošová, L.: *Statistika v příkladech, Pracovní sešit pro posluchače kombinovaného studia*. Skriptum. Praha: ČZU, 2004. 108s. ISBN 80-213-1130-4

9 Seznam použitých obrázků a tabulek

- obr. 1 Elektrický mostový jeřáb
- obr. 2 Portálový jeřáb
- obr. 3 Konzolový jeřáb neotočný
- obr. 4 Schéma nástěnného jeřábu
- obr. 5 Velocipédový jeřáb
- obr. 6 Lanový jeřáb rovnoběžně pojízdný
- obr. 7 Lanový jeřáb kruhově pojízdný
- obr. 8 Jeřabová dráha
- obr. 9 Odklon střednice kolejnice
- obr. 10 Sklon kolejnice v příčné rovině
- obr. 11 Princip výpočtu odchylek
- obr. 12 Určení souřadnic středu měřické značky
- obr. 13 Rozměry měřické značky
- obr. 14 Upnutí měřické značky
- obr. 15 Snímek ve staničení 50 m
- obr. 16 Zvětšený snímek ve staničení 50 m
- obr. 17 Snímek ve staničení 10 m
- obr. 18 Zvětšený snímek ve staničení 10 m
- obr. 19 Jeřabová dráha v areálu Dopravních podniků
- obr. 20 Schéma uspořádání experimentu
- obr. 21 Způsob vyhodnocení přímosti kolejnice
- obr. 22 Grafické zobrazení výsledků geodetického zaměření – průběh polohy
- obr. 23 Grafické zobrazení výsledků geodetického zaměření – průběh výšky
- obr. 24 Grafické zobrazení porovnání výsledků – průběh polohy
- obr. 25 Grafické zobrazení porovnání výsledků – průběh výšky

tab. 1 Výsledky geodetického zaměření

tab. 2 Velikosti obrazových bodů

tab. 3 Výsledky snímkování – řada 1

tab. 4 Výsledky snímkování – řada 2

tab. 5 Porovnání výsledků snímkování a geodetického zaměření