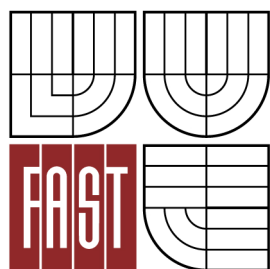




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

PORUCHY ZÁVĚRŮ - MOSTNÍCH PROGNÓZA JEJICH ŽIVOTNOSTI

DEFECTS OF THE BRIDGE EXPANSION JOINTS - DURABILITY AND EXPECTED LIFETIME

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN DAŇA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILOSLAVA POŠVÁŘOVÁ, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. JAN DAŇA
Název	Poruchy mostních závěrů - prognóza jejich životnosti
Vedoucí diplomové práce	Ing. Miloslava Pošvářová, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	2. 4. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013
V Brně dne 2. 4. 2012	

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o druzích mostních závěrů, certifikovaných pro použití v České republice a jejich poruchách. V první části práce bylo provedeno teoretické zhodnocení poruch jednotlivých mostních závěrů. Druhá část byla zaměřena na objasnění selhávání kotevních šroubů u hřebenových mostních závěrů. Na základě určení příčiny pak byla určena metoda pro určení životnosti jednotlivých mostních závěrů. Prognóza životnosti odpovídá evidenci cyklů oprav- dle správce stavebního díla.

Klíčová slova

Hřebenový mostní závěr, šroubový spoj, předpětí, únava šroubů, těžká vozidla, korozní praskání

Abstract

This thesis discusses the types of bridge expansion joints certified for use in the Czech Republic and their disorders. The first part was a theoretical evaluation of expansion joint failures. The second part focused on clarifying the failure of anchor bolts at the cantilever expansion joint. On the basis of determining the cause was then designed a method for determining the durability of expansion joints. Prognosis life cycles corresponds records according to administrator- repair works.

Keywords

cantilever expansion joint, bolt connection, preload, fatigue bolts, heavy vehicles, corrosion cracking

...

Bibliografická citace VŠKP

DAŇA, Jan. *Poruchy mostních závěrů - prognóza jejich životnosti*. Brno, 2013. 64 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Miloslava Pošvářová, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6.1.2013

.....

podpis autora
Jan Daňa

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Miloslavě Pošvářové, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce i za zpřístupnění dokumentace, potřebné k vypracování této DP.

Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům a blízkým za podporu při studiu na vysoké škole.

OBSAH

1	Úvod.....	10
2	Druhy mostních závěrů [1].....	11
2.1	Všeobecně.....	11
2.2	Volná dilatační spára – druh 1.....	12
2.3	Podpovrchový mostní závěr (buried expansion joint) – druh 2	12
2.4	Elastický mostní závěr (flexible expansion joint) – druh 3.....	13
2.5	Mostní závěr s jednoduchým těsněním spáry (nosing expansion joint) – druh 4 14	
2.6	Kobercový mostní závěr (mat expansion joint) – druh 5	14
2.6.1	Mostní závěr kobercový jednoduchý	14
2.6.2	Mostní závěr kobercový s mezilehlými profily	15
2.7	Hřebenový mostní závěr (cantilever expansion joint) – druh 6	16
2.8	Podporovaný mostní závěr (supported expansion joint) – druh 7.....	17
2.9	Lamelový mostní závěr (modular expansion joint) – druh 8	18
3	Údaje o poruchových hřebenových mostních závěrech.....	21
3.1	Informace o mostech vybavených hřebenovými mostními závěry	22
3.1.1	Hraniční most dálnice D8.....	22
3.1.2	Most přes rybný potok dálnice D8.....	23
3.1.3	Most přes počernické rybníky	25
3.2	Shrnutí četnosti poruch jednotlivých typů MZ [4].....	26
4	Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů	28
4.1	Statický model	28
4.2	Návrhové zatížení [1]	28

4.3	Tahová únosnost použitých šroubů [3]	29
4.4	Mostní závěry na mostě D8- 136..1,2.....	30
4.4.1	Únosnost kotevních šroubů na MZ typu F450 (drážďanská opěra).....	30
4.4.2	Únosnost kotevních šroubů na MZ typu F530 (pražská opěra)	32
4.5	Mostní závěry na mostě přes počernické rybníky	34
4.6	Mostní závěry na mostě D8- 135.3 (most přes rybný potok).....	35
4.6.1	Únosnost kotevních šroubů na MZ typu F300.....	35
4.6.2	Únosnost kotevních šroubů na MZ typu F320	37
4.7	Analýza výsledků posouzení na únosnost	39
4.7.1	Výstižnost statického modelu	39
4.7.2	Shrnutí výsledků posudků na únosnost.....	42
4.7.3	Objasnění selhávání šroubů v zadní řadě za pomocí teorie únavy materiálu 44	
5	Prognóza životnosti.....	50
5.1	Použití teorie únavové pevnosti šroubu.....	50
5.1.1	počáteční předpětí ve šroubech	50
5.1.2	Závěr z rozboru určení pracovního předpětí	54
5.2	Určení životnosti na základě závislosti četnosti poruch na provozních podmínkách.....	55
6	Závěr	57
7	Seznam použitých zdrojů	59
8	Seznam použitých zkratk a symbolů	60
9	Seznam obrázků, grafů a tabulek	62

1 ÚVOD

Cílem této práce je objasnit nevysvětlené selhávání kotevních šroubů. Na základě této příčiny selhávání kotevních šroubů a také dle provozních zkušeností odhadnout přibližnou periodu oprav.

2 DRUHY MOSTNÍCH ZÁVĚRŮ [1]

2.1 Všeobecně

Dle současných technických podmínek (TP86) se mostní závěry dělí do druhů uvedených v tabulce 1.

Tabulka 1 Druhy mostních závěrů dle TP86 [1]

Název druhu	Číslování druhu
Volná dilatační spára	1
Podpovrchový mostní závěr (<i>buried expansion joint</i>)	2
Elastický mostní závěr (<i>flexible expansion joint</i>)	3
Mostní závěr s jednoduchým těsněním spáry (<i>nosing expansion joint</i>)	4
Kobercový mostní závěr (<i>mat expansion joint</i>)	5
Hřebenový mostní závěr (<i>cantilever expansion joint</i>)	6
Podporovaný mostní závěr (<i>supported expansion joint</i>)	7
Lamelový mostní závěr (<i>modular expansion joint</i>)	8

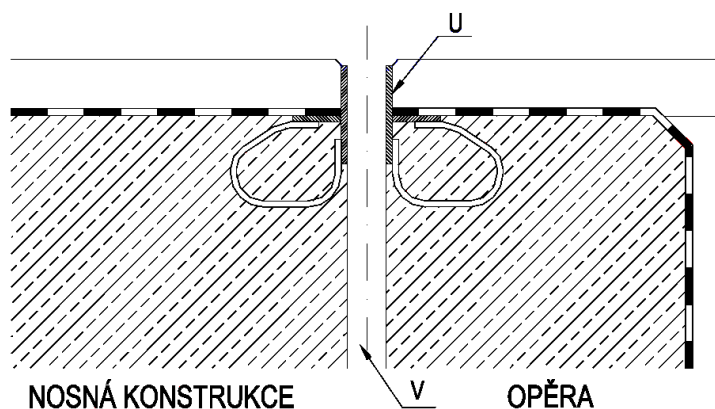
V dalších odstavcích jsou uvedeny obrázky k jednotlivým typům, objasňující principy jednotlivých druhů mostních závěrů. Ke každému typu MZ jsou uvedeny jejich nejčastější poruchy.

2.2 Volná dilatační spára – druh 1

Netěsněný povrchový mostní závěr charakterizovaný volnou dilatační spárou (V) ve vozovce, chodníku a/nebo římse mezi nosnou konstrukcí a opěrou.

Ukončení vozovky, případně chodníku nebo římse (U) je možno podél dilatační spáry provést z ocelového profilu nebo upravením konce nosné konstrukce/opěry.

Schéma tohoto druhu závěru je na obrázku 2.1.



Obrázek 1 Volná dilatační spára [1]

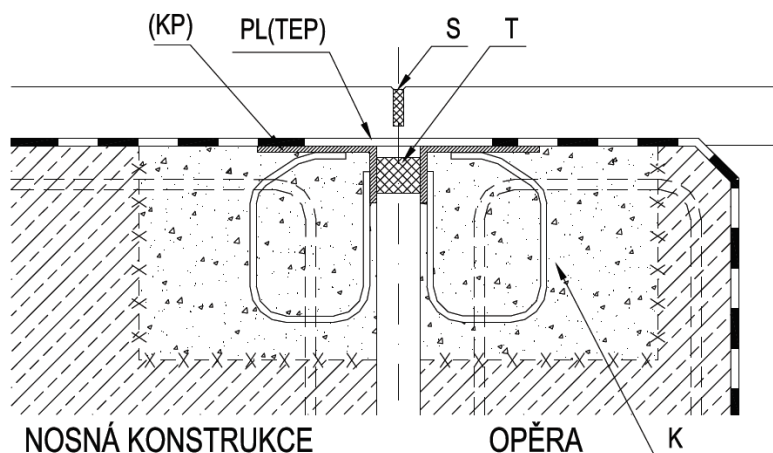
2.3 Podpovrchový mostní závěr (buried expansion joint) – druh 2

Podpovrchový mostní závěr je těsněný a skládá se z krycího plechu (PL) nebo obecně těsnící prvku (TEP) překrývajícího dilatační spáru nosné konstrukce, kotvení (K), případně krajových profilů (KP). Krycí plech je připevněn k jednomu krajnímu profilu.

Těsnění (T) může být provedeno i pod úrovní závěru.

Posuny ve vozovce jsou přeneseny konstrukční úpravou mostní vozovky, zálivkovou hmotou nebo proříznutím obrusné vrstvy a následným zalitím úzké spáry (S).

Schéma tohoto druhu mostního závěru je na obrázku 2.2.



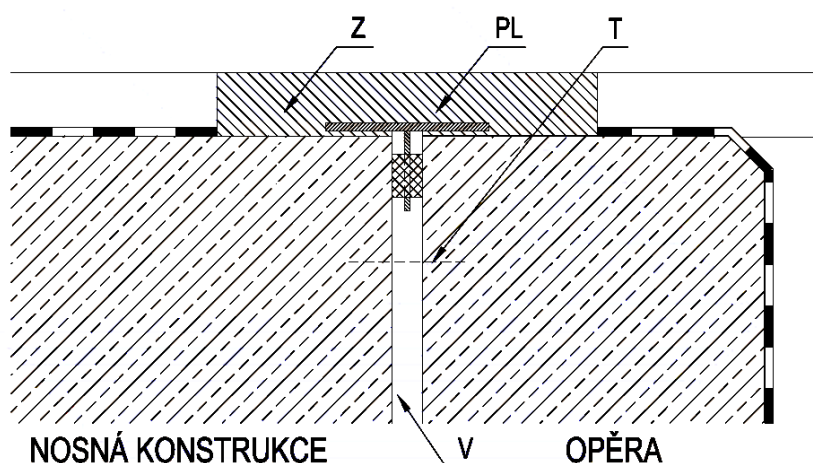
Obrázek 2 Podpovrchový mostní závěr [1]

2.4 Elastický mostní závěr (flexible expansion joint) – druh 3

Těsněný povrchový mostní závěr, jehož konstrukci tvoří krycí plech, případně ochranná membrána (PL) překrývající dilatační spáru a zálivková hmota (Z), zpracovávaná na místě (za horka nebo za studena). Zálivková hmota přitom přenáší svislé pohyblivé zatížení a vodorovné síly od dilatačních posunů.

Těsnění (T) může být provedeno pod úrovní závěru.

Schéma tohoto druhu mostního závěru je na obrázku.



Obrázek 3 Elastický mostní závěr [1]

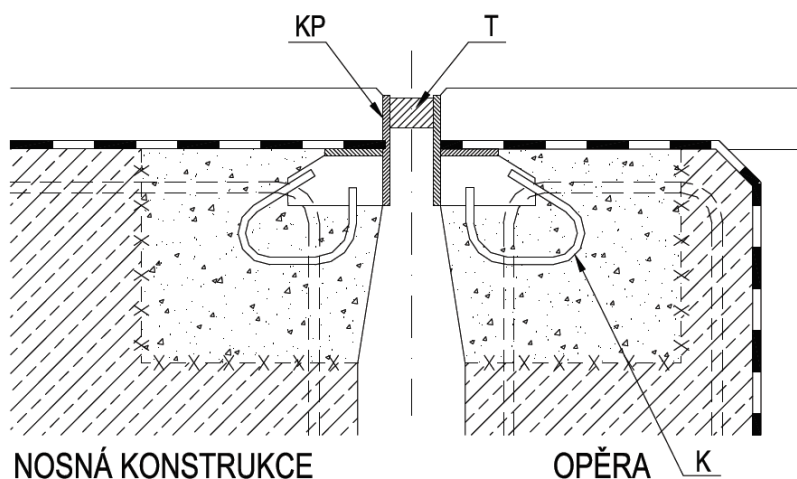
2.5 Mostní závěr s jednoduchým těsněním spáry (nosing expansion joint) – druh 4

Těsněný povrchový mostní závěr sestávající se z krajových profilů (KP) a jediného těsnícího profilu (T), který nepřenáší pohyblivé zatížení a je vodotěsný.

Krajové profily jsou kotveny pomocí kotvení (K) do nosné konstrukce/opěry.

Kotvení tohoto druhu mostního závěru může být provedeno bez krajových profilů, kotvením těsnícího profilu přímo do vozovky.

Schéma tohoto druhu závěru je na obrázku.



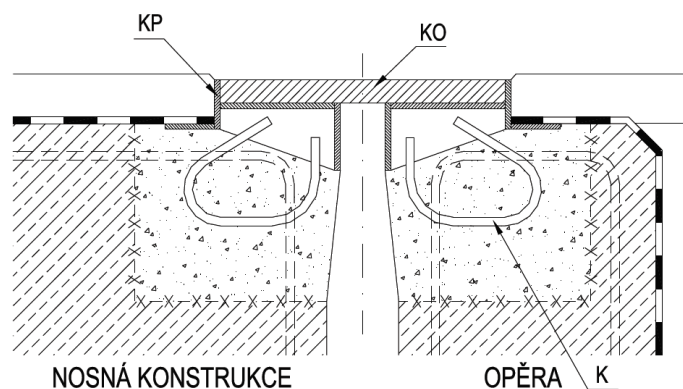
Obrázek 4 Mostní závěr s jednoduchým těsněním spáry [1]

2.6 Kobercový mostní závěr (mat expansion joint) – druh 5

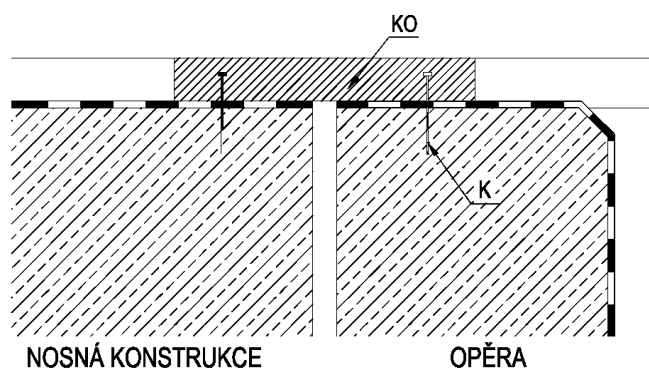
2.6.1 Mostní závěr kobercový jednoduchý

Těsněný povrchový mostní závěr sestávající z kotvení (K) a koberce (KO), případně z krajových profilů (KP). Koberec přenáší pohyblivé zatížení.

Kotvení může být provedeno dvojím způsobem, kotvení krajových profilů, do nichž je upevněn koberec (obrázek 5) nebo kotvení koberce přímo do nosné konstrukce/opěry (obrázek 6).



Obrázek 5 Mostní závěr kobercový jednoduchý s krajovým profilem [1]

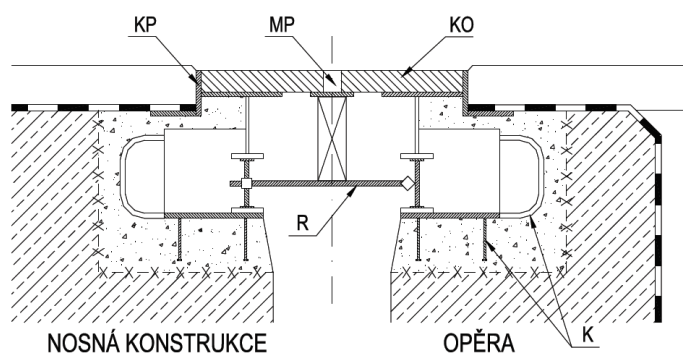


Obrázek 6 Mostní závěr kobercový jednoduchý bez krajového profilu [1]

2.6.2 Mostní závěr kobercový s mezilehlými profily

Těsněný povrchový mostní závěr skládající se z krajových profilů (KP), kotvených pomocí kotvení (K) do nosné konstrukce/opěry, dále z mezilehlého profilů (MP). Koberec (KO) je dělený nebo souvislý a přenáší pohyblivé zatížení.

Mezilehlý profil je nesen roznášecím mechanismem (R), viz obrázek 7.



Obrázek 7 Mostní závěr kobercový s mezilehlým profilem [1]

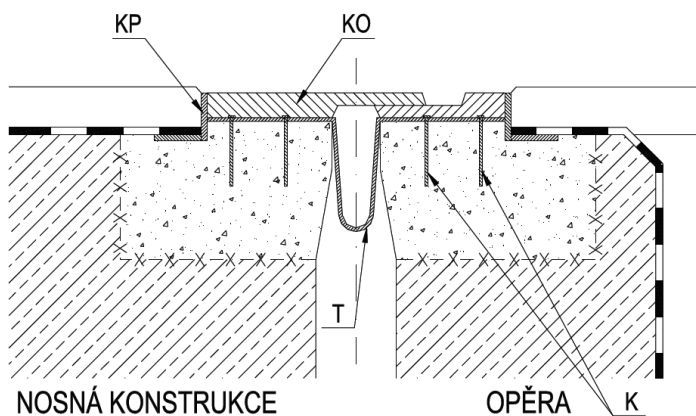
2.7 Hřebenový mostní závěr (cantilever expansion joint) – druh 6

Povrchový mostní závěr, který může být proveden jako těsněný nebo netěsněný.

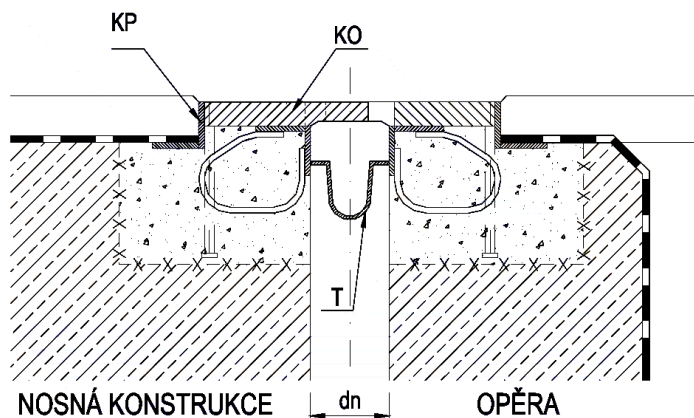
Ocelové prsty závěru (P) jsou upevněny do krajového profilu (KP) a ten pak do nosné konstrukce/opěry pomocí kotvení (K).

Prsty závěru mohou staticky působit jako nosníky (obrázek 8) nebo konzoly (obrázek 9). Nosníkovým působením se rozumí, že prst je na jedné straně vetknut do krajového profilu a na druhé straně je volný okraj prstu uložen na ploše rovnoběžné s vozovkou, kde volně klouže. Podepření volného konce prstu je ve výrobcem stanoveném rozsahu i při maximální dilatační spáře nosné konstrukce. Konzolový způsob působení prstu znamená, že je prst dimenzován jako konzola bez podepření volného konce; může však být připuštěn stav, kdy je prst podepřen (při minimální šířce dilatační spáry nosné konstrukce).

Těsnění hřebenového závěru se provádí pomocí zvláštní těsnicí membrány či polymerním pásem (T) pod úrovní závěru. Polymerní pás zároveň zajišťuje odvod vody z prostoru závěru.



Obrázek 8 Mostní závěr hřebenový – prsty podepřené [1]

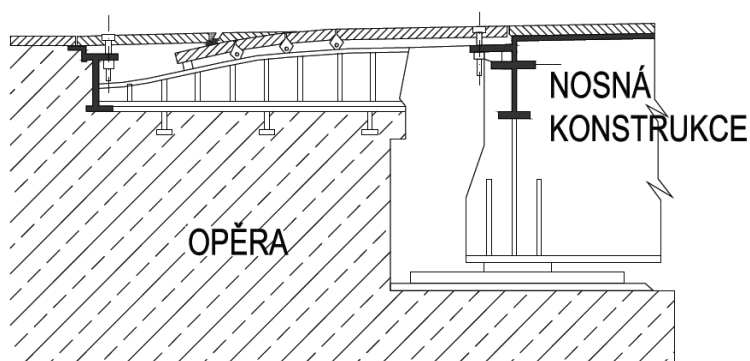


Obrázek 9 Mostní závěr hřebenový – prsty konzolové [1]

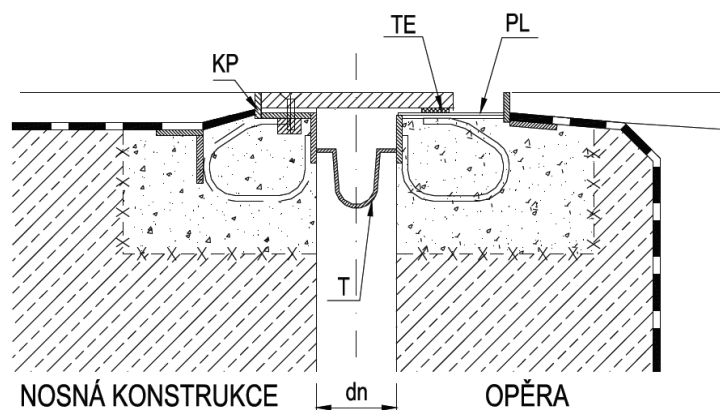
2.8 Podporovaný mostní závěr (supported expansion joint) – druh 7

Mostní závěr netěsněný. Plech nebo soubor jednotlivých desek se pohybuje po rovinné nebo zakřivené ploše a je kluzně uložen na opěře a pevně přikotvený do nosné konstrukce. Viz obrázek 10.

Za tento druh mostního závěru lze považovat i mostní závěr dle obrázku 11, kde dilatační spáru nosné konstrukce překrývá plech připevněný ke krajovému profilu (KP) a je kluzně uložen na druhé straně na plechu (PL), případně na vloženém teflonovém pásku (TE).



Obrázek 10 Mostní závěr podporovaný [1]

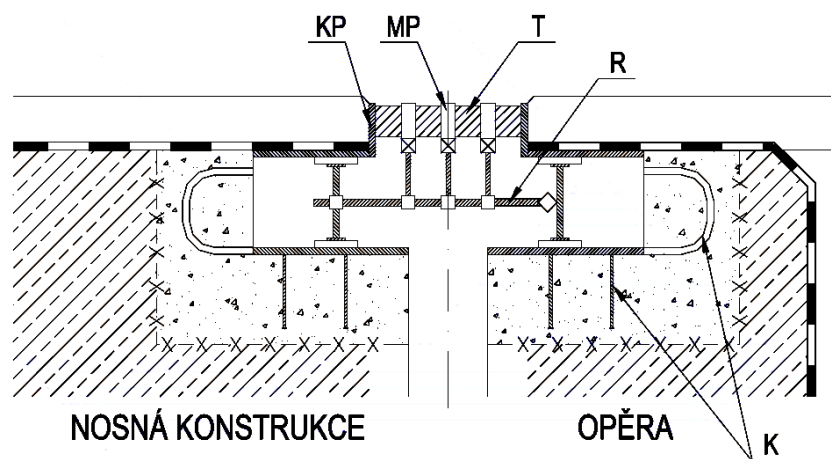


Obrázek 11 Mostní závěr podporovaný s krycím plechem [1]

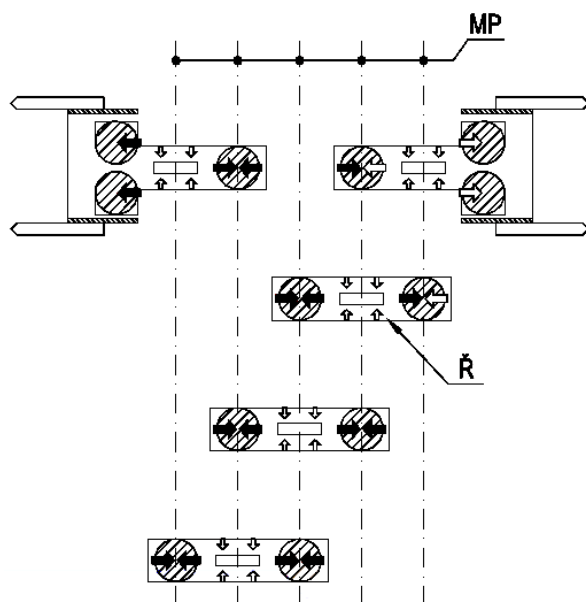
2.9 Lamelový mostní závěr (modular expansion joint) – druh 8

Těsněný povrchový mostní závěr skládající se z krajových profilů (KP) kotvených pomocí kotvení (K) do nosné konstrukce/opěry a dále z mezilehlých profilů - lamel (MP), mezi nimiž jsou jednotlivé těsnící profily (T), které nepřenášejí svislé pohyblivé zatížení.

Mezilehlé profily mohou být nesený a šířky jednotlivých spár vymezeny roznášecím mechanismem roštovým. Roštový mechanismus se skládá z traverz a řídicího systému (Ř) – viz obrázek 12 a 13.



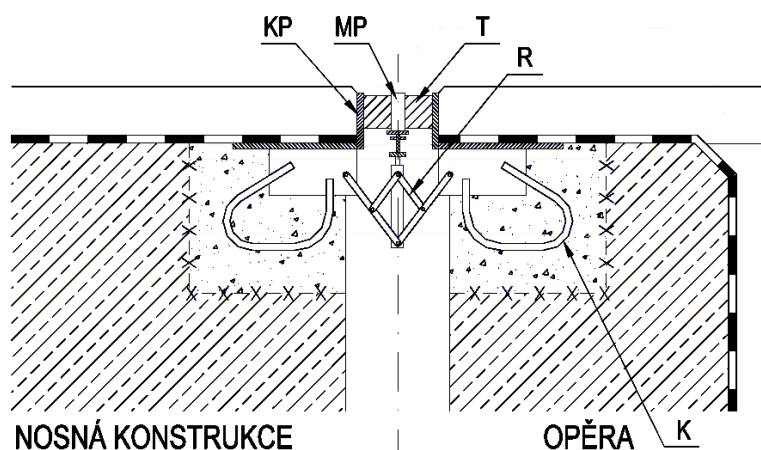
Obrázek 12 Mostní závěr vícenásobný lamelový s roznášecím mechanismem (roštový typ) – řez [1]



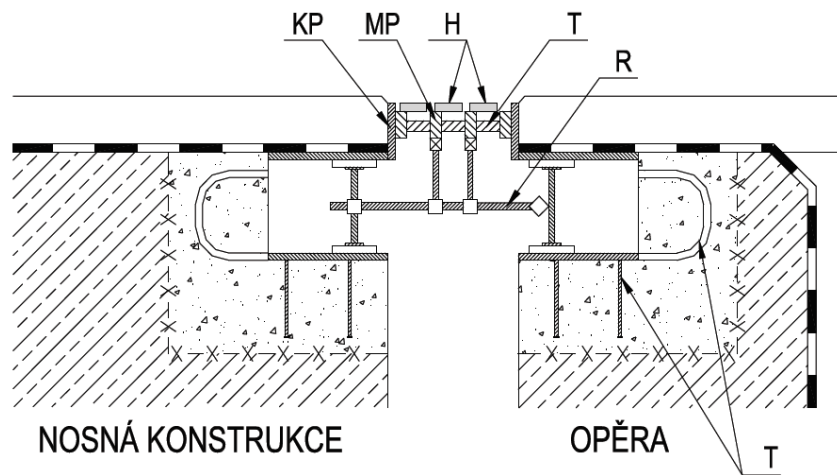
Obrázek 13 Mostní závěr vícenásobný lamelový s roznášecím mechanismem (roštový typ) – půdorys řídicího systému mezilehlých profilů [1]

Mezilehlé profily mohou být neseny a šířky jednotlivých spár vymezeny nůžkovým mechanismem. Nůžkový mechanismus (N) je schematicky znázorněn na obrázku 14 a může mít pouze vymezovací, nikoliv nosnou funkci.

Pro snížení hluku, který vyvolávají při přejezdu vozidla, může být závěr doplněn zvláštní úpravou (H) na povrchu krajních a mezilehlých profilů– viz obrázek 15.



Obrázek 14 Mostní závěr vícenásobný lamelový (nůžkový typ) - nůžky jako řídicí systém [1]



Obrázek 15 Mostní závěr vícenásobný lamelový se sníženou hlučností [1]

3 ÚDAJE O PORUCHOVÝCH HŘEBENOVÝCH MOSTNÍCH ZÁVĚRECH

V této části budou shrnuty poruchy hřebenových závěrů. V České republice jsou v současné době hřebenové mostní závěry osazeny na třech mostech. Ve všech případech byly shledány poruchy funkce mostního závěru, a to již v prvních 5 letech po uvedení do provozu.

V obou případech se jedná o opakované selhávání upevňovacích šroubů (viz obrázek 16), které fixují pojížděnou hřebenovou ocelovou desku a jsou tudíž přímo namáhány dynamickými účinky od dopravy.

Pro určení příčiny poruch je nutné podotknout, že se poruchy vždy vyskytují v jízdních stopách pomalých jízdních pruhů.



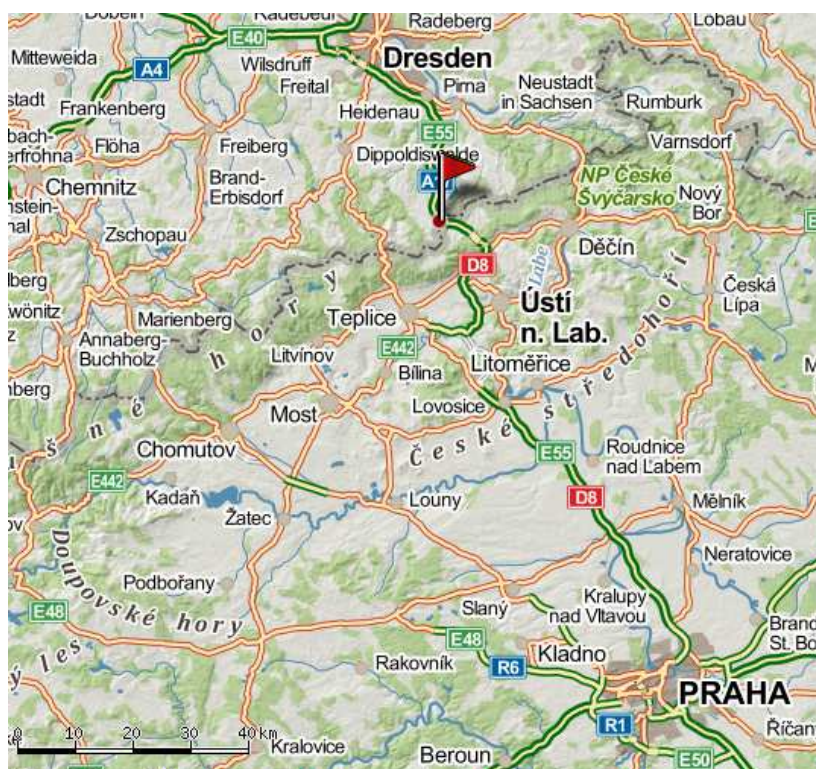
Obrázek 16 opakující se porucha- přetržené a vypadlé kotevní šrouby

3.1 Informace o mostech vybavených hřebenovými mostními závěry

3.1.1 Hraniční most dálnice D8

Dálnice D8 je součástí mezinárodní dálniční sítě, spojující Drážďany a Prahu. Na tomto tahu jsou osazeny celkem 4 hřebenové MZ. Z toho 2 nejporuchovější se nachází na hraničním mostě se SRN.

Lokalizace hraničního mostu je zřetelná na obrázku 17.



Obrázek 17 Lokalizace hraničního mostu [10]



Obrázek 18 Pohled na nosnou konstrukci hraničního mostu dálnice D8

Údaje o mostu

Spřažený ocelobetonový most

Evidenční číslo: D8- 136..1 pravý most

D8- 136..2 levý most

Rok uvedení MZ do provozu: 2006

Typové označení MZ: F450 - opěra č. 2 (drážďanská opěra)

F530 - opěra č. 1 (pražská opěra)

délka přemostění: 406,8 m

délka nosné konstrukce: 411,8 m

Volná šířka : 2x12,5 m

celková šířka: 30,7 m

výška nad terénem 56,37 m

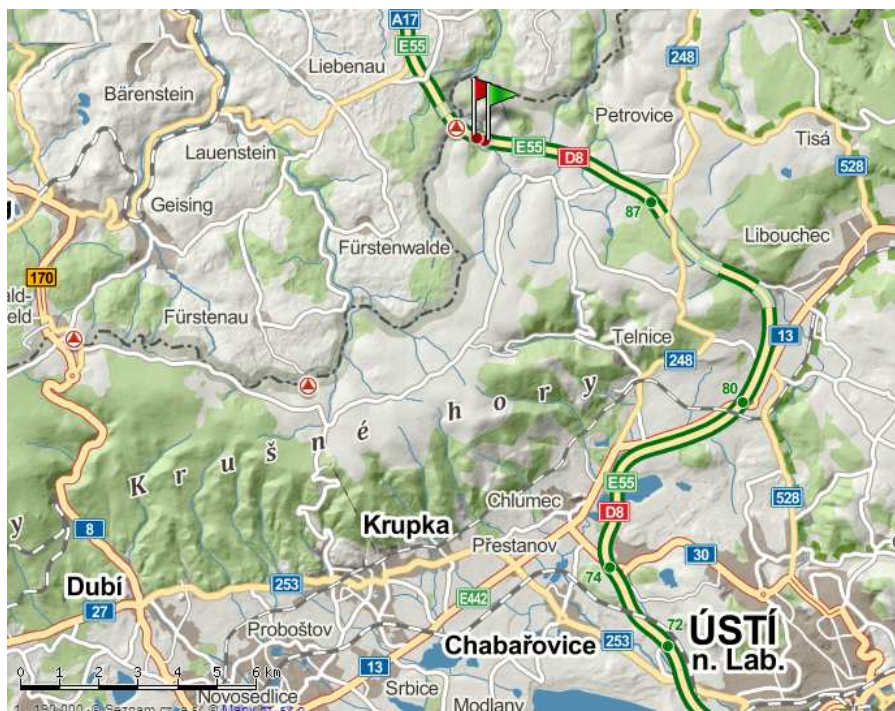
stavební výška: 3,9845 m

šikmost mostu: 100 g (kolmý)

směrové poměry: pravostranný oblouk $R= 1750$ m

3.1.2 Most přes rybný potok dálnice D8

Tento most leží v těsné blízkosti hraničního mostu. Na obrázku 19 je patrné umístění tohoto mostu. Letecký snímek, zachycující výstavbu mostu přes rybný potok a hraniční most je na obrázku 20.



Obrázek 19 Umístění mostu přes rybný potok [10]



Obrázek 20 Letecký snímek obou přilehlých mostů ve výstavbě- ze dne 2.9.2006 [6]

Údaje o mostu

Předpjatý segmentový betonový most

Evidenční číslo: D8- 135

Rok uvedení MZ do provozu: 2006

Typové označení MZ: F300- opěra č. 2 (drážďanská opěra)
F320- opěra č. 1 (pražská opěra)

délka přemostění: 351,4 m

délka nosné konstrukce: 356 m

Údaje o poruchových hřebenových mostních závěrech

Volná šířka :	2x12,5 m
celková šířka:	31,1 m
výška nad terénem	11,2 m
stavební výška:	4,444 m
šikmost mostu:	100 g (kolmý)
směrové poměry:	pravostranný oblouk R= 1750 m

3.1.3 Most přes počernické rybníky

Tyto mosty jsou součástí SOKP (silničního okruhu kolem Prahy), který převádějí nad počernickými rybníky. Na obrázku 21 je uvedeno umístění posledního mostu, vybaveného hřebenovými MZ.



Obrázek 21 Lokalizace mostu přes počernické rybníky [10]



Obrázek 22 Pohled na nosnou konstrukci mostů přes počernické rybníky

Údaje o mostu

Předpjatý spojitý nosník tvořený ze 188 ks prefabrikovaných segmentů v. 3.0 m, š. horní desky 16.0 m, š. spodní desky 7.0 m

Evidenční číslo: R1- 007..1 (pravý most)
R1- 007..2 (levý most)

Rok uvedení MZ do provozu: 2006

Typové označení MZ: F240 (obě opěry)

délka přemostění: 410,2 m

délka nosné konstrukce: 413,6 m

Volná šířka : 2x15,0 m

celková šířka: 2x17,2 m

výška nad terénem 11,2 m

stavební výška: 3,17 m

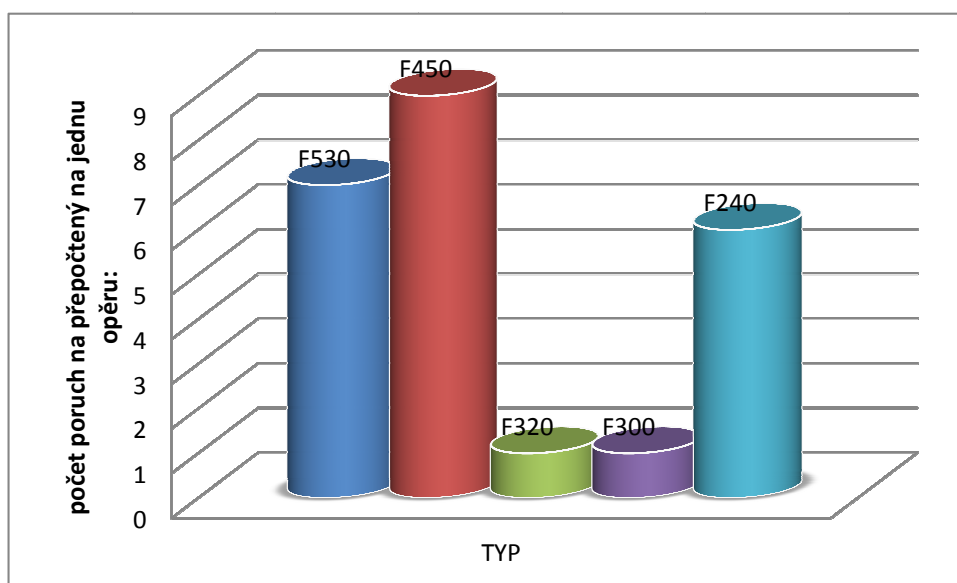
šikmost mostu: 100 g (kolmý)

3.2 Shrnutí četnosti poruch jednotlivých typů MZ [4]

Přehled o poruchách (v podobě porušených šroubů) v návaznosti na počtu výskytu daného typu MZ je uveden v tabulce 2. Hodnoty z této tabulky jsou pak graficky znázorněny v grafu 1.

Tabulka 2 Výčet poruch jednotlivých typů hřebenových MZ

TYP	Počet kontaktů s jízdní stopou těžké dopravy	počet poruch	přepočet poruch na jeden kontakt s jízdní stopou v jednom směru (tj. pro jednu opěru)
F530	2	7	7
F450	2	9	9
F320	2	1	1
F300	2	1	1
F240	4	12	6



Graf 1 Znázornění poruchovosti v návaznosti na četnost použití jednotlivých typů MZ

4 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI KOTEVNÍCH ŠROUBŮ HŘEBENOVÝCH MOSTNÍCH ZÁVĚRŮ

4.1 Statický model

Pro statické posouzení byl použit sw Dlubal RFEM 4.10, ve kterém byl vytvořen zjednodušený 3D model (viz obr. 5.1). Jedná se o ocelovou desku, jež je liniově podepřena (na hraně podkladní desky) a bodově podepřena (v místech kotevních šroubů). Pro posouzení únosností šroubů budou porovnány velikosti reakcí bodových podpěr s výpočtovou únosností kotevních šroubů.

Charakteristika statického modelu pro únosnost:

Hřebenová deska:

- Pro zkrácení doby výpočtu byla skutečná geometrie hřebenové desky zjednodušena na základní obrysy desky.
- Ve výpočtu je modelována jako rovinná plocha (2D prvek) o konstantní tloušťce
- V modelu je z oceli S235
- Max. velikost konečných prvků: 50 mm

Podpory:

- Bodové: tuhé podepření ve směru os x, y, z
- Liniové: tuhé podepření ve směru osy z

4.2 Návrhové zatížení [1]

Kombinace zatížení byla sestavena dle TP86 (článek G.4.2.1). Dle tohoto článku je možné uvažovat 2 návrhové situace:

- ULS 1: minimální dilatační spára s max. zatížením dopravou
- ULS 2: maximální dilatační spára s redukováným zatížením dopravou

Ve statickém posudku byla použita kombinace zatížení pro návrhovou situaci ULS 2:

$$C_{ULS-1} = 1,35 G_k \text{ svislé } "+" 1,2 F_{ik} "+" 1,35 \times 0,70 [300 \text{ kN svislé } "+" (0,50 \times 120 \text{ kN} \\ \text{vodorovné podélné } "+" 0,50 \times 60 \text{ kN vodorovné příčné}) "+" 200 \text{ kN svislé } "+" (0,50 \\ \times 40 \text{ kN vodorovné kolmé}) "+" 100 \text{ kN } "+" (0,5 \times 20 \text{ kN vodorovné kolmé})] "+" 1,0 \\ d_{Edec}$$

[1]

Z důvodu zjednodušení posudků byly z této kombinace vypuštěny složky zatížení, které mají na zatížení šroubů minimální nebo žádný vliv. Kombinace zatížení má po zjednodušení tyto složky:

$$C_{ULS-2} = 1,35 \times 0,7 \times (Q_{1k} + Q_{2k})$$

Q_{ik} ...svislé nápravové zatížení od i-tého zatěžovacího vozidla

$$\Rightarrow \text{kolová síla od nápravy č.1: } 0,5 \times Q_1 = 0,5 \times 1,35 \times 0,7 \times 300 = \underline{141,75 \text{ kN}}$$

$$\Rightarrow \text{kolová síla od nápravy č.2: } 0,5 \times Q_2 = 0,5 \times 1,35 \times 0,7 \times 200 = \underline{94,5 \text{ kN}}$$

Kolové síly budou rovnoměrně rozděleny do čtvercových ploch o straně 0,4 m:

$$\Rightarrow q_1 = 0,5 \times Q_1 / (0,4 \times 0,4) = 141,75 / (0,4 \times 0,4) = \underline{886 \text{ kN/m}^2}$$

$$\Rightarrow q_2 = 0,5 \times Q_2 / (0,4 \times 0,4) = 94,5 / (0,4 \times 0,4) = \underline{591 \text{ kN/m}^2}$$

4.3 Tahová únosnost použitých šroubů [3]

Šrouby jsou navrženy v dimenzích M20 a M24.

Materiálové charakteristiky šroubů: 10.9 TZN (vysokopevnostní s žárovým zinkováním)

únosnost šroubu v tahu (dle EC3):

$$F_{t,Rd} = k_2 * f_{ub} * A_s / \gamma_{M2}$$

$$k_2 = 0,63 \text{ (pro zapuštěné šrouby)}$$

$$\gamma_{M2}=1,25$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ MPa}$$

dimenze:	M20
A _s =	245 mm2
F _{t,Rd} =	123,5 kN

dimenze:	M24
A _s =	353 mm2
F_{t,Rd}=	177,9 kN

4.4 Mostní závěry na mostě D8- 136..1,2

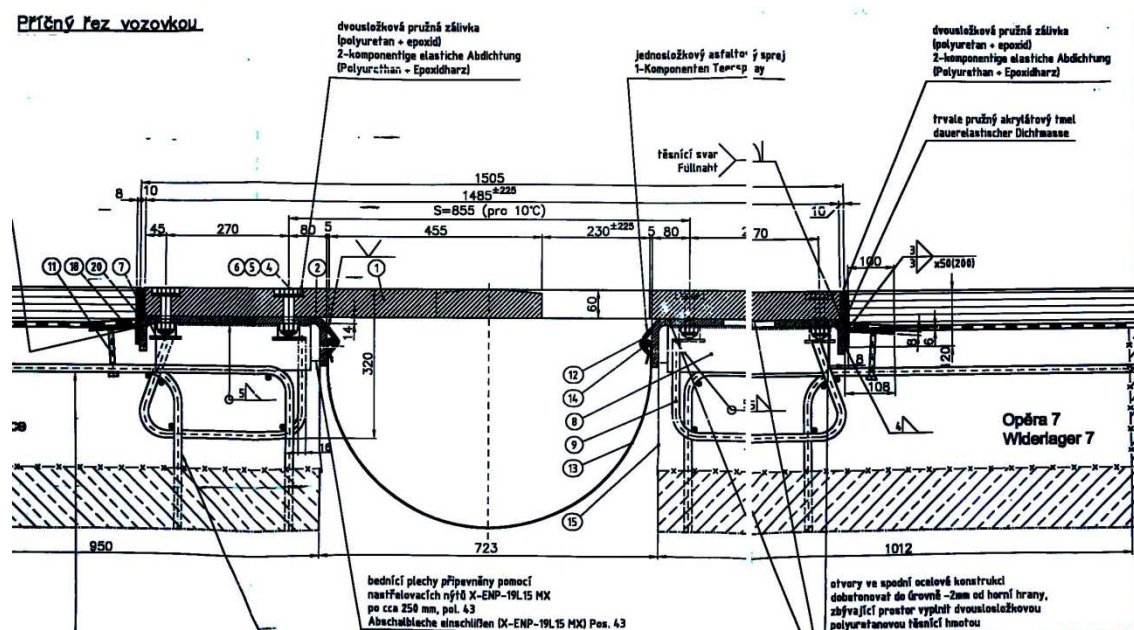
Na tomto mostě jsou osazeny mostní závěry s typovým označením F450 (na straně drážďanské opěry) a F530 na straně pražské opěry.

4.4.1 Únosnost kotevních šroubů na MZ typu F450 (drážďanská opěra)

- Geometrie závěru je na obrázku 23 a 24

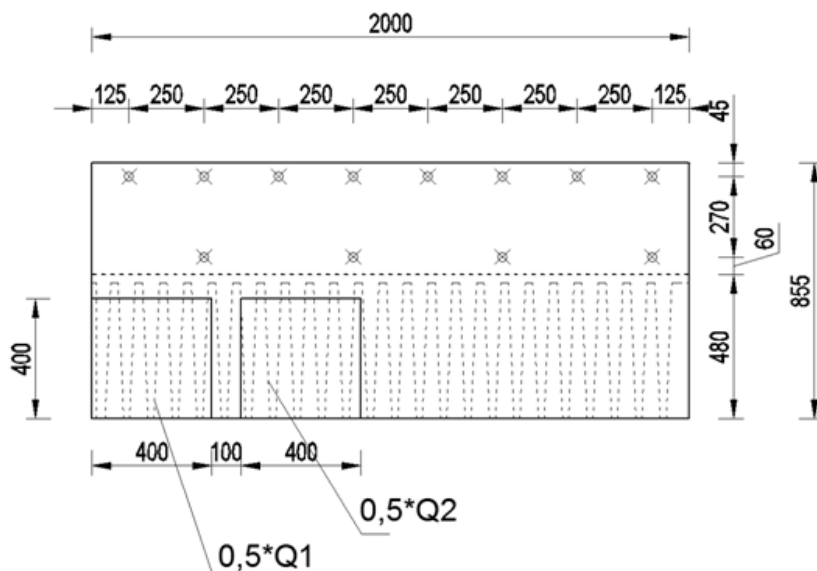
Tloušťka ocelové desky: 60mm

Jmenovitý dilatační posun: ± 225 mm



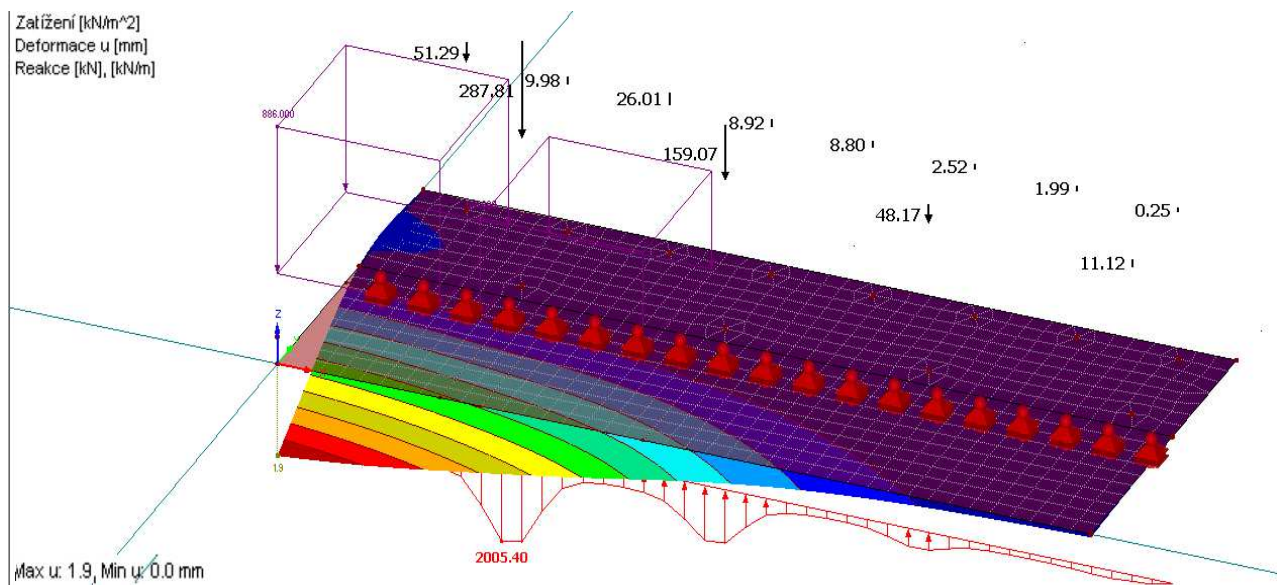
Obrázek 23 Schematický příčný řez vozovkové části MZ typu F450 [4]

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů



Obrázek 24 Geometrie statického modelu MZ typu F450

- Výsledky



Obrázek 25 Výsledky statického modelu MZ typu F450

- Posouzení tahové únosnosti:

Dimenze šroubů: M20; $F_{t,Rd} = 123,5 \text{ kN}$

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů

$F_{t,Rd} = 123,5 \text{ kN} < F_{t,Sd} = 287,8 \text{ kN} \dots\dots \text{NEVYHOVUJE!!!}$

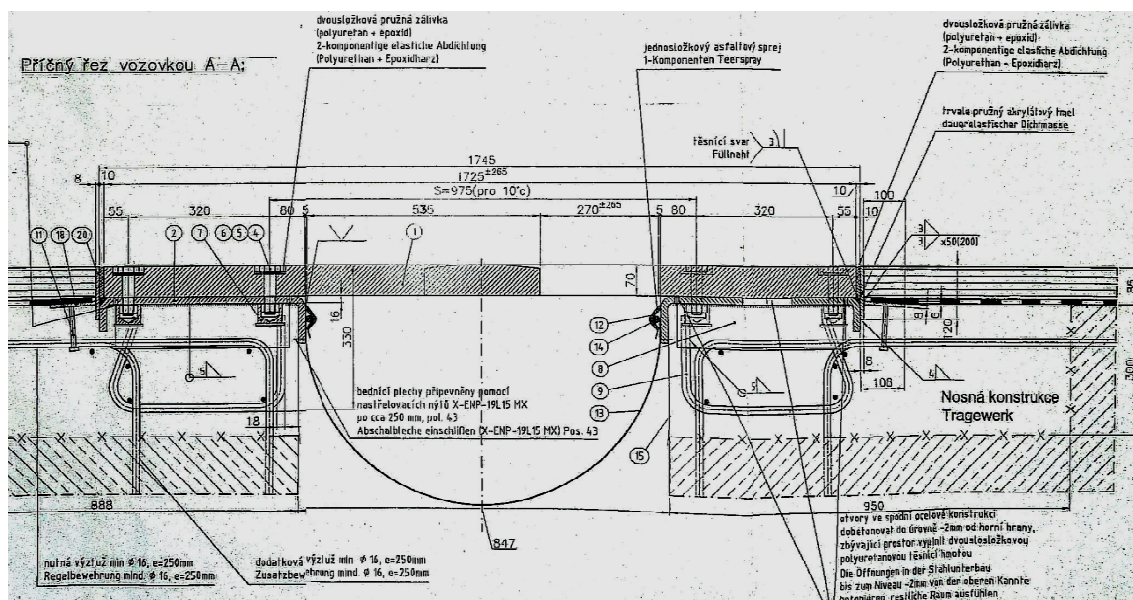
$F_{t,Rd} = 123,5 \text{ kN} < F_{t,Sd} = 159,0 \text{ kN} \dots\dots\text{NEVYHOVUJE!!!}$

4.4.2 Únosnost kotevních šroubů na MZ typu F530 (pražská opěra)

- Geometrie závěru je na obrázku 26 a 27

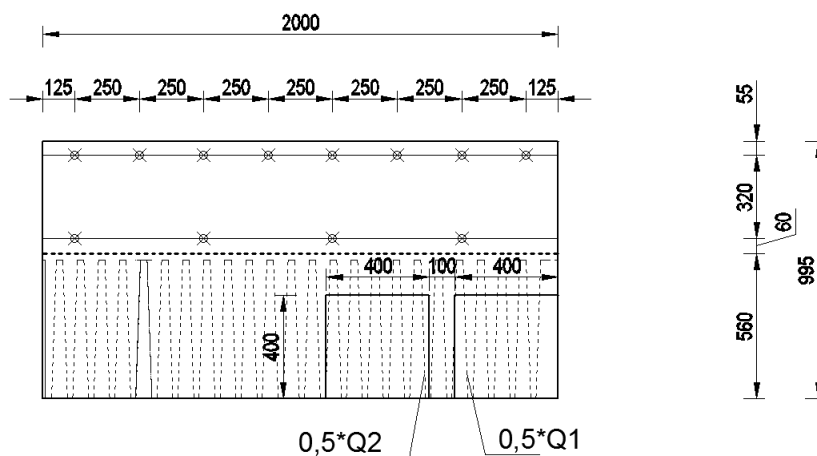
Tloušťka ocelové desky: 70 mm

Jmenovitý dilatační posun: ± 265 mm



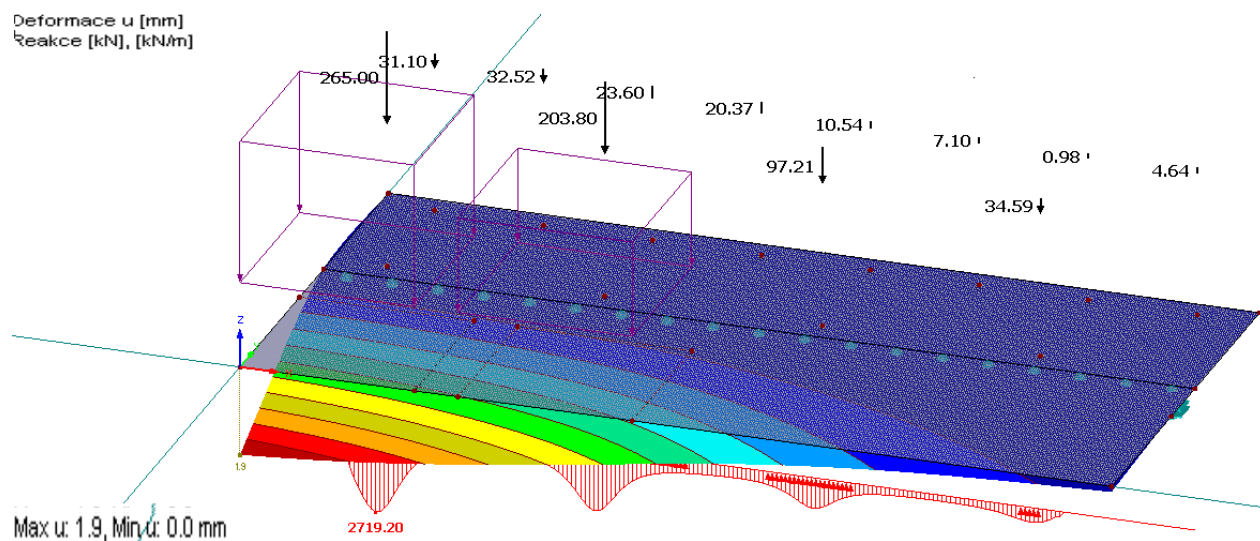
Obrázek 26 Schematický příčný řez vozovkové části MZ typu F530 [4]

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů



Obrázek 27 Geometrie statického modelu MZ typu F530

- Výsledky:



Obrázek 28 Výsledky statického modelu MZ typu F530

- Posouzení tahové únosnosti:

Dimenze šroubů: M24; $F_{t,Rd} = 177,9 \text{ kN}$

$F_{t,Rd} = 177,9 \text{ kN} < F_{t,Sd} = 265,0 \text{ kN} \dots\dots\text{NEVYHOVUJE!!!}$

$F_{t,Rd} = 177,9 \text{ kN} < F_{t,Sd} = 203,8 \text{ kN} \dots\dots\text{NEVYHOVUJE!!!}$

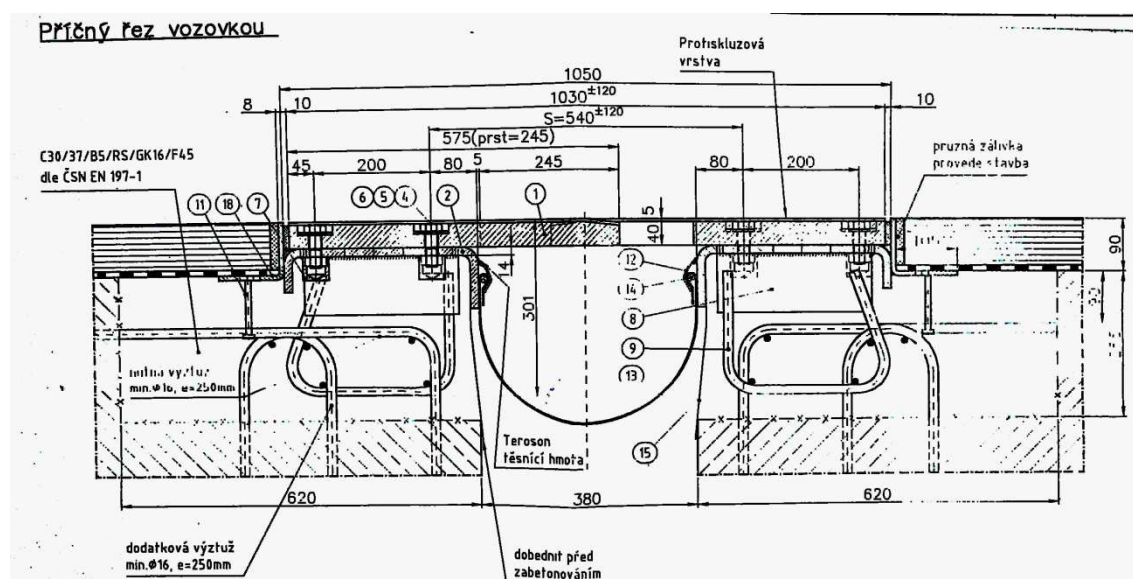
4.5 Mostní závěry na mostě přes počernické rybníky

Na tomto mostě byly osazeny mostní závěry typu F240.

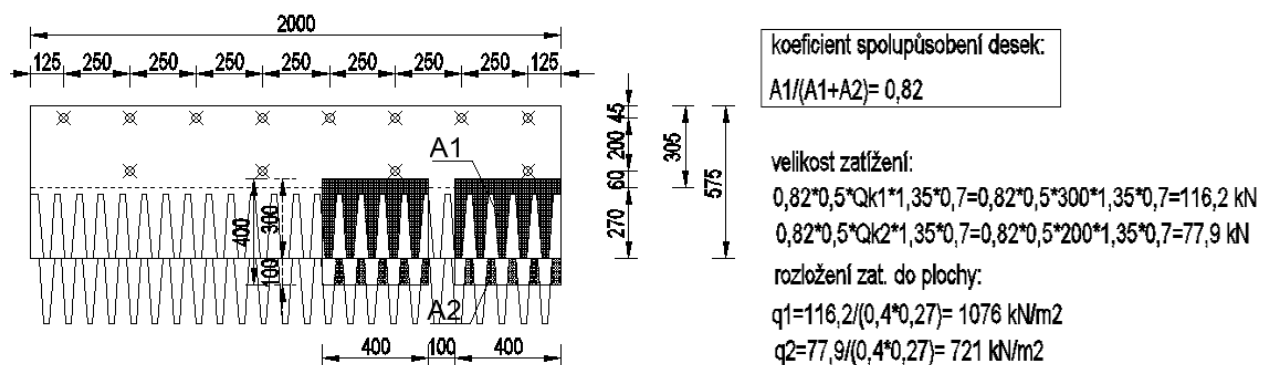
- Geometrie závěru je na obrázku 29 a 30.

Tloušťka ocelové desky: 40mm

Jmenovitý dilatační posun: ± 120 mm



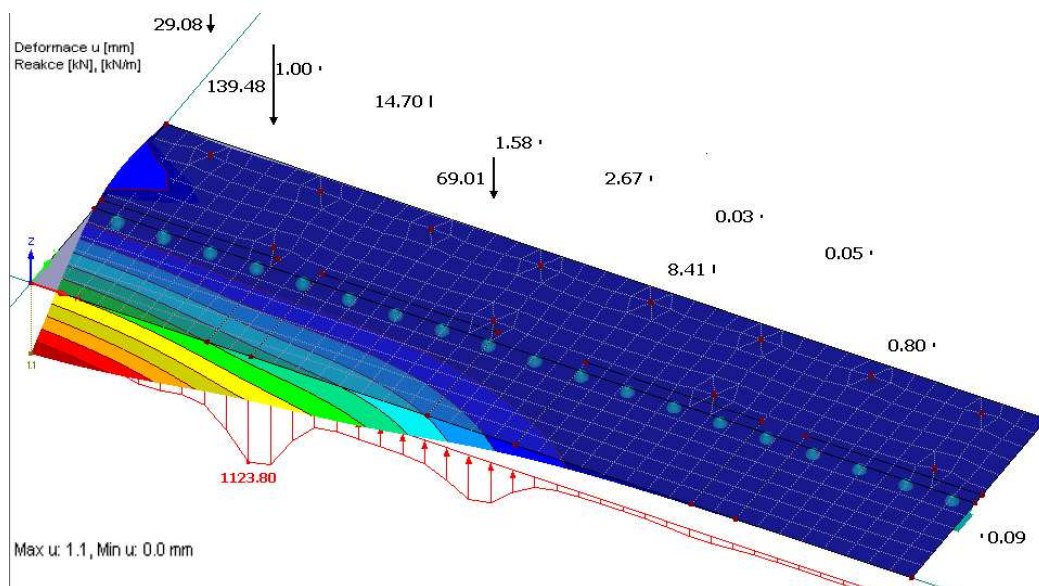
Obrázek 29 Schematický příčný řez vozovkové části MZ typu F240 [4]



Obrázek 30 Geometrie statického modelu MZ typu F240

- Výsledky:

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů



Obrázek 31 Výsledky statického modelu MZ typu F240

- Posouzení tahové únosnosti:

Dimenze šroubů: M20; $F_{t,Rd} = 123,5 \text{ kN}$

$F_{t,Rd} = 123,5 \text{ kN} < F_{t,Sd} = 139,5 \text{ kN} \dots\dots\text{NEVYHOVUJE!!!}$

4.6 Mostní závěry na mostě D8- 135.3 (most přes rybný potok)

Na tomto mostě jsou osazeny mostní závěry s typovým označením F300 a F320.

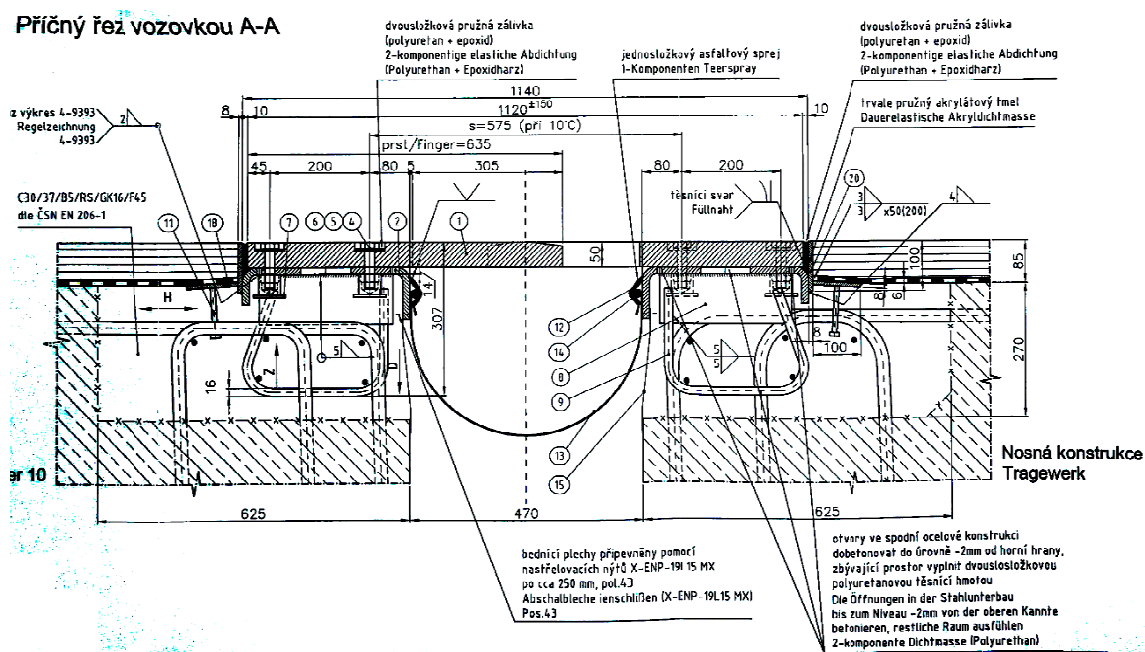
4.6.1 Únosnost kotevních šroubů na MZ typu F300

- Geometrie závěru je na obrázku 32 a 33

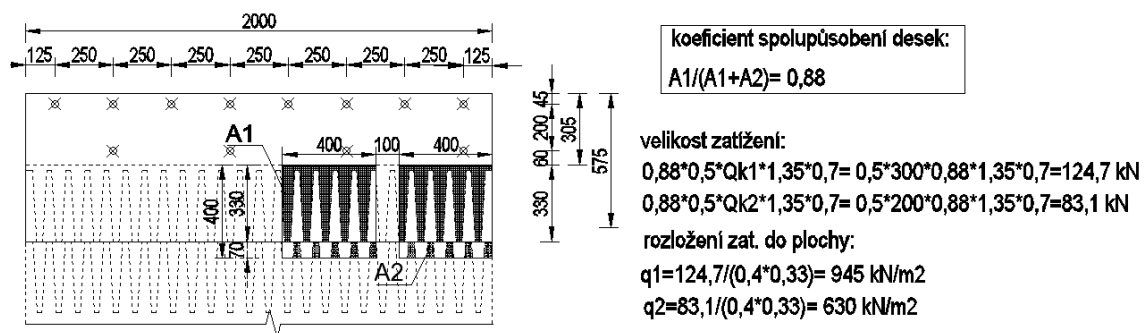
Tloušťka ocelové desky: 50 mm

Jmenovitý dilatační posun: $\pm 150 \text{ mm}$

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů



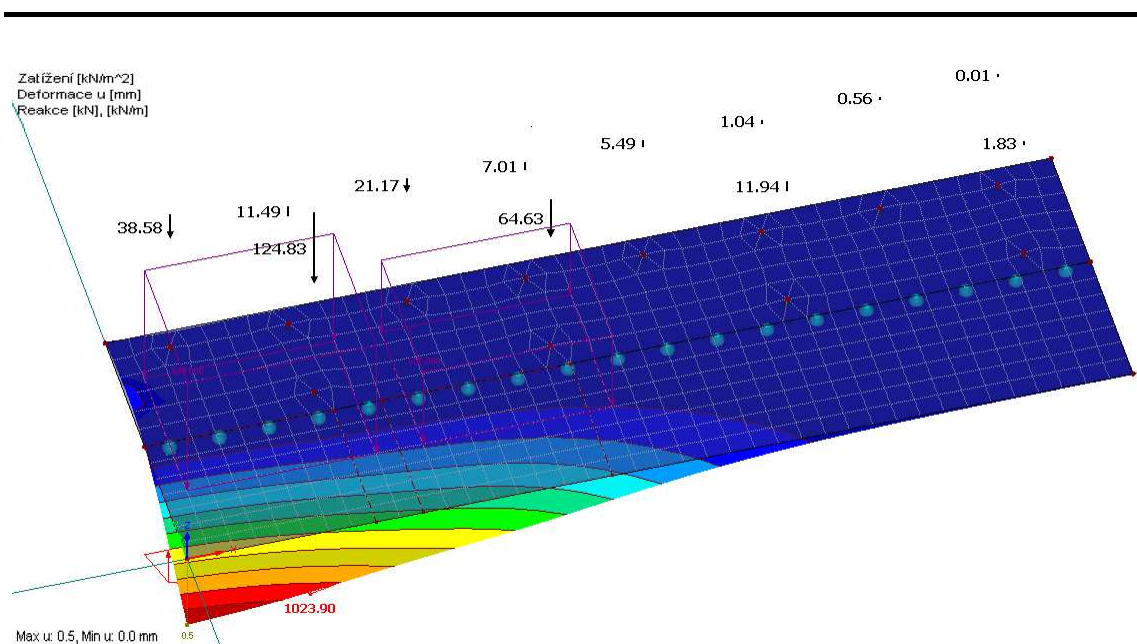
Obrázek 32 Schematický příčný řez vozovkové části MZ typu F300 [4]



Obrázek 33 Geometrie statického modelu MZ typu F300

- Výsledky:

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů



Obrázek 34 Výsledky statického modelu MZ typu F300

- Posouzení tahové únosnosti:

Dimenze šroubů: M20; $F_{t,Rd} = 123,5 \text{ kN}$

$F_{t,Rd} = 123,5 \text{ kN} < F_{t,Sd} = 124,8 \text{ kN} \dots\dots\text{NEVYHOVUJE!!!}$

Při porovnání výpočtové únosnosti šroubů s výsledky numerického modelu nevyhověl jeden šroub- jež se opět nachází v blízkosti zatěžovací plochy kola.

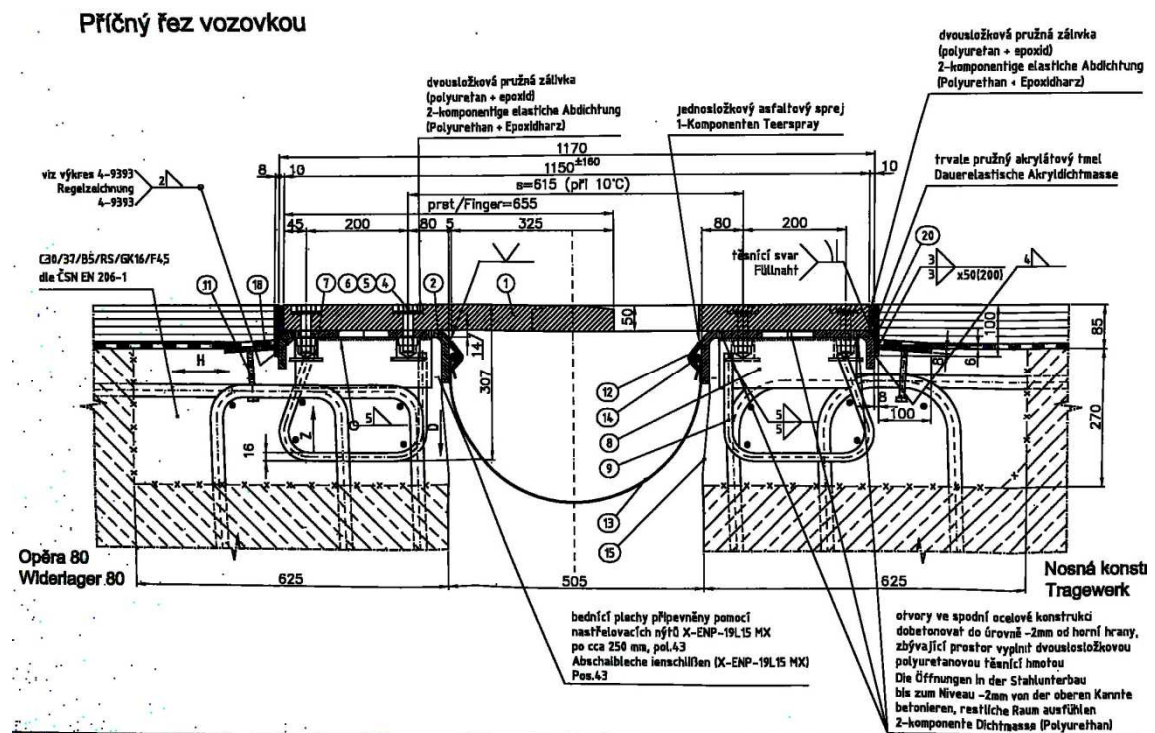
4.6.2 Únosnost kotevních šroubů na MZ typu F320

- Geometrie závěru je na obrázku 35 a 36

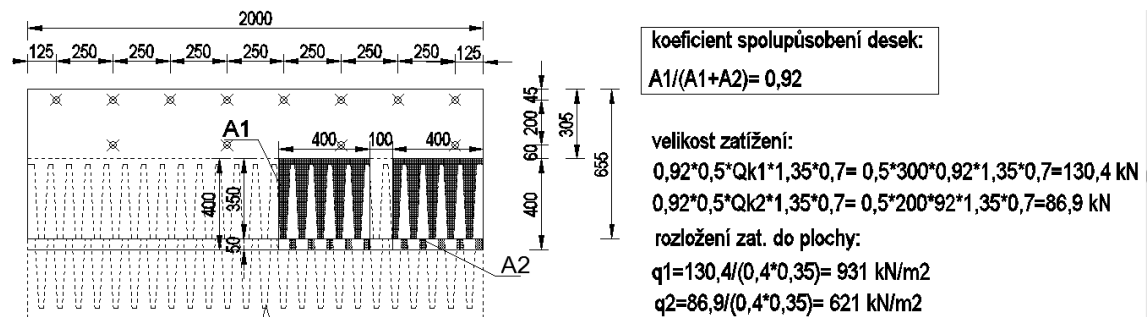
Tloušťka ocelové desky: 50 mm

Jmenovitý dilatační posun: $\pm 160 \text{ mm}$

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů

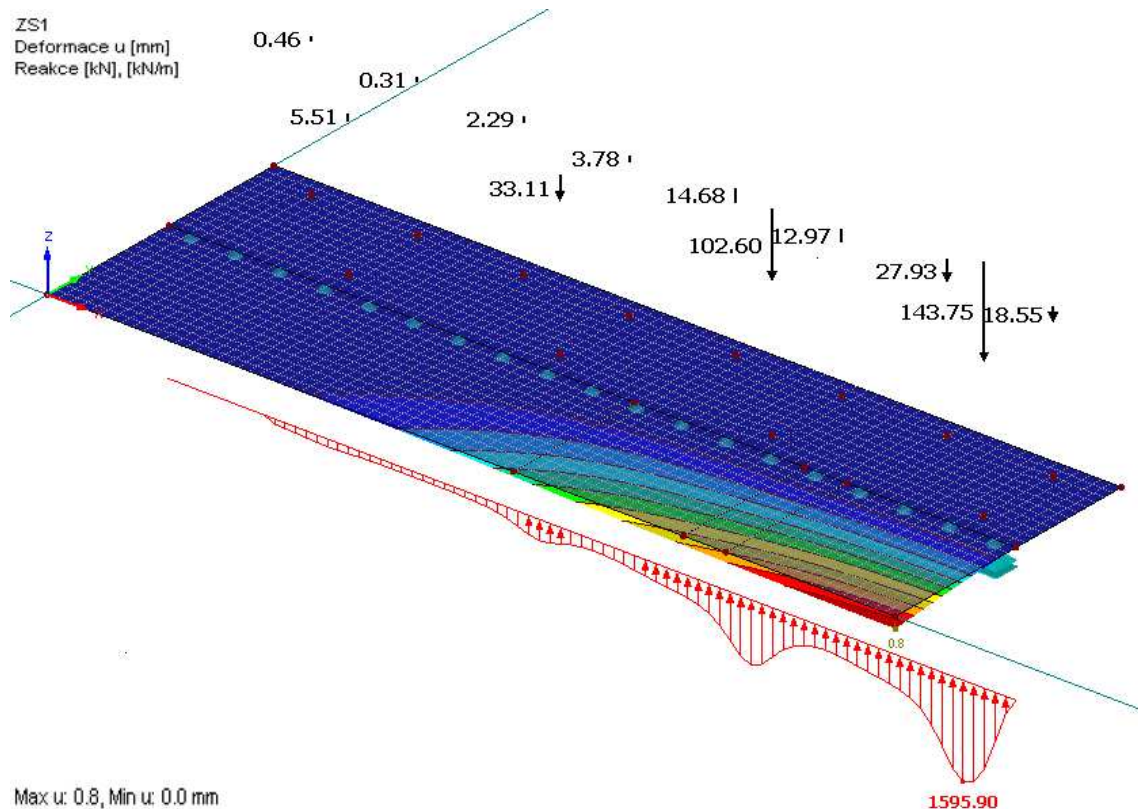


Obrázek 35 Schematický příčný řez vozovkové části MZ typu F320 [4]



Obrázek 36 Geometrie statického modelu MZ typu F320

- **Výsledky:**



Obrázek 37 Výsledky statického modelu MZ typu F320

- **Posouzení tahové únosnosti:**

Dimenze šroubů: M20; $F_{t,Rd} = 123,5 \text{ kN}$

$F_{t,Rd} = 123,5 \text{ kN} < F_{t,Sd} = 143,8 \text{ kN} \dots\dots\text{NEVYHOVUJE!!!}$

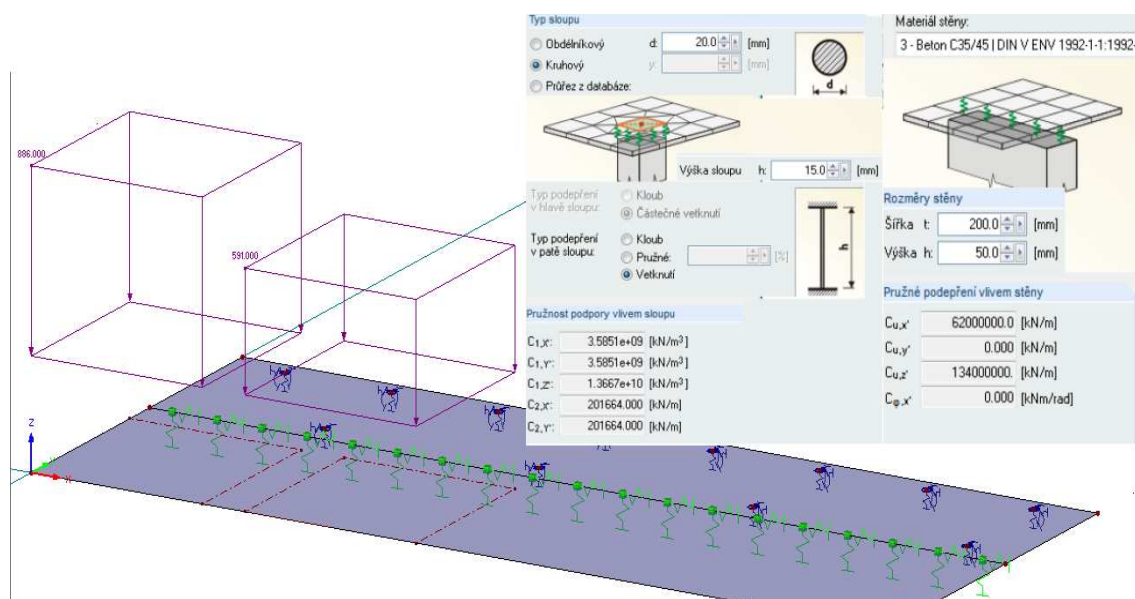
4.7 Analýza výsledků posouzení na únosnost

4.7.1 Výstižnost statického modelu

Použité tuhé podpory vystihují situaci, kdy zůstane podklad hřebenové desky po zatížení rovinný (neuvažuje se zakřivením v oblasti zatížené hrany). Proto jsou hodnoty zatížení šroubů v blízkosti opěrné hrany kotevního bloku zatíženy relativně velkou mírou nejistoty a potřeba je vnímat spíše jako orientační. Pokud ovšem není známá

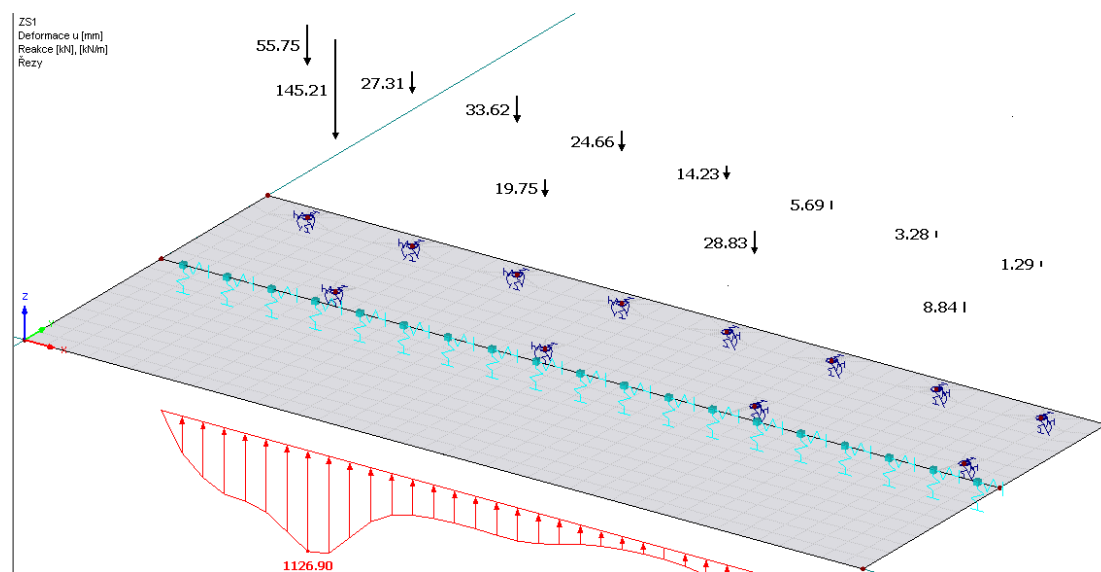
tuhost opěrné hrany, měl by se vzít v úvahu nejméně příznivý případ- tzn. nekonečně tuhé podepření.

Pro představu, jak se změní silové poměry ve šroubech, pokud jsou definovány tuhosti podepření, uvádím porovnání výsledků statických modelů. Na obr. 38 a 40 jsou statické modely, jež se liší pouze tuhostí podpor, kde v levé části je model s nekonečně tuhými podporami a v pravé části jsou podporám přiřazeny tuhosti: liniová kloubová podpora má zde tuhost odpovídající betonovému podkladu (C35/45) o tloušťce 50mm a šířce 200mm, v místech šroubů je namodelován kruhový sloup s částečným vetknutím v hlavě i patě sloupu. Toto sloupové podepření tvoří válec z VP oceli ($f_{ub} = 1000\text{MPa}$) o průměru podstavy 20mm a výšce $0,3 \cdot 50\text{mm} = 15\text{mm}$. Geometrie a materiál sloupového podepření je zvolena tak, aby lépe vystihovala tuhost předepnutých VP šroubů M20, se svěrnou délkou 50mm a jejich míru předpětí, která činí $0,7 \cdot f_{ub}$.

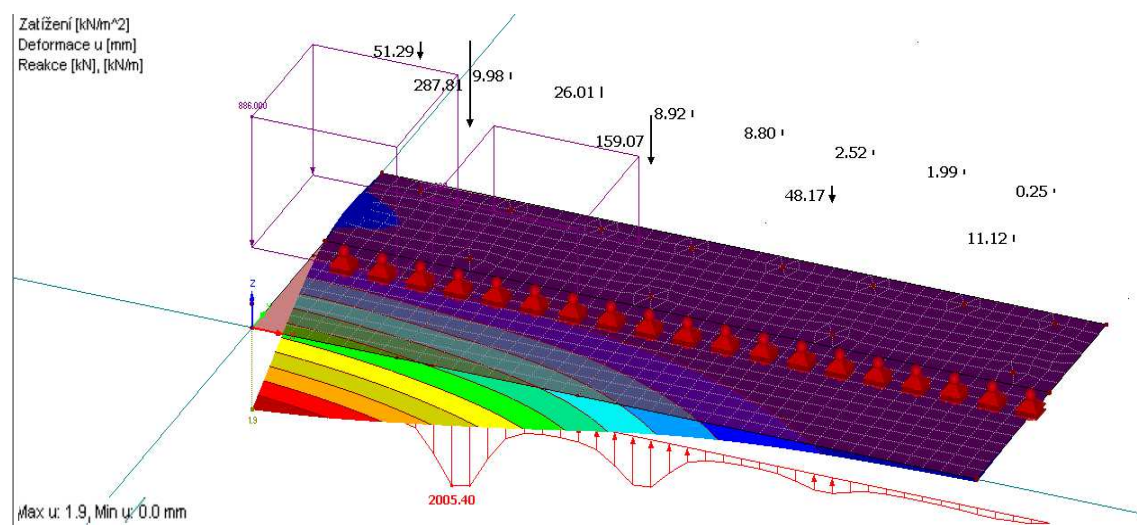


Obrázek 38 Statický model se specifikací tuhostí podpor

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů

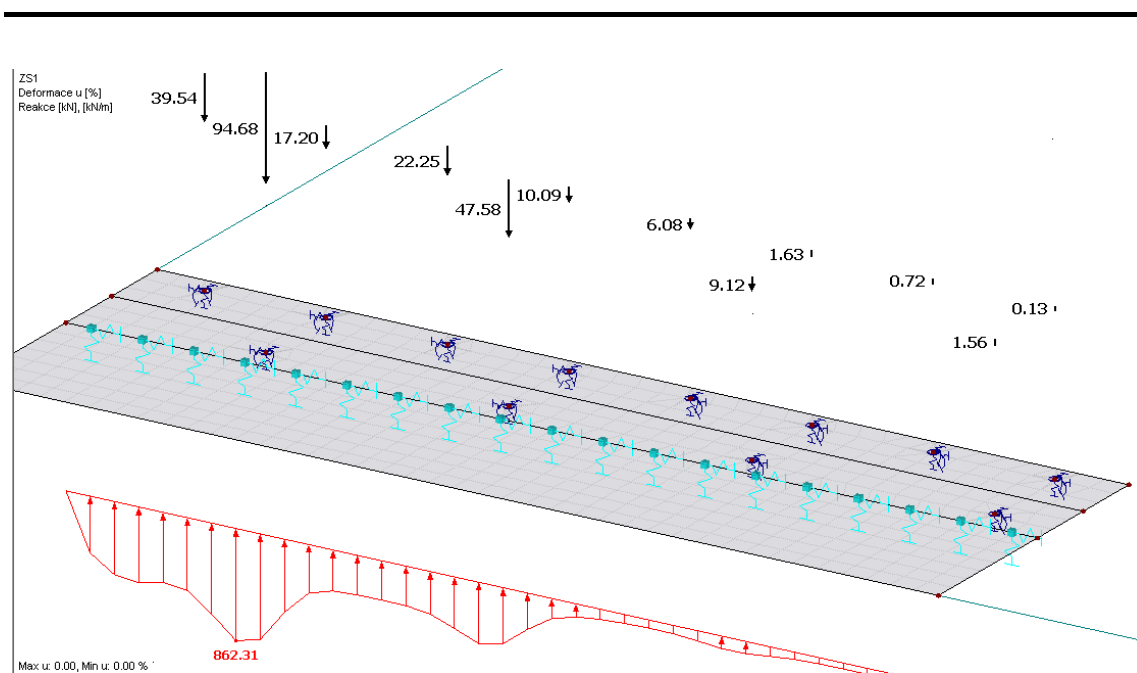


Obrázek 39 Výsledky statického modelu s výše definovanými pružnými podporami (geometrie odpovídá MZ s typovým označením F450)

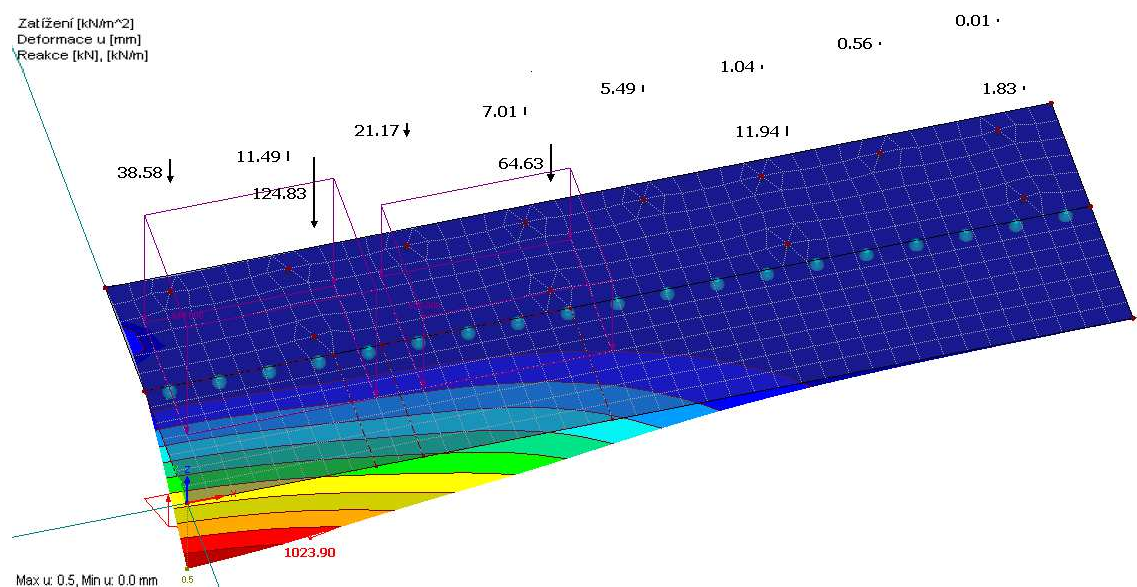


Obrázek 40 Výsledky statického modelu MZ typu F450 s tuhými podporami

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů



Obrázek 41 Výsledky statického modelu s výše definovanými pružnými podporami (geometrie odpovídá MZ s typovým označením F300)



Obrázek 42 Výsledky statického modelu MZ typu F300 s tuhými podporami

4.7.2 Shrnutí výsledků posudků na únosnost

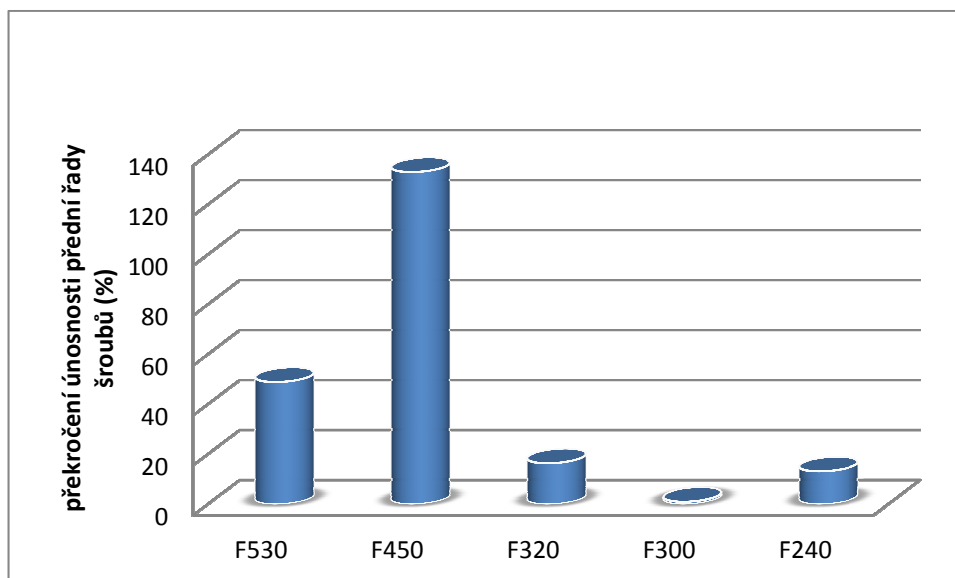
Při posouzení únosnosti byly zjištěny nedostatky v konstrukci MZ, konkrétně se jedná o nešťastně zvolenou geometrii rozmístění šroubů. Přední řada šroubů se nachází příliš blízko hrany podkladního bloku, čímž při zatížení vznikají v těchto šroubech síly, které překračují jejich únosnost (nebo se k ní blíží). V tab. 2 jsou vyčísleny stupně

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů

bezpečnosti šroubových spojů a v procentech vyjádřena míra přetěžování. Grafické znázornění překračování únosnosti je uvedeno v grafu 2.

Tabulka 3 Shrnutí posudků na únosnost

TYP	dimenze šroubů	Ft,Rd (kN)	Fsd (kN)	STUPEŇ BEZPEČNOSTI (Fsd/Ft,Rd < 1)	PŘEKROČENÍ ÚNOSNOSTI (%)
F450	M20	123,5	287,81	2,330	133,045 %
F530	M24	177,9	265	1,490	48,960 %
F320	M20	123,5	143,8	1,164	16,437 %
F300	M20	123,5	124,8	1,011	1,053 %
F240	M20	123,5	139,8	1,132	13,198 %



Graf 2 Grafické znázornění výsledků posouzení únosnosti

Tato skutečnost sice nevede přímo ke kolapsu MZ, jelikož šrouby v zadní řadě zatížení přenesou s cca 60-70% rezervou- a to i za předpokladu, kdy šrouby v přední řadě neuvažujeme. Přetržené, nebo jinak porušené šrouby v přední řadě jsou však s největší pravděpodobností příčinou zkrácení životnosti systému upevnění hřebenových desek.

Předpokládaná posloupnost porušení těchto MZ:

- Porušení šroubu/šroubů v blízkosti hrany podkladního bloku

- Nepatrné vzpříčení hřebenové desky (změna její výškové polohy vlivem změny statického systému), které nastane na úkor předpětí šroubů v zadní řadě
- Únava za koroze šroubů v zadní řadě, jež jsou po vymizení předpětí namáhány velkým rozkmitem napětí, v kombinaci se zatékáním do oblasti matic šroubů.

4.7.3 Objasnění selhávání šroubů v zadní řadě za pomoci teorie únavy materiálu

V tomto odstavci bude provedeno posouzení na mezní stav únavy šroubů v zadní řadě u MZ typu F240 (osazený na mostech R1-007..1,2- jež jsou SOKP). Jmenovitý dilatační posun činí ± 120 mm.

Údaje vstupující do výpočtu

- *Hřebenová deska:*

Hřebenová deska je modelována stejně jako při posouzení na únosnost.

- *Podpory:*
 - Bodové: tuhé podepření ve směru os x, y, z
 - Liniové: tuhé podepření ve směru osy z

Pozn.: 1) model nezahrnuje skutečnost, že se část vodorovného zatížení přeneseme působením tření v oblasti liniové podpory. Velikost skutečně přenesené horizontální síly vlivem tření je závislá na součiniteli tření, který za daných provozních podmínek nelze přesně stanovit (není vyloučena situace s mastným povrchem kontaktních ploch).

2) z modelu byly odebrány podpory v přední řadě

- *Kombinace zatížení na únavu:* [1]

Pro zjištění únavového zatížení dopravou byl vybrán model zatížení na únavu 1 (FLM1EJ), uvedený v TP86, čl. G 2.3 byla vytvořena kombinace zatížení dle čl. G 4.2.3:

Model zatížení dopravou (nápravové síly):

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů

koeficient spolupůsobení desek:

$$A1/(A1+A2) = 0,566$$

velikost svislého zatížení:

$$0,566 \cdot 0,5 \cdot Q_{k1} \cdot 1,35 \cdot 0,7 = 0,566 \cdot 0,5 \cdot 300 \cdot 1,35 \cdot 0,7 = 80,1 \text{ kN}$$

rozložení zat. do plochy:

$$q_{1, \text{fat}} = 80,1 / (0,4 \cdot 0,27) = 742 \text{ kN/m}^2$$

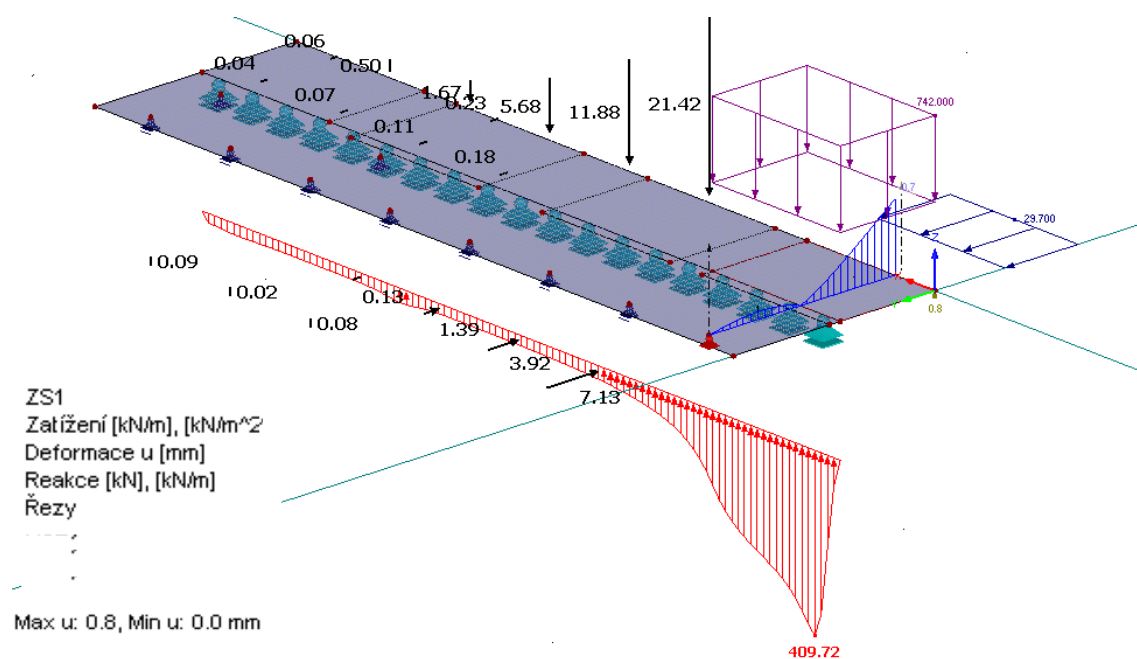
velikost vodorovného zatížení:

$$0,566 \cdot 0,5 \cdot Q_{k1} \cdot 1 = 0,566 \cdot 0,5 \cdot 42 = 11,9 \text{ kN}$$

rozložení zat. do linie:

$$q_{1l, \text{fat}} = 29,7 / 0,4 = 29,7 \text{ kN/m}$$

Výpočet zatížení na šrouby



Obrázek 44 Únavové zatížení na šrouby pro MZ typu F240

Únavová pevnost šroubů

[2]

Únavová únosnost šroubů bude posuzována na $2 \cdot 10^6$ cyklů s konstantní velikostí amplitudy. Při posouzení není uvažováno s předpětím ve šroubech, proto jsou šrouby namáhány i na smyk. Posuzovaný prvek vyhoví na účinky únavy, pokud je splněna následující podmínka:

**Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových
mostních závěrů**

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E,2}}{\frac{\sigma_c}{\gamma_{Mf}}}\right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} * \Delta\tau_{E,2}}{\frac{\tau_c}{\gamma_{Mf}}}\right)^5 \leq 0$$

Kde je:

σ_c a τ_c referenční únavová pevnost při $N_c = 2 \cdot 10^6$ cyklů (počet cyklů) [MPa]

- dle kategorie detailu je $\sigma_c = 50$ MPa; $\tau_c = 100$ MPa

$\gamma_{Ff} = 1,0$ dílčí součinitel spolehlivosti pro ekvivalentní konstantní rozkmit napětí

σ_E a τ_E [-]

$\gamma_{Mf} = 1,15$ dílčí součinitel únavové pevnosti σ_c a τ_c (hodnota pro závažné důsledky a přípustná poškození) [-]

$\Delta\sigma_{E,2}$ a $\Delta\tau_{E,2}$.. ekvivalentní rozkmit napětí pro $2 \cdot 10^6$ cyklů [MPa]

hodnoty budou vyčísleny pro šroub (bodovou podporu), přenášející největší zatížení.

- Posouzení únavové pevnosti šroubu:

Dimenze šroubu: M20 $A = 314 \text{ mm}^2$ $A_s = 245 \text{ mm}^2$

Výpočet rozkmitu normálového napětí: $\Delta\sigma_{E,2} = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = 87,43 - 0 = 87,43 \text{ MPa}$

$\sigma_{\min} = 0 \text{ MPa}$

$\sigma_{\max} = \max F_z / A_s = 21,42 \cdot 10^3 / 245 = 87,43 \text{ MPa}$

Výpočet rozkmitu smykového napětí: $\Delta\tau_{E,2} = \tau_{\max} - \tau_{\min} = 39,3 - 0 = 39,3 \text{ MPa}$

$\tau_{\min} = 0 \text{ MPa}$

$\tau_{\max} = \max F_x * \sqrt{3} / A = 7,13 \cdot 10^3 * \sqrt{3} / 314 = 39,3 \text{ MPa}$

ověření podmínky:

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E,2}}{\frac{\sigma_c}{\gamma_{Mf}}}\right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} * \Delta\tau_{E,2}}{\frac{\tau_c}{\gamma_{Mf}}}\right)^5 \leq 1$$

Posouzení únosnosti kotevních šroubů hřebenových mostních závěrů

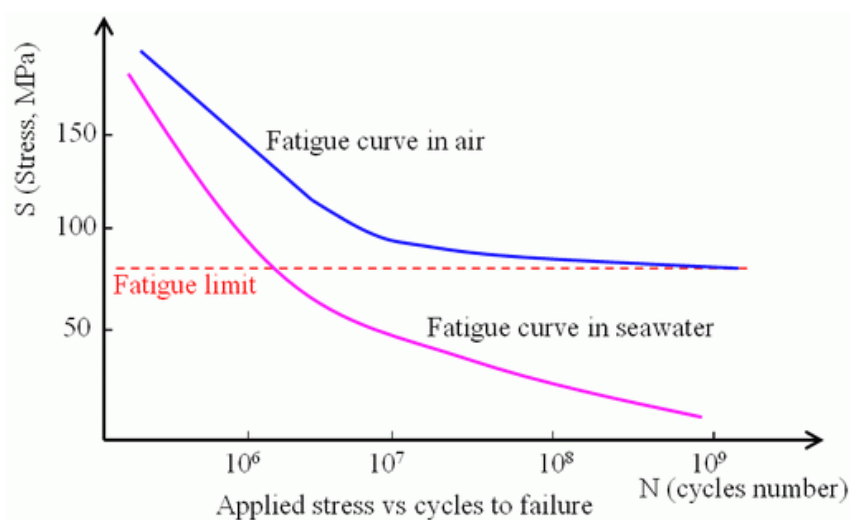
$$8,13 + 0,02 > 1 \Rightarrow \text{NEVYHOVUJE!!!}$$

Závěr z ověření únavové pevnosti šroubů v zadní straně

Selhávání šroubů v zadní řadě lze objasnit pomocí teorie únavové pevnosti oceli. Při zanedbání předpětí ve šroubech jsou účinky rozkmitu osového napětí nejvýraznější složkou, jež přispívá k únavě šroubů. Proto je z hlediska provozní spolehlivosti kotevních šroubů zásadní zajištění stálého provozního předpětí ve šroubech.

Poznámka k posouzení na únavu

Při únavovém namáhání, v kombinaci s korozním prostředím chloridů (přítomných díky zimnímu ošetřování) je potřeba změnit únavovou křivku – viz obrázek 45



Obrázek 45 Únavová křivka pro ocel v kontaktu s mořskou vodou [5]

Použití fialové únavové křivky z obr. 45 je opodstatněné, jelikož demontované šrouby z konstrukce MZ vykazují vysoký stupeň korozního poškození- viz obr. 46.



Obrázek 46 Zkorodovaný šroub demontovaný po 2 letech provozu na mostě R- 007

5 PROGNÓZA ŽIVOTNOSTI

Prognóza životnosti bude provedena z hlediska teorie únavy šroubů, dále bude provedena prognóza životnosti na základě historie poruch MZ.

5.1 Použití teorie únavové pevnosti šroubu

Pro posouzení únavové pevnosti šroubů je nutné určit provozní rozkmit napětí. Poté únavová pevnost šroubů závisí na počtu pracovních cyklů, který se bude rovnat počtu převedených těžkých vozidel.

5.1.1 počáteční předpětí ve šroubech

Dle VTD jsou kotevní šrouby hřebenových desek navrženy jako předpjaté- s řízeným dotahováním pomocí momentového klíče. Hodnoty momentů dotažení a jim odpovídající velikost předpětí jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 Hodnoty vyvozených svěrných sil vyvozené dotažením na předepsané utahovací momenty [4] [7]

Dimenze šroubů	Utahovací moment dle VTD	Vyvozená svěrná síla
M20	450 Nm	160 kN
M24	800 Nm	220 kN

Tyto hodnoty předpětí mohou být přímo použity pro výpočet rozkmitů napětí pouze v případě, že je splněna podmínka rovinnosti obou spojovaných částí. Z dokumentace opravy je však zřejmé, že tato rovinnost splněna není.



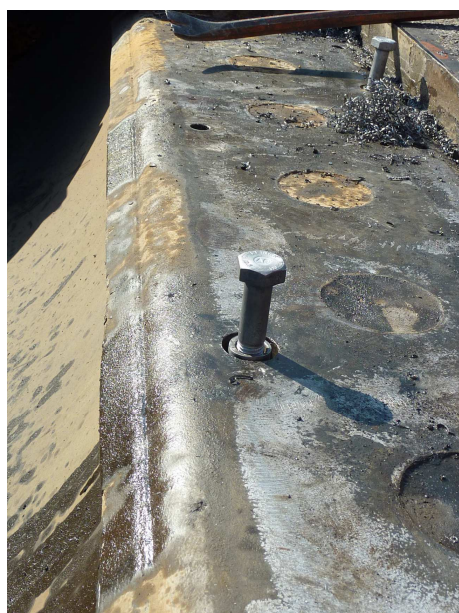
Obrázek 47 Pokus o demonstraci nerovného povrchu kotevní desky (výškové nerovnosti byly okem zřetelné a dosahovaly cca 3 mm)

Výškové rozdíly se mohly během provozu a zejména během výměny zalomených šroubů měnit. Důvodem je způsob výměny zalomených šroubů. Tento postup lze popsat následovně:

- 1) Snesení hřebenové desky
- 2) Vystružení otvoru s pouzdrům pro matici šroubu- viz obr. 6.2
- 3) Navaření nového pouzdra- viz obr. 6.3
- 4) Zabroušení svarů- viz obr. 6.4



Obrázek 48 Vystružení otvoru za účelem výměny pouzdra s maticí



Obrázek 49 Připravené nové pouzdro matice k navaření do kotevního bloku



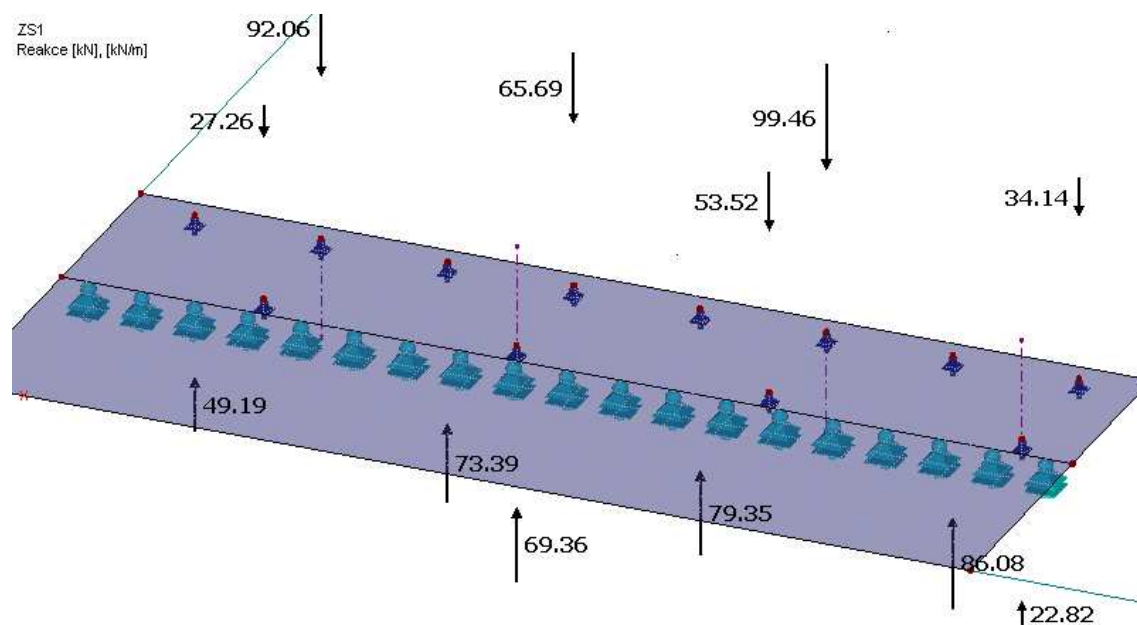
Obrázek 50 Přibližné zalícování svaru pomocí broušení

Přítomnost výškových nerovností podkladní desky je dobře vidět na obr. 51, který byl převzat z dokumentace o opravě MZ na hraničním mostě, drážďanská opěra (typ F450).



Obrázek 51 Vypružení hřebenové desky díky selhání šesti kotevních šroubů [4]

Pro představu, kolik svěrné síly je spotřebováno na přilnutí hřebenové desky ke kotevnímu bloku byl statický model hřebenové desky MZ typu F450 zatížen deformací 4 bodových podpor o velikosti $\pm 0,2$ mm. Výsledné síly jsou uvedeny na obr. 52:



Obrázek 52 Potřebné síly pro přilnutí ke kotevní desce, s nerovností $\pm 0,2$ mm

5.1.2 Závěr z rozboru určení pracovního předpětí

Z výše uvedeného příkladu pro určení pracovního předpětí je zřejmé, že nelze určit pracovní předpětí bez velmi přesného výškového zaměření povrchů kotevních bloků a jejich přesný statický model. Vzhledem ke skutečnosti, že znalost přesné velikosti předpětí je zásadní pro výpočet počtu zatěžovacích cyklů do vyčerpání únavové pevnosti, je klasický posudek na únavu šroubu bezpředmětný.

Proto bude dále provedena prognóza životnosti na základě četnosti poruch a počtu převedených těžkých nákladních vozidel (TNV).

5.2 Určení životnosti na základě závislosti četnosti poruch na provozních podmínkách

Doba životnosti bude v tomto odstavci vymezovat dobu, po časový okamžik selhání prvního šroubu, jelikož provozování tohoto typu MZ s více uvolněnými šrouby je nepřijatelné jak z hlediska bezpečnosti, tak z hlediska extrémního namáhání kotevních bloků.

Vstupní parametry pro výpočet prognózy životnosti jednotlivých MZ

- *Počet poruch*

Ve výpočtu je počítáno s počtem poruch- v časovém období od zavedení jednotlivých MZ do provozu až do roku 2012.

- *Počet přejezdů těžkých vozidel po okraji hřebenové desky[8] [9]*

Do výpočtu poruchovosti vstupuje pouze počet přejezdů těžkých nákladních vozidel (TNV) po okraji jedné hřebenové desky.

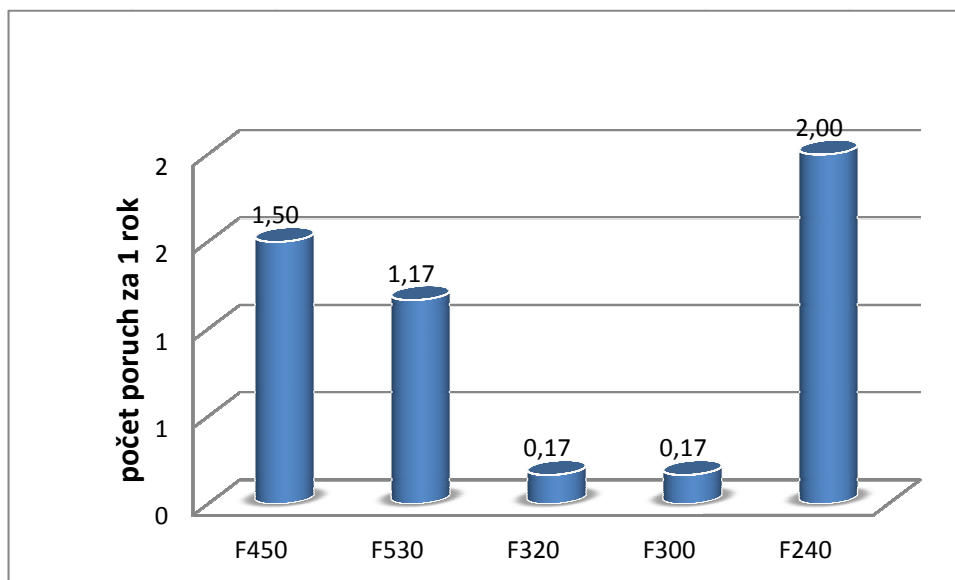
Tyto hodnoty byly získány na základě počtu přejezdů TV – získaných z denních intenzit TNV v daných úsecích ze sčítání dopravy z r. 2010. Celkové hodnoty intenzit byly redukovány dle statistické četnosti přejezdů po okraji hřebenové desky- tzn. bylo vzato do úvahy příčné rozestavení desek vzhledem k jízdní stopě. Pro určení četnosti přejezdů z hlediska příčného uspořádání bylo postupováno dle ČSN EN 1991-2, obr. 4.5.

Výsledky výpočtu prognózy životnosti jsou uvedeny v tabulce 5 a grafu 3.

Prognóza životnosti

Tabulka 5 Výpočet časového úseku do poruchy, na základě provozních podmínek.

TYP	překročení únosnosti (%)	počet poruch	počet roků v provozu	počet převedených TNV za jeden den	počet převedených TNV po okraji hřebenové desky (za 1 den)	počet převedených TNV po okraji hřebenové desky (za 1 rok)	počet převedených TNV po okraji hřebenové desky (za celou dobu provozu)	počet výskytu poruch po 1mil. TNV	počet poruch za 1 rok	počet roků do poruchy
F450	133,04	9	6	4700	2350	857750	5146500	1,75	1,50	0,67
F530	48,96	7	6	4700	2350	857750	5146500	1,36	1,17	0,86
F320	16,44	1	6	4700	1763	643313	3859875	0,26	0,17	6,00
F300	1,05	1	6	4700	1763	643313	3859875	0,26	0,17	6,00
F240	13,20	12	6	21600	8100	2956500	17739000	0,68	2,00	0,50



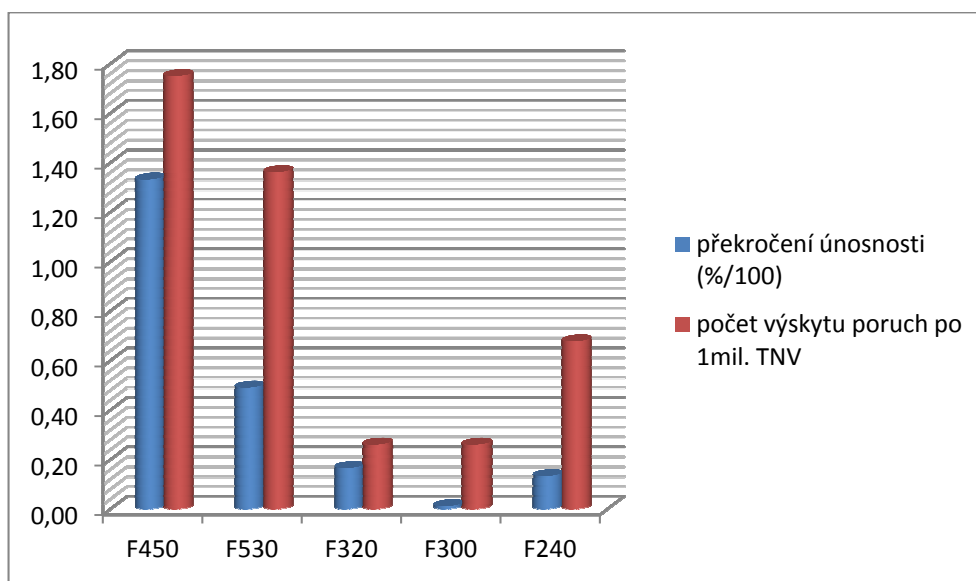
Graf 3 Znárodnění četnosti poruch v jednom roce

6 ZÁVĚR

Jedním z cílů této diplomové práce bylo stanovení příčin opakovaných poruch hřebenových mostních závěrů. Příčina porušení byla teoreticky stanovena na základě statického posouzení kotevních šroubů, v kombinaci s posouzením na únavu.

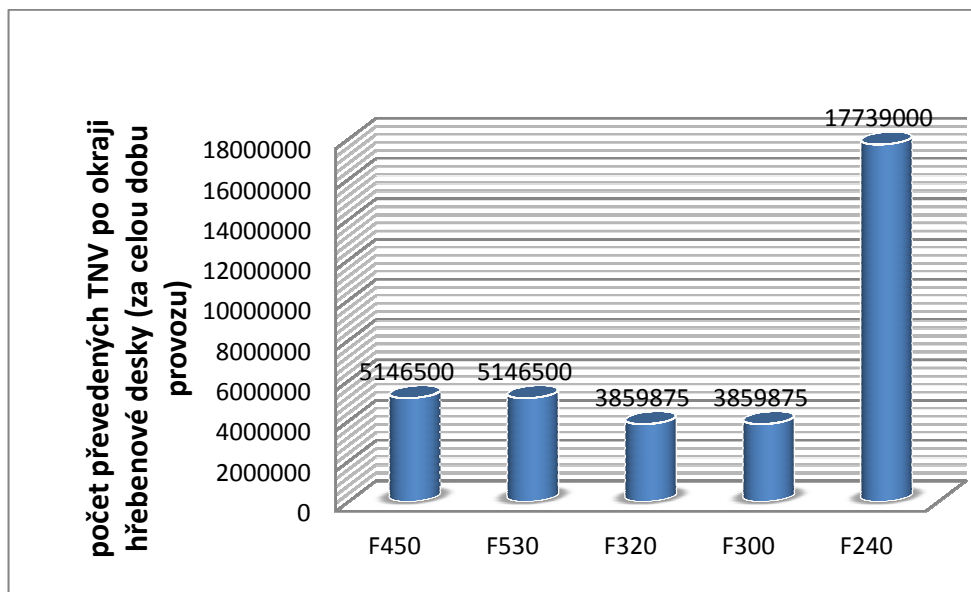
Při simulaci únavového chování jednotlivých typů MZ, za účelem prognózy životnosti, bylo poukázáno na velkou míru nespolehlivosti reálně působícího předpětí ve šroubech. Nedostatečná míra provozního předpětí přitom znamená zkrácení životnosti šroubového spoje.

Pro znázornění korelace mezi výsledky posudků na únosnost a poruchovostí po přejezdu 1 milionu vozidel je níže přiložen graf 4.



Graf 4 Porovnání výsledků posouzení na únosnost s počtem poruch po 1 milionu převedených vozidel

Vysoký podíl počtu poruch vzhledem k hodnotě překročení únosnosti kotevních šroubů u MZ typu F240 může být způsoben vysokým počtem převedených TNV po okraji hřebenové desky. Grafický přehled o počtu převedených TNV je uveden v grafu 5.



Graf 5 Počet převedených TNV za celou dobu provozu

Pokud přihlédneme k hodnotám, uvedeným v grafu 5, nabízí se možné vysvětlení anomálie poruchovosti MZ typu F240, vztažená k míře přetěžování šroubů (viz graf 4).

Výsledkem této diplomové práce je tedy rozhodné tvrzení, že nespolehlivost kotevních šroubů je dána chybnou konstrukcí mostních závěrů.

Závěrem bych chtěl dodat, že podle mého názoru šlo těmto závadám jednoduše předejít v případě, že by se výrobce, či příslušný certifikační úřad zabýval posouzením únosnosti šroubů v přední řadě.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] TP86 Mostní závěry
- [2] ČSN EN 1993-9 Navrhování ocelových konstrukcí- Část 9: Únava
- [3] ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků
- [4] interní dokumentace ŘSD
- [5] *corrosionclinic: firemní stránky* [online]. 2013 [cit. 2013-01-03]. Dostupné z WWW:
<http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/Corrosion%20Fatigue.htm />.
- [6] *www.kaprok.y.cz* [online]. c2012 [cit. 2013-01-03]. Dostupné z WWW:
<<http://www.kaprok.y.cz/full.php?idad=31&i=1&p=17&sl=0>>
- [7] *Peiner: firemní stránky* [online]. 2013 [cit. 2013-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.k2l.cz/uploads/images/sortiment/Katalog-srouby-pro-ocelove-konstrukce.pdf>>
- [8] ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou.
- [9] *Ředitelství silnic a dálnic : firemní stránky* [online]. c2010 [cit. 2013-01-03]. Dostupné z WWW: < <http://scitani2010.rsd.cz/pages/map/default.aspx> >.
- [10] *Mapy: veřejné stránky* [online]. c2010 [cit. 2013-01-03]. Dostupné z WWW:
<<http://www.mapy.cz/>>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

TP	- Technické podmínky
MZ	- Mostní závěr
ULS	- Mezní stav únosnosti
C_{ULS}	- Kombinace trvalých a přechodných návrhových situací pro mezní stav únosnosti
G_k	- Vlastní tíha (stálé zatížení)
F_{ik}	- Charakteristická vnitřní síla vyvolaná předpětím a vnesenými
Q_{ik}	- Svislá nápravová síla v „i“ zatěžovacím pruhu
q	- plošné zatížení od nápravové síly
$F_{t,Rd}$	- únosnost šroubu v tahu
k_2	- součinitel redukující tahovou únosnost šroubu
γ_{M2}	- dílčí součinitel spolehlivosti
f_{ub}	- mez kluzu oceli v tahu
A_s	- účinná plocha šroubu v tahu
A	- Plocha dříku šroubu
$F_{t,Sd}$	- návrhové zatížení na šroub
SOKP	- silniční okruh kolem Prahy
$Q_{1k, fat}$	- Svislé nápravové zatížení $FLM1_{EJ}$
$Q_{1lk, fat}$	- Vodorovné nápravové zatížení $FLM1_{EJ}$
C_{FAT}	- Kombinace pro mezní stav zatížení únavou
$\Delta\phi_{fat}$	- Přídavný dynamický součinitel pro svislé nápravové zatížení na únavu
$\Delta\phi_{fat,h}$	- Přídavný dynamický součinitel pro vodorovné nápravové zatížení únavu

Seznam použitých zkratk a symbolů

Ψ_{0d}	- Součinitel kombinace pro šířku dilatační spáry mostního závěru
d_{Ek}	- Maximální šířka dilatační spáry mostního závěru uvedený výrobcem (jmenovitá šířka dilatační spáry)
γ_{Ff}	- dílčí součinitel spolehlivosti pro ekvivalentní konstantní rozkmit napětí
γ_{Mf}	- dílčí součinitel únavové pevnosti
$\Delta\sigma_{E,2}$	- ekvivalentní rozkmit osového napětí pro $2 \cdot 10^6$ cyklů
$\Delta\tau_{E,2}$	- ekvivalentní rozkmit smykového napětí pro $2 \cdot 10^6$ cyklů
σ_{max}	- maximální osově napětí v jednom zatěžovacím cyklu
σ_{min}	- minimální osově napětí v jednom zatěžovacím cyklu
τ_{max}	- maximální smykové napětí v jednom zatěžovacím cyklu
τ_{min}	- minimální smykové napětí v jednom zatěžovacím cyklu
VTD	- výrobně technická dokumentace
TNV	- těžké nákladní vozidlo

9 SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK

Obrázek 1 Volná dilatační spára [1].....	12
Obrázek 2 Podpovrchový mostní závěr [1].....	13
Obrázek 3 Elastický mostní závěr [1]	13
Obrázek 4 Mostní závěr s jednoduchým těsněním spáry [1]	14
Obrázek 5 Mostní závěr kobercový jednoduchý s krajovým profilem [1]	15
Obrázek 6 Mostní závěr kobercový jednoduchý bez krajového profilu [1].....	15
Obrázek 7 Mostní závěr kobercový s mezilehlým profilem [1]	15
Obrázek 8 Mostní závěr hřebenový – prsty podepřené [1]	16
Obrázek 9 Mostní závěr hřebenový – prsty konzolové [1]	17
Obrázek 10 Mostní závěr podporovaný [1]	17
Obrázek 11 Mostní závěr podporovaný s krycím plechem [1]	18
Obrázek 12 Mostní závěr vícenásobný lamelový s roznášecím mechanismem	18
Obrázek 13 Mostní závěr vícenásobný lamelový s roznášecím mechanismem (roštový typ) – půdorys řídicího systému mezilehlých profilů [1]	19
Obrázek 14 Mostní závěr vícenásobný lamelový (nůžkový typ) - nůžky jako řídicí systém [1]	19
Obrázek 15 Mostní závěr vícenásobný lamelový se sníženou hlučností [1]	20
Obrázek 16 opakující se porucha- přetržené a vypadlé kotevní šrouby.....	21
Obrázek 17 Lokalizace hraničního mostu [10]	22
Obrázek 18 Pohled na nosnou konstrukci hraničního mostu dálnice D8.....	23
Obrázek 19 Umístění mostu přes rybný potok [10]	24
Obrázek 20 Letecký snímek obou přilehlých mostů ve výstavbě- ze dne 2.9.2006 [6] .	24

Obrázek 21 Lokalizace mostu přes počernické rybníky [10].....	25
Obrázek 22 Pohled na nosnou konstrukci mostů přes počernické rybníky	26
Obrázek 23 Schematický příčný řez vozovkové části MZ typu F450 [4].....	30
Obrázek 24 Geometrie statického modelu MZ typu F450.....	31
Obrázek 25 Výsledky statického modelu MZ typu F450	31
Obrázek 26 Schematický příčný řez vozovkové části MZ typu F530 [4].....	32
Obrázek 27 Geometrie statického modelu MZ typu F530.....	33
Obrázek 28 Výsledky statického modelu MZ typu F530	33
Obrázek 29 Schematický příčný řez vozovkové části MZ typu F240 [4].....	34
Obrázek 30 Geometrie statického modelu MZ typu F240.....	34
Obrázek 31 Výsledky statického modelu MZ typu F240	35
Obrázek 32 Schematický příčný řez vozovkové části MZ typu F300 [4].....	36
Obrázek 33 Geometrie statického modelu MZ typu F300.....	36
Obrázek 34 Výsledky statického modelu MZ typu F300	37
Obrázek 35 Schematický příčný řez vozovkové části MZ typu F320 [4].....	38
Obrázek 36 Geometrie statického modelu MZ typu F320.....	38
Obrázek 37 Výsledky statického modelu MZ typu F320	39
Obrázek 38 Statický model se specifikací tuhostí podpor	40
Obrázek 39 Výsledky statického modelu s výše definovanými pružnými podporami (geometrie odpovídá MZ s typovým označením F450).....	41
Obrázek 40 Výsledky statického modelu MZ typu F450 s tuhými podporami	41
Obrázek 41 Výsledky statického modelu s výše definovanými pružnými podporami (geometrie odpovídá MZ s typovým označením F300).....	42
Obrázek 42 Výsledky statického modelu MZ typu F300 s tuhými podporami	42

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Obrázek 43 Geometrie a rozdělení zatížení MZ typu F240 pro zatížení na únavu.....	45
Obrázek 44 Únavové zatížení na šrouby pro MZ typu F240	46
Obrázek 45 Únavová křivka pro ocel v kontaktu s mořskou vodou [5]	48
Obrázek 46 Zkorodovaný šroub demontovaný po 2 letech provozu na mostě R- 007 ...	49
Obrázek 47 Pokus o demonstraci nerovného povrchu kotevní desky (výškové nerovnosti byly okem zřetelné a dosahovaly cca 3 mm)	51
Obrázek 48 Vystružení otvoru za účelem výměny pouzdra s maticí.....	52
Obrázek 49 Připravené nové pouzdro matice k navaření do kotevního bloku	52
Obrázek 50 Přibližné zalícování svaru pomocí broušení.....	53
Obrázek 51 Vypružení hřebenové desky díky selhání šesti kotevních šroubů [4]	53
Obrázek 52 Potřebné síly pro přilnutí ke kotevní desce, s nerovností $\pm 0,2$ mm.....	54
Tabulka 1 Druhy mostních závěrů dle TP86 [1].....	11
Tabulka 2 Výčet poruch jednotlivých typů hřebenových MZ	27
Tabulka 3 Shrnutí posudků na únosnost	43
Tabulka 4 Hodnoty vyvozených svěrných sil vyvozené dotažením na předepsané utahovací momenty [4] [7].....	50
Tabulka 5 Výpočet časového úseku do poruchy, na základě provozních podmínek.....	56
Graf 1 Znázornění poruchovosti v návaznosti na četnost použití jednotlivých typů MZ	27
Graf 2 Grafické znázornění výsledků posouzení únosnosti	43
Graf 3 Znázornění četnosti poruch v jednom roce.....	56
Graf 4 Porovnání výsledků posouzení na únosnost s počtem poruch po 1 milionu převedených vozidel	57

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Graf 5 Počet převedených TNV za celou dobu provozu.....	58
---	----