

## **Konečné řešení náhrady ČSN 73 2601 – provádění kontrol konstrukcí jeřábových drah po zavedení ČSN EN 1090-2**

Ing. Pavel Háša, Excon a.s.

V současné době byly zrušeny staré normy pro provádění ocelových konstrukcí. Tyto normy byly v nedávné době nahrazeny přejetými evropskými normami. Podobný proces proběhl i v normách pro navrhování jeřábů – byly zrušeny normy řady ČSN 27 .... a nahrazeny normami evropskými.

### **1. Zatřídění konstrukcí**

Předchozí norma ČSN 73 2601 „Provádění ocelových konstrukcí“ z roku 1988 [1] byla k 1.9.2011 zrušena. Ocelové konstrukce vyráběné podle této normy se podle funkce, výrobních, montážních a provozních podmínek a požadavků na přesnost zařazovaly do tří výrobních skupin:

- Výrobní skupina A- nosné ocelové konstrukce, jejichž výsledný tvar a funkce vyžadují zvýšenou jakost výroby a přesnost ve smontovaném stavu
- Výrobní skupina B – nosné ocelové konstrukce nezařazené do výrobní skupiny A
- Výrobní skupina C- podružné a doplňkové konstrukce.

Konstrukce výrobních skupin A, B se zvýšenými požadavky na výrobu z hlediska dynamického zatížení, nebezpečí únavy či křehkého lomu se označovaly doplňkovým písmenem „a“ (pak konstrukce výrobních skupin „Aa“ či „Ba“.

Konstrukce jeřábových drah byly zpravidla řazeny do výrobní skupiny „Aa“.

Zařazení konstrukce do výrobních skupin mělo dopad na povolené výrobní a montážní tolerance, předepisované v ČSN 73 2611 „Úchyly rozměrů a tvarů ocelových konstrukcí“ z roku 1978 [2] (rovněž k 1. 9. 2011 zrušena).

Ze zatřídění konstrukce do výrobních skupin dále vyplývaly požadavky na periody preventivních a podrobných kontrolních prohlídek podle ČSN 73 2601.

Nová norma pro výrobu ocelových konstrukcí ČSN EN 1090-2 „Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce“, z dubna 2009 [3] ocelové konstrukce zatřídí do čtyř tříd provedení, označovaných EXC1 až EXC4, pro které požadavek přísnosti vzrůstá od třídy EXC1 ke třídě EXC 4. Seznam požadavků vztažených ke třídám je dán v normativní příloze A této normy, návod jak konstrukce zatřídit je popsán v informativní příloze B této normy.

Zatřídění konstrukce vychází z třídy následků z důvodu diferenciací spolehlivosti podle základního Eurocodu ČSN EN 1990 ed. 2 z roku 2011 [6]. Třídy následků pro konstrukční dílce se dělí do tří úrovní, označených CC<sub>i</sub> (i=1,2,3) a popsáných v tabulce B.1. této normy.

| Třída následků | Popis  | Příklady pozemních nebo inženýrských staveb  |
|----------------|--|--|
| CC3            | Velké následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo velmi vysoké následky ekonomické, sociální, pro prostředí          | Stadióny, budovy pro veřejnost kde následky poruchy jsou vysoké (např. koncertní sály)   |
| CC2            | Střední následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo značné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí          | Obytné a administrativní budovy, budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruchy středně závažné (např. kancelářské budovy) |
| CC1            | Malé následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo malé/ zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí | Zemědělské budovy, kam lidé běžně nevstupují (např. budovy pro skladovací účely, skleníky)   |

Tab. 1. Třídy následků

Dalším kritériem se pro zařazení konstrukcí do EXCi jsou rizika spojená s používáním konstrukcí. Tato rizika jsou popsána kategoriemi použitelnosti SCi, danými v tabulce B.1. ČSN EN 1090-2

| Kategorie | Kritéria   |
|-----------|--|
| SC1       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstrukce a dílce navržené pouze na quazistatické zatížení</li> <li>- Konstrukce a dílce s přípoji navržené pro seismické zatížení s nízkou aktivitou</li> <li>- Konstrukce a dílce navržené na únavové zatížení od jeřábů – třída S<sub>0</sub></li> </ul>  |
| SC2       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstrukce a dílce navržené na únavu (mosty, jeřáby S<sub>1</sub>-S<sub>9</sub>, konstrukce zatížené vibracemi od větru, konstrukce zatížené davem lidí, konstrukce zatížené rotačním strojem)</li> <li>- Konstrukce a dílce s přípoji v oblastech se střední nebo vysokou seismickou aktivitou)</li> </ul> |

Tab. 2 Kategorie použitelnosti

Posledním kritériem pro stanovení EXCi jsou rizika spojená s prováděním konstrukce, popsané výrobními kategoriemi PCi, danými v tabulce B.2. ČSN EN 1090-2

| Kategorie | Kritéria  |
|-----------|---|
| PC1       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nesvařované dílce z výrobků jakékoliv pevnostní třídy oceli</li> <li>- Svařované dílce z výrobků z oceli nižší pevnosti než S355</li> </ul>  |
| PC2       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Svařované dílce vyrobené z výrobků z oceli S355 a vyšší</li> <li>- Základní dílce pro celistvost konstrukce, svařované na staveništi</li> <li>- Dílce tvářené za tepla nebo tepelně zpracované během výroby</li> <li>- Dílce příhradových nosníků z kruhových dutých průřezů CHS, vyžadující tvarově řezané konce</li> </ul> |

Tab. 3. Výrobní kategorie

Výběr třídy provedení EXCi má provést projektant ve spolupráci budoucím uživatelem. Postupuje se zpravidla podle tabulky B3 ČSN EN 1090-2.

| Třída následků  | CC1 |      | CC2  |      | CC3  |                   |                   |
|---|-----|------|------|------|------|-------------------|-------------------|
| Kategorie použitelnosti   |     | SC1  | SC2  | SC1  | SC2  | SC1               | SC2               |
| Výrobní kategorie   | PC1 | EXC1 | EXC2 | EXC2 | EXC3 | EXC3 <sup>a</sup> | EXC3 <sup>a</sup> |
|   | PC2 | EXC2 | EXC2 | EXC2 | EXC3 | EXC3 <sup>a</sup> | EXC4              |
| <sup>a</sup> EXC 4 se má použít na zvláštní konstrukce nebo konstrukce s extrémními následky při porušení |     |      |      |      |      |                   |                   |

Tab. 4. Výběr třídy provedení

Většina jeřábových drah bude tedy zařazena do třídy provedení EXC3 .

## 2. Výrobní tolerance

Pro konstrukce vyráběné podle staré normy ČSN 73 2601 platily výrobní a montážní tolerance dle normy ČSN 73 2611 „Úchylky rozměrů a tvarů ocelových konstrukcí“ z roku 1978 (nyní rovněž zrušená). Tato norma obecně vztahovala úchylky k výrobní skupině A ,B či C.


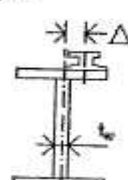
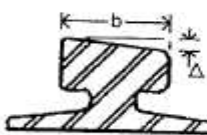
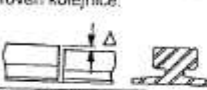
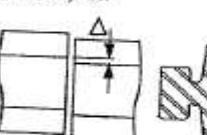
Současná norma ČSN EN 1090-2 zná dva typy tolerancí:

- Základní tolerance (zásadní pro mechanickou únosnost a stabilitu smontované konstrukce)

- Funkční tolerance ve dvou třídách 1 a 2 (požadované pro splnění dalších kritérií)

Tolerance jsou předepsány v normativní příloze D, pro jeřábové dráhy konkrétně v tabulce D.2.19 (funkční tolerance). Tolerance obecně nemají návaznost na třídu provedení.

D.2.19 Funkční výrobní a montážní tolerance – Nosníky jeřábových drah a kolejnice

| Číslo | Kritérium  | Parametr  | Dovolená úchytky $\Delta$                             |   |
|-------|--|---|---|---|
|       |  |   | třída 1   | třída 2   |
| 1     | Rovinnost horní pásnice jeřábové dráhy:<br>     | Nerovinnost střední vzdálenosti $w$ , která se rovná šířce kolejnice plus 10 mm na každou stranu kolejnice ve jmenovité poloze. | $\Delta = \pm 1 \text{ mm}$                           | $\Delta = \pm 1 \text{ mm}$                           |
| 2     | Excentricita kolejnice vztažená ke stojině:<br> | pro $l_w \leq 10 \text{ mm}$<br>pro $l_w > 10 \text{ mm}$   | $\Delta = \pm 5 \text{ mm}$<br>$\Delta = \pm 0,5 l_w$ | $\Delta = \pm 5 \text{ mm}$<br>$\Delta = \pm 0,5 l_w$ |
| 3     | Sklon hlavy kolejnice:<br>                     | Sklon horního povrchu příčného řezu:  | $\Delta = \pm b/100$                                  | $\Delta = \pm b/100$                                  |
| 4     | Úroveň kolejnice:<br>                         | Rozdíl horních částí kolejnice ve styku:  | $\Delta = \pm 1 \text{ mm}$                           | $\Delta = \pm 0,5 \text{ mm}$                         |
| 5     | Hrana kolejnice:<br>                          | Rozdíl hrany kolejnice ve styku:  | $\Delta = \pm 1 \text{ mm}$                           | $\Delta = \pm 0,5 \text{ mm}$                         |

Tab. 5. Funkční tolerance jeřábových drah

Zde uvedené funkční tolerance jsou vesměs přísnější než v předchozí normě ČSN 73 2611

### 3. Návrh jeřábových drah

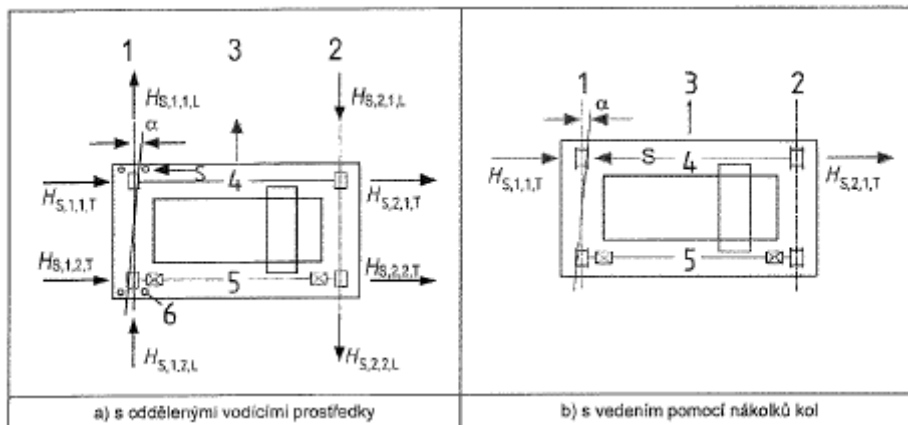
Pro návrh jeřábových drah platí v současné době dvě základní normy

- ČSN EN 1993-6, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí- Část 6: Jeřábové dráhy z 09/2008 [8]
- ČSN EN 1991-3, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení z 01/2008 [9]

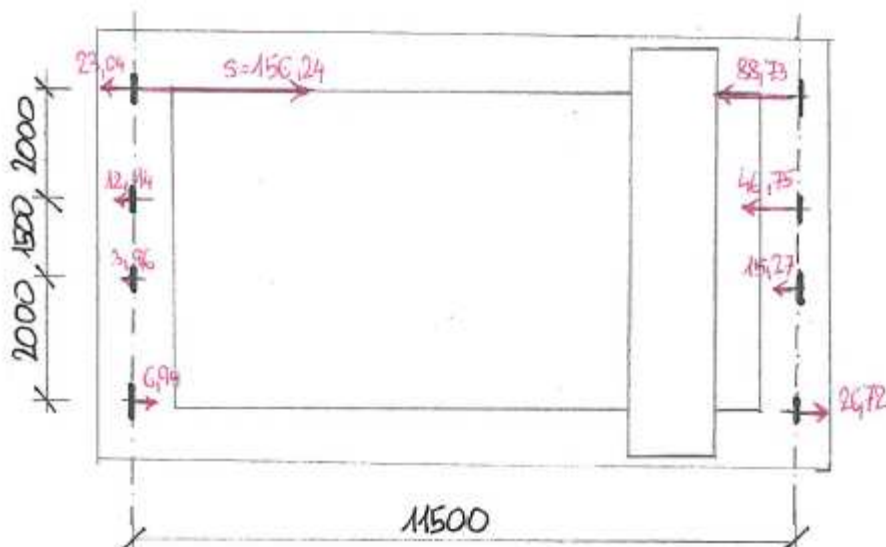
Kromě těchto norem stále platí norma ČSN 73 5130 Jeřábové dráhy z roku 1994 [5], která uvádí požadavky na prostorovou úpravu, konstrukční požadavky, tolerance a požadavky na rektifikaci. Tato norma se v řadě případů (např. výrobní tolerance) odkazuje na normy již neplatné a bude proto třeba její revize.

Výpočet konstrukcí jeřábových drah podle nových norem je velmi komplikovaný. Používá se metoda parciálních součinitelů bezpečnosti (v dřívější terminologii metoda mezních stavů). Svislá a vodorovná zatížení se určují rozdílně pro jednotlivé skupiny zatížení s rozdílnými dynamickými součiniteli s různou kombinací svislých a vodorovných účinků. Výpočet, respektive posuzování se tak provádí nejméně třikrát pro různé hodnoty vnitřních sil.

Pro ilustraci jsou na obr. 1 uvedeny síly od přičení, na obr.2 s konkrétními hodnotami pro jeřáb 165 t ve strojovně elektrárny Počerady.



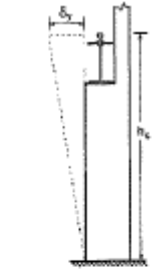
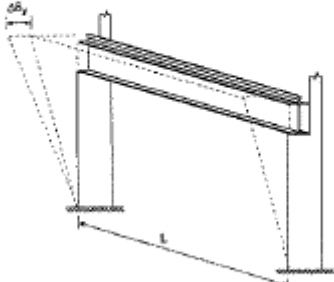
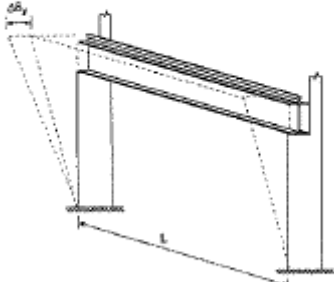
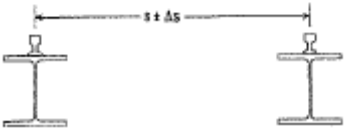
Obr. 1: Síly od přičení jeřábu dle ČSN EN 1991-3



Obr. 2: Síly od přičení jeřáb 165 t- EPO

Nová zatěžovací norma uvádí zejména pro vodorovná zatížení vyšší součinitele zatížení, podle návrhové normy se posuzuje navíc i lokální napjatost stěny od excentricity kola (toto se dříve běžně neposuzovalo). Lze tedy očekávat, že při statickém posuzování drah většina stávajících drah nevyhoví.

Nová norma navíc uvedla i nové požadavky na mezní stav použitelnosti (viz obr. 3), zejména obtížně splnitelné je kritérium e.

|  |  |
|--|--|
| <p>b) vodorovný posuv <math>\delta_y</math> prutové konstrukce (nebo sloupu) v úrovni podepření jeřábu:</p> $\delta_y \leq h_c / 400$ <p>kde <math>h_c</math> je výška měřená k úrovni, na které je jeřáb podepřen (na kolejnici nebo na pásnici).</p>   |    |
| <p>c) rozdíl <math>\Delta\delta_y</math> mezi vodorovnými posuvy sousedních rámtů (nebo sloupů) podepírajících nosníky jeřábové dráhy uvnitř budovy:</p> $\Delta\delta_y \leq L/600$   |   |
| <p>d) rozdíl <math>\Delta\delta_y</math> mezi vodorovnými posuvy sousedních sloupů (nebo rámtů) podepírajících nosníky venkovní jeřábové dráhy:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- od kombinace příčných sil od jeřábů a větru za provozu:<br/><math>\Delta\delta_y \leq L/600</math></li> <li>- od zatížení větrem mimo provoz:<br/><math>\Delta\delta_y \leq L/400</math></li> </ul> |   |
| <p>e) změna <math>\Delta s</math> vzdálenosti mezi osami kolejnic včetně vlivu teplotních změn:</p> $\Delta s \leq 10 \text{ mm (viz POZNÁMKA)}$   |  |

Obr. 3: Kriteria mezního stavu použitelnosti příčné vazby dle ČSN EN 1993-6

#### 4. Kontrolní prohlídky konstrukcí

Podle článku 185 zrušené ČSN 73 2601 se preventivní prohlídky konstrukcí výrobní skupiny A měly provádět nejméně 1x ročně, nejlépe na jaře. Mělo se vizuálně kontrolovat, zda konstrukce jako celek nevykazuje nadměrné deformace, zda výškově a směrově vyhovuje provozu jeřábů, zda nedochází k nadměrnému opotřebení kolejnic a náolků, uvolňování šroubových a nýtových spojů a zda se ve svarech neobjevují trhliny. Podrobné kontrolní prohlídky, specifikované v článku 187 se měly provádět jednou za 5 let (případně jednou za 3 roky u mimořádně dynamicky namáhaných konstrukcí)

Nová norma ČSN EN 1090-2 žádná ustanovení pro následné kontroly a údržbu neuvádí. Z tohoto důvodu v současné době vzniká nová, národní norma ČSN 73 2604 „Ocelové konstrukce – Kontrola a údržba konstrukcí pozemních a inženýrských

staveb“ [7], která tuto mezeru zaplňuje. Norma je v současné době v připomínkovém řízení. Kontrolní prohlídky konstrukcí jsou upraveny v čl. 6.2. Je zde též rámcově specifikováno kdo má oprávnění kontrolní prohlídky provádět. Pro konstrukce kategorie CC3 či konstrukce výrazně dynamicky namáhané má být zpracován vlastní předpis upřesňující způsob provedení kontrol. Norma rozeznává následující druhy prohlídek :

- Kontrola souladu skutečného stavu konstrukce a zatížení s dokumentací. Kontrolují a porovnávají se s dokumentací skutečné dimenze konstrukcí tak i působící zatížení (u jeřábových drah se stává, že na dráze jezdí jiný jeřáb než bylo předpokládáno)
- Vstupní kontrolní prohlídka – provádí se u nových konstrukcí v rámci převážky ocelové konstrukce, u starších konstrukcí tam kde chybí nebo neexistuje řádná provozní dokumentace. Kontroluje se soulad s dokumentací, úplnost konstrukce, kvalita šroubových a svarových spojů, stav protikorozní ochrany. Konstrukce se má geodeticky zaměřit.
- Běžná kontrolní prohlídka – provádí se v návaznosti na předchozí vizuálně, případně za použití jednoduchých pomůcek. U konstrukcí kategorie CC1 a CC2 se provádí jednou za 5 let, u konstrukcí kategorie CC3 a konstrukce výrazně dynamicky namáhaných 1x za rok. Kontroluje se zda nedošlo k poškození prvků a detailů konstrukce, svarové a šroubové spoje a stav protikorozní ochrany. U dynamicky namáhaných konstrukcí se kontroluje zda nedochází ke vzniku či rozvoji únavových trhlin. V případě jeřábových drah je to oblast krčního svaru stěny a horní pásnice, styk stěny a podporové výztuhy, svarové spoje příčných výztuh k pásnicím a zejména různé dodatečně přivařené závěsy a přípoje (vesměs se svary provedenými odstrašujícím způsobem)
- Podrobná kontrolní prohlídky- oproti běžné prohlídce se navíc provede kontrola dokumentace a geodetické zaměření konstrukce. Dále se provádí defektoskopická kontrola svarů a detailů dle předpisu pro kontrolu a údržbu či doporučených ve statickém posudku. Podrobná kontrolní prohlídky se u konstrukcí kategorie CC1,CC2 provádí nejméně jednou za 10 let, u konstrukcí kategorie CC3 a výrazně dynamicky namáhaných 1x za 5 let (není-li předpisem pro kontrolu a údržbu stanoveno jinak)
- Mimořádná kontrolní prohlídka se provádí v případě závažných zjištění v rámci ostatních kontrolních prohlídek, případně po mimořádných událostech.
- Kontrolní prohlídky použitelnosti- prohlídky konstrukcí souvisejících s jejich provozem, kontrola deformací, kontrola technického příslušenství , bezpečnostních prvků a barevného značení.

Připravovaná norma ČSN 73 2604 v kapitole 7 . 1 předepisuje povinnost pravidelně kontrolovat a směrově a výškově rektifikovat jeřábové dráhy. V hodnotách tolerancí se odkazuje na normu ČSN 73 5130. Četnost kontrol má být uvedena v předpisu kontrol a údržby.

Stále platná norma ČSN 73 5130 k tolerancím daným výrobní normou uvádí další doplňkové tolerance (hodnoty jsou uvedeny pro nové dráhy za teploty 20°C, v některých bodech přísnější než původní ČSN 73 2611). Jsou li při provozu tyto tolerance překročeny o 20%, musí se dráha vyrovnat. Za tím účelem musí konstrukce uložení jeřábových drah umožnit jejich rektifikaci. Norma uvádí doporučené vůle v uložení jeřábových drah v závislosti na tom, jaké se předpokládají změny geometrického tvaru dráhy za provozu. Konstrukteři velmi často tato doporučení nerespektují, výsledkem jsou pak nákladné úpravy.



Obr. 4, Uložení jeřábové dráhy bez rektifikace

Na obr. 4 je foto chybného uložení jeřábové dráhy. Uložení neumožňuje vůbec žádnou rektifikaci dráhy. Podporová výztuha, která by měla přenášet reakci dráhy do blízkosti osy sloupu je chybně konstruována a nemá návaznost ve sloupu. Dráha se opírá o relativně tuhou převážku profilu U, výsledkem je nepříznivé přemáhání stěny dráhy. Sloup je navíc namáhán výrazně excentricky, přičemž při jeho návrhu s tímto nebylo počítáno. Šrouby spojující jednotlivé dráhy jsou umístěny relativně vysoko a podporové výztuhy jsou spojeny na sraz. Při



natočení dráhy v podpoře dochází k jejich přemáhání (nosník je jakoby vetknut do sousedního).



Obr. 5 Chybná rektifikace jeřábové dráhy

Rektifikace kolmo na dráhu v tomto uložení (Obr. 5) byla zajištěna pouze oválnými otvory v konzole. Reakce jeřábu se přenášela až na okraj konzoly sloupu (reakce nebyla koncentrována k ose sloupu), takže docházelo k jejímu výraznému kroucení. Jeřáb s relativně velkým rozpětím měl značné reakce od příčiení mostu a obě větve dráhy od sebe roztlačoval. Výsledkem byla potřeba častých rektifikací a problémy s nákolky. Dráha samotná navíc byla relativně měkká (i když splňovala požadavky normy na průhyb), takže v ložisku docházelo praskání přípojných šroubů



Obr. 6 Nevhodné řešení styku drah o různých rozpětích

Na obr. 6 je vidět nevhodné řešení styku drah různého rozpětí. Nižší nosník není prostým nosníkem jak předpokládal statický výpočet, ale nosníkem vetknutým. Výsledkem je výrazný nárůst jeho reakce a velká posouvající síla ve spoji obou větví. Tuto sílu nejsou šrouby schopné přenést.

V normě ČSN 73 5130 je výslovně zakázáno rektifikovat dráhy nakláněním nosníku jeřábové dráhy ze svislé polohy a příčným posunem kolejnice na ocelovém nosníku dráhy. Používané přichytky kolejnice jistý příčný posun umožňují a tak dochází k mylnému přesvědčení, že to přípustné je. Při excentrickém zatížení nosníků jeřábových drah (zejména otevřených) dochází k výraznému nárůstu normálových napětí způsobených vázaným kroucením nosníku dráhy. Při excentrickém působení kola navíc dochází ke vzniku dalších výrazných napětí ve stěně nosníku vlivem lokálního kroucení horního pasu. Výsledkem je přemáhání stěny s nebezpečím únavy a vzniku trhlin.



Obr. 7 Excentrické uložení kolejnice a „vertikální rektifikace“.

Na obr. 7 je vidět nerespektování výše uvedeného článku normy. Kolejnice byla příčně „rektifikována“ posunem až o 16 mm, vertikálně byla „rektifikována“ podložkami připojenými svary plnými vrubů. Kolejnice není spojitě podepřena nosníkem a je nepříznivě namáhána ohybovým napětím.

## 5. Údržba a opravy

Norma ČSN 73 2604 uvádí postup jak odstranit poškození a závady zjištěné při kontrole konstrukce. Jeřábových drah se týkají zejména únavová poškození konstrukce. Pokud nelze dílec spolehlivě opravit nebo vyměnit, lze určit její zbytkovou životnost výpočtem .

Pro výpočet je třeba stanovit četnost rozkmitů napětí a jejich amplitud po dobu dosavadního života konstrukce (vhodné doplnit měřením in situ) a provést odhad těchto hodnot do budoucna. Výpočet zbytkové životnosti lze provést kumulativní teorií poškození, případně ho doplnit predikcí šíření únavové trhliny s využitím mechaniky lomu. Předpokládaný vývoj zatížení má být uveden v provozním řádu konstrukce



Obr. 8 Únavová trhliny vycházející z místa koncentrace napětí, dočasně sanována odvrtáním čela

## 6. Normy, použitá literatura

- [1] ČSN 73 2601 , Provádění ocelových konstrukcí, ÚNM 1988
- [2] ČSN 73 2611, Úchylky rozměrů a tvarů ocelových konstrukcí“, 1978
- [3] ČSN EN 1090-1 ,Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 1: Požadavky na posouzení shody konstrukčních dílců, ÚNMZ 2010
- [4] ČSN EN 1090-2 , Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce, ÚNMZ 2009
- [5] ČSN 73 5130 Jeřábové dráhy , ČNI 1994
- [6] ČSN EN 1990 ed. 2: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ÚNMZ 2011

- [7] ČSN 73 2604, Ocelové konstrukce – Kontrola a údržba ocelových konstrukcí a inženýrských staveb, v přípravě
- [8] ČSN EN 1993-6, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí- Část 6: Jeřábové dráhy , ČNI 2008
- [9] ČSN EN 1991-3, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení , ČNI 2008