

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Vojtěch Čerovský

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh rekonstrukce železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém
úseku Týniště nad Orlicí – Opočno pod Orlickými horami
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pemera
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vojtěch Čeřovský**
Osobní číslo: **D18041**
Studijní program: **B3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní stavitelství**
Téma práce: **Návrh rekonstrukce železničního mostu v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí – Opočno pod Orlickými horami**
Zadávací katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Zásady pro vypracování

Navrhněte rekonstrukci železničního mostu. Součástí práce bude rešerše zaměřená na poruchy ŽB konstrukcí a jejich sanaci; zpracování přehledných výkresů a podrobného statického výpočtu dle doporučení vedoucího práce.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 6200. *Mosty – Terminologie a třídění* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 48 s.

ČSN 73 6201. *Projektování mostních objektů* Praha: Český normalizační institut, 2008, 76 s.

ČSN EN 1990

ČSN EN 1991

ČSN EN 1992

ČSN EN 1993

ČSN EN 1994

A další dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Jiříček, Ph.D.**
Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání bakalářské práce: **26. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2022**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. října 2020

Prohlašuji:

Práci s názvem „Návrh rekonstrukce železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí – Opočno pod Orlickými horami“ jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 17. 5. 2022

Vojtěch Čerovský

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Pavlu Jiříčkovi, Ph. D. za vstřícný přístup, jeho drahocenný čas a cenné rady při zpracovávání bakalářské práce. Získal jsem tak mnoho dalších zkušeností.

Děkuji také svým kolegům ze společnosti Michna&Perháč s.r.o. a Správě železnic za cenné rady, poskytnuté informace a podklady pro vypracování bakalářské práce.

Děkuji také svým přátelům, kvůli kterým jsem vždycky mohl zapomenout na stresující povinnosti spojené se závěrečným ročníkem studia a na chvíli „vypustit“.

Dále bych chtěl poděkovat svojí rodině, a to zejména svým rodičům, kteří ve mě nepřestávali věřit, a to i po tolika klopýtnutích v životě.

Nakonec děkuji svojí úžasné partnerce, která mě držela nad vodou, a to i v těch nejtěžších chvílích.

Ještě jednou Vám všem děkuji.

ANOTACE

Cílem bakalářské práce je navrhnout rekonstrukci železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí – Opočno pod Orlickými horami, zpracování přehledných výkresů a podrobného statického výpočtu. Součástí práce je rešerše zaměřená na poruchy železobetonových konstrukcí a jejich sanací.

KLÍČOVÁ SLOVA

železniční mostní konstrukce, železobetonové konstrukce, vady a poruchy železobetonových konstrukcí, statický výpočet, technické výkresy

TITLE

Reconstruction design of the railway bridge located at 30,458 km of the track section Týniště nad Orlicí – Opočno pod Orlickými horami

ANNOTATION

The bachelor thesis focuses on the reconstruction design of the railway bridge located at 30,458 km of the track section Týniště nad Orlicí – Opočno pod Orlickými horami, making of design drawings and the static analysis. Part of the bachelor thesis is the research focused on reinforced concrete construction failures and their redevelopment.

KEYWORDS

railway bridge constructions, reinforced concrete constructions, flaws and failures of reinforced concrete constructions, static analysis, design drawings

OBSAH

ÚVOD	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
1.1 Vady a poruchy železobetonových konstrukcí.....	11
1.1.1 Vady	12
1.1.2 Poruchy	13
1.2 Příčiny nejčastějších vad a poruch železobetonových konstrukcí.....	14
1.2.1 Chybná koncepce konstrukce.....	14
1.2.2 Chyby plynoucí z konstrukčního řešení	15
1.2.3 Chybné detaily	16
1.2.4 Složení betonu.....	16
1.2.5 Chyby při zpracovávání čerstvého betonu	17
1.3 Vady a poruchy železobetonových konstrukcí vlivem vnějšího prostředí	20
1.3.1 X0 – bez nebezpečí koroze nebo narušení	24
1.3.2 XC – koroze vyvolaná karbonatací betonu	24
1.3.3 XD – koroze vyvolaná chloridy, ne z mořské vody	25
1.3.4 XS – koroze vyvolaná chloridy z mořské vody	26
1.3.5 XF – působení mrazu a rozmrazování s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich	27
1.3.6 XA – chemické působení	28
1.4 Sanace železobetonových konstrukcí.....	29
1.4.1 Technologie sanací.....	30
1.5 Zatížitelnost.....	36
1.6 Přechodnost.....	39
2 PRAKTICKÁ ČÁST.....	42
2.1 Zadání rekonstrukce	42
2.2 Popis stávající mostní konstrukce	42
2.2.1 Půdorys.....	43
2.2.2 Podélný řez/pohled.....	44
2.2.3 Příčný řez	45
2.3 Identifikační údaje stavby	45
2.4 Základní údaje – nový stav	46
2.4.1 Umístění objektu	46
2.4.2 Členění nosných konstrukcí	47

2.4.3	Členění spodní stavby	47
2.4.4	Parametry koleje.....	47
2.4.5	Parametry mostní konstrukce	47
2.4.6	Inženýrské sítě v oblasti objektu	47
2.5	Popis navrhované mostní konstrukce.....	48
2.5.1	Půdorys.....	49
2.5.2	Podélný řez/pohled.....	49
2.5.3	Příčný řez	50
2.6	Rozsah posuzovaných konstrukcí	50
2.7	Výpočetní model konstrukce.....	50
2.8	Použitá literatura v následujících výpočtech.....	51
2.9	Materiály	51
2.10	Návrh betonové krycí vrstvy	53
2.11	Statický výpočet.....	54
2.11.1	Zatížení – stálá zatížení	55
2.11.2	Zatížení – ostatní stálá zatížení	56
2.11.3	Dynamická analýza	57
2.11.4	Zatížení – proměnná zatížení	58
2.11.5	Zatížení – nezapočtené.....	61
2.11.6	Přepočet zatížení na výpočetní model.....	62
2.11.7	Výpočet vnitřních sil	62
2.11.8	Kombinace	65
2.11.9	Návrhové hodnoty vnitřních sil.....	65
2.11.10	Posouzení nosné konstrukce v poli – ohyb	66
2.11.11	Posouzení nosné konstrukce u podpor – smyk.....	68
2.11.12	Zatížitelnost.....	70
	ZÁVĚR	75
	POUŽITÁ LITERATURA.....	76
	SEZNAM TABULEK.....	79
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM ZKRATEK.....	81
	SEZNAM PŘÍLOH	82

ÚVOD

Cílem bakalářské práce je navrhnout rekonstrukci železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí – Opočno pod Orlickými horami. Hlavním úkolem v tomto projektu je návrh nové nosné konstrukce, která bude splňovat požadavek na průběžné kolejové lože, které dosavadní prvková mostovka neumožňuje. Návrh také musí splnit požadavek na zachování spodní stavby.

Bakalářská práce disponuje dvěma částmi, a to částí teoretickou a částí praktickou.

Teoretická část obsahuje především rešerši na vady a poruchy železobetonových konstrukcí, nejčastější příčiny těchto jevů a následnou sanaci. K závěru tato část pojednává o zatížitelnosti a přechodnosti mostních konstrukcí.

Praktická část je zaměřena na popis navržené konstrukce, její přehledné výkresy a statický výpočet v rámci posouzení na mezní stav únosnosti.

1 TEORETICKÁ ČÁST

První kapitola se věnuje problematice poruch železobetonových konstrukcí a jejich sanací. Dále se kapitola zaměřuje na zatížitelnost a přechodnost.

1.1 Vady a poruchy železobetonových konstrukcí

Vznik vad a poruch je nedílnou součástí oboru stavitelství. Přisuzuje se to tomu, že do stavebního procesu vstupuje mnoho subjektů ať už z oddělení projekčního, investorského nebo dodavatelského. Autoři Bilčík a Dohnálek (2003) ve své literatuře poukazují na to, že řada zmiňovaných subjektů nemá dostatečnou kvalifikaci, nebo ani zkušenosti, a tím vnáší do celého stavebního řízení lidský faktor, který má za následek vady a poruchy na stavebním díle. Současně se kladou větší požadavky na projekční a dodavatelskou činnost z hlediska krácení kladených termínových požadavků a subjekty jsou tak pod neustálým tlakem. K tomu neustále roste sortiment stavebních hmot, výrobků a technologií, pro které z výše uvedeného důvodu nezbývá dostatek času na jejich porozumění. Výsledkem však není úbytek vad a poruch oproti minulosti, ale pouze změna dopadu těchto chyb na jednotlivé účastníky výstavby. V oboru stavitelství přehlédnutí detailu nebo i malá chyba představuje velké riziko, které často může vyústit ve velké finanční zatížení, které je pro mnoho menších a středních firem likvidační. Přitom je většina z těchto závad banální a pořád dokola se opakují (viz část 1.2). Kvůli těmto poznatkům se studium analýza vad a poruch staly v podstatě samostatným oborem, který autoři Bilčík a Dohnálek (2003) označují jako „patologie stavebních konstrukcí“. Následkem toho je vytvoření členění vad a poruch, které se dělí ať už podle příčin vzniku, závažnosti jejich následků, nebo konstrukčních prvků, na kterých se nachází (Bilčík a Dohnálek, 2003).

Předcházení vadám a poruchám je ze všech hledisek mnohem výhodnější než jejich následná sanace, celková rekonstrukce, nebo dokonce samotná demolice postižených staveb. Měl by se tudíž klást velký důraz na pochopení a poučení se z chyb z minulosti a seznámit s nimi i odbornou veřejnost. Jen tak lze docílit jejich největší eliminace.

Při posuzování jakýkoliv výrobků, i těch železobetonových, se lze setkat se dvěma hlavními termíny. Těmi jsou „vada“ a „porucha“. Ač se zdají být tyto termíny na první pohled stejné, každý má jiný význam, a proto je důležité je od sebe rozlišovat.

1.1.1 Vady

Pojem „vada“ každý zdroj definuje jiným způsobem:

- „*Věc je vadná, nemá-li vlastnosti stanovené v § 2095 a 2096. Za vadu se považuje i plnění jiné věci. Za vadu se považují i vady v dokladech nutných pro užívání věci.*“ přičemž věci stanovené v § 2095 a 2096 jsou „*předmět koupě v ujednaném množství, jakosti a provedení*“ a „*Při určení jakosti nebo provedení podle smluveného vzorku nebo předlohy musí věc jakostí nebo provedením odpovídat vzorku nebo předloze.*“ (Česko, 2012, § 2099, § 2095, § 2096),
- „*Vada konstrukce – nedostatek konstrukce, který může ovlivnit funkční způsobilost konstrukce.*“ (ČSN 73 0038, 2019, s.6),
- „*Vada konstrukce – jev na konstrukci (vlastnost), který snižuje pod potřebnou míru její spolehlivost ze sledovaného hlediska vůči účinkům zatížení a prostředí, vyplývajícím z jejího účelu při předpokládaném způsobu provozu.*“ (Meloun a Šmerda, 1999, s.15),
- „*Vada – je nepříznivý jev na konstrukci, který nesnižuje míru její spolehlivosti (bezpečnost, použitelnost nebo trvanlivost). Např. nadměrný průhyb stropu nemusí znamenat poruchu, je však vadou (např. estetickou).*“ (Bilčík a Dohnálek, 2003, s.24).

Vady vznikají, když počáteční vlastnosti výrobku nebo konstrukce neodpovídají požadavkům stanovených normou, zákonem, smlouvou apod. Mohou v zásadě vycházet ze čtyř událostí (Bilčík a Dohnálek, 2003):

- **projekční činnost** – chybně navržené třídy betonu a části konstrukcí, nedostatečné průřezy, nedostatečný návrh krycí vrstvy betonu,
- **výrobní činnost** – použití nekvalitních surovin, nedodržení postupu a poměrů surovin,
- **činnost při výstavbě** – nedodržení postupu, dodatečné ředění vodou, nedostatečné hutnění a vibrování, špatné ukládání betonu a jeho následné ošetřování,
- **užívání stavby** – stárnutí, vliv okolního prostředí, nedostatečná údržba, zatížení překračující návrh.

Vady mohou být viditelné nebo skryté. Viditelnými vadami se rozumí na první pohled znatelné nesrovnalosti v konstrukci. Například je to situace, když nosná konstrukce nemá tloušťku 1200 mm, ale pouze 900 mm, nebo ložisko na mostě není všesměrně volné, ale pevné. Naproti tomu vady skryté nejsou vidět pouhým okem a většinou se na ně přijde při provádění terénních nebo laboratorních zkoušek. Jako příklad si lze představit, že nosná konstrukce je zkonstruována z nižší třídy betonu, než tomu je v projektové dokumentaci.

1.1.2 Poruchy

Pojem „porucha“ se analogicky jako pojem „vada“ definuje různými způsoby:

- „*Porucha konstrukce – nepříznivý stav a nepříznivá změna oproti původnímu stavu konstrukce, kdy nejsou splněny požadavky na její funkční způsobilost.*“ (ČSN 73 0038, 2019, s.6),
- „*Porucha konstrukce – projev menší než potřebné odolnosti (odporu) konstrukce ze sledovaného hlediska vůči účinkům působícího zatížení a prostředí (u poruch z hlediska mezních stavů únosnosti a použitelnosti jde o dosažení těchto mezních stavů).*“ (Meloun a Šmerda, 1999, s.15),
- „*Porucha – je částečná nebo úplná ztráta schopnosti prvku nebo konstrukce plnit požadované funkce. Ztráta funkčnosti je spojená s dosažením některého z mezních stavů. Většina poruch má svůj původ ve vzájemném působení několika vad.*“ (Bilčík a Dohnálek, 2003, s.25).

Poruchy se u nosných konstrukcí dělí například podle statického významu (Bilčík a Dohnálek, 2003):

- **Staticky nevýznamné poruchy** – Tyto poruchy sice neohrožují únosnost stavby jako takovou, ale po dlouholetém užívání mohou vést k omezení trvanlivosti a použitelnosti konstrukce. Opravy jsou v tomto případě ve srovnání s ostatními ekonomicky nenáročné a jednoduché.
- **Poruchy ze statického a funkčního hlediska významné** – Na rozdíl od předešlých tyto poruchy už omezují únosnost, společně s použitelností a trvanlivostí stavby. Musí být včas odstraněny.

- **Poruchy staticky velmi vážné** – Jinak se také nazývají „havarijní“ a jak už název napovídá, ohrožují únosnost a stabilitu konstrukce. Musí být neprodleně odstraněny pro zachování bezpečnosti.

Pod pojmem porucha si tedy lze představit například trhliny v betonu, korozi ocelové výztuže a následné odpadnutí krycí vrstvy betonu.

1.2 Příčiny nejčastějších vad a poruch železobetonových konstrukcí

Jak už bylo zmíněno v předešlých částech, vady, které poté přechází v poruchy, se mohou objevovat už v projekční činnosti i výrobě.

Díky zkušenostem nashromážděním za posledních pár desítek let z oboru železobetonových konstrukcí je možné říct, že vady a poruchy se mohou objevovat v celém životním cyklu konstrukce. Vyskytují se už od samotného čerstvého a tuhnoucího betonu, přes beton tvrdnoucí, až po beton zralý. Dle odborné literatury se tyto období rozdělují na tři samostatné celky (Meloun a Šmerda, 1999):

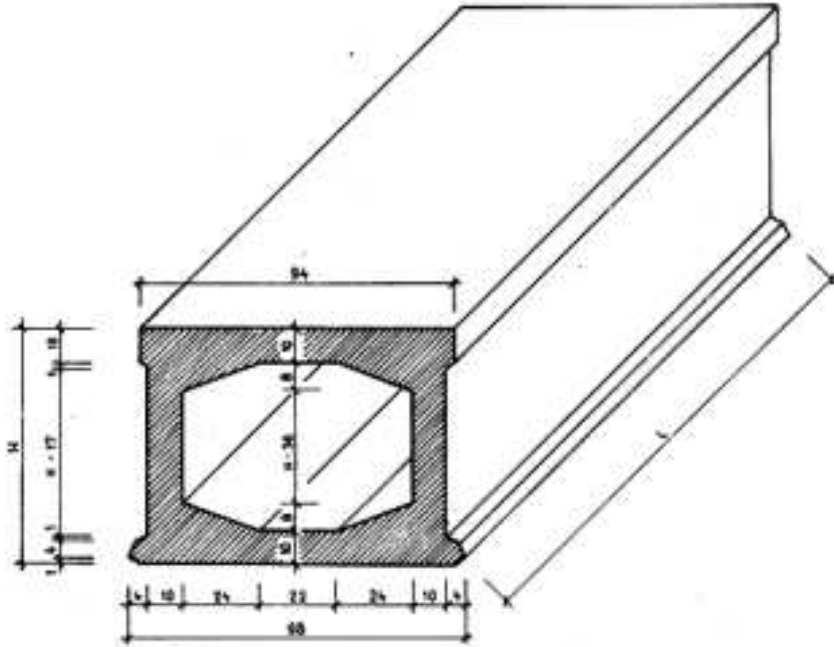
- Období čerstvého a tuhnoucího betonu, kdy je beton ve formě plastické hmoty.
- Období tvrdnoucího betonu, kdy beton teprve získává všechny svoje konstrukčně prospěšné vlastnosti.
- Období zralého betonu, kdy je už beton ve formě pevné se všemi jeho konstrukčními vlastnostmi a může se tedy plně zatížit.

1.2.1 Chybná koncepce konstrukce

Při návrhu nových typů konstrukcí se někdy projektanti soustředí tolik na jejich statické vlastnosti, že tak opomíjí posouzení jejich ostatních vlastností, v tomto případě trvanlivosti.

Jako názorný příklad si lze představit období na začátku 60. let 20. století, kdy zažilo bývalé Československo velký rozmach v používání komůrkových KA nosníků (viz obrázek 1). Tyto prefabrikované nosníky spočívaly ve vylehčení průřezu dutinou („komůrkou“) při zachování vysoké pevnosti a poměrně malé objemové hmotnosti. Pár let užívání však ukázalo, že jejich velkou nevýhodou bylo zatékání vody přes trhliny dovnitř dutin. Voda následně způsobovala nejen urychlení koroze, ale také vytvářela podélné trhliny při objemových změnách po zmrznutí. Jako řešení tohoto problému se nabízelo vyvrtání otvorů o malém poloměru, které kvůli svému rozměru byly v krátkém časovém úseku zaneseny a zneprůchodněny. V návaznosti na to se začaly otvory vrtat větší, přibližně

o poloměru 50 mm, které však také neměly dlouhého trvání. Většina konstrukcí využívající KA nosníky byla následně rekonstruována a nosníky byly nahrazeny jinými (Bilčík a Dohnálek, 2003).

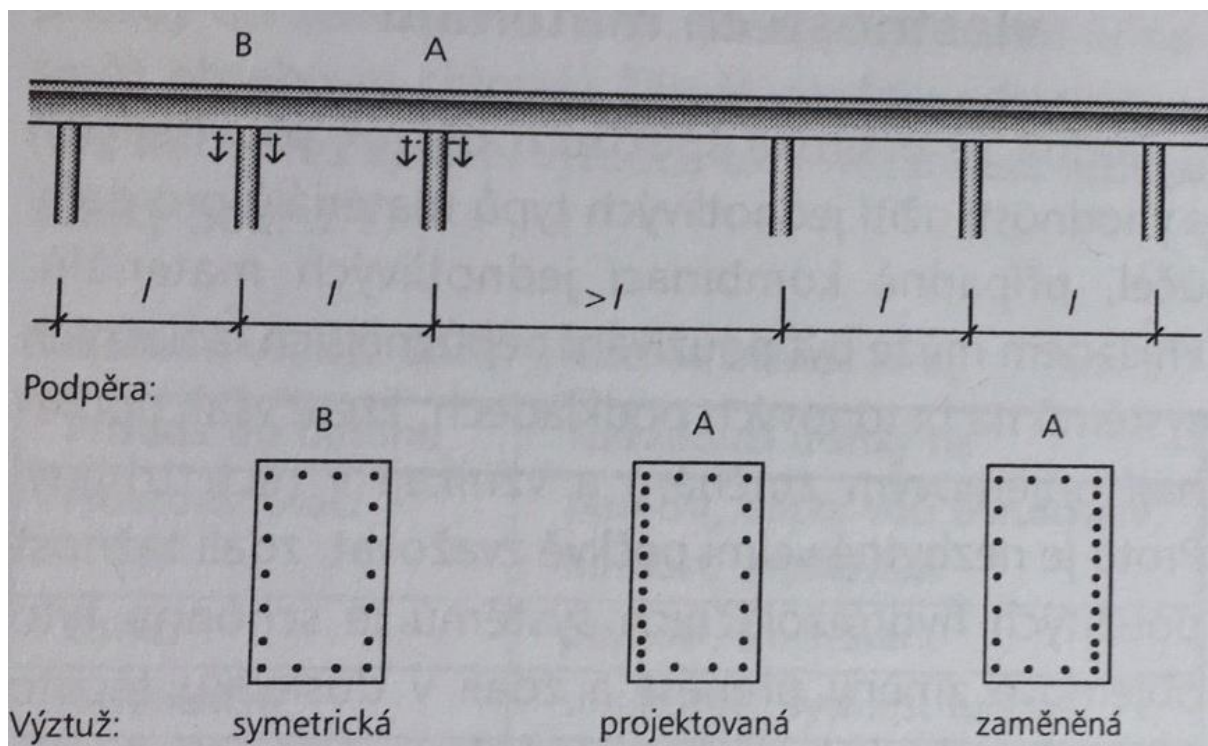


Obrázek 1 Mostní prefabrikát z předpjatého betonu KA-73 (Nečas, 2019, s.10)

1.2.2 Chyby plynoucí z konstrukčního řešení

Tyto chyby plynou už ze samotné projekční činnosti. Stačí, aby projektant navrhl zbytečně složité a nepřehledné konstrukční řešení, a tím zvýšil šanci na chybovost při její realizaci.

Autoři Bilčík a Dohnálek (2003) ve své literatuře uvádí příklad, kdy jako vadu z konstrukčního řešení uvádí záměnu hlavní výztuže podpěry mostu (viz obrázek 2). To může mít za následek zřícení celé konstrukce. Jako řešení se nabízí výrazné označení nesymetrické výztuže ve výkresech, nebo zkrátka navržení symetrické výztuže, a to i přesto, že by byl průřez předdimenzovaný. Druhou možností lze obhájit tím, že i když je návrh méně ekonomicky přívětivý, zamezí se tím záměně výztuže a následným velkým finančním výdajům potřebné k úpravě vybudované konstrukce.



Obrázek 2 Vada vyvolaná složitým konstrukčním návrhem (Pötzl,1996)

1.2.3 Chybné detaily

Chyby tohoto charakteru vznikají jak z činnosti projekční, tak z činnosti realizační. Může se jednat o komplikované systémy odvodnění, kdy je odvodňovací systém zanesen a nemůže tak plnit svoji funkci. Voda vedená z vozovky, která má vysoký obsah chloridů se poté dostane k železobetonovým konstrukčním částem, kde pak zapříčiní následnou korozi výztuže. Ke stejnému případu může dojít i při malých odvodňovacích sklonech nebo špatné hydroizolaci. Častým případem je i špatný návrh železobetonové výztuže v zalomených deskách. Při nesprávném zakotvení nebo nepoužití třmíneků se prostorově ohýbaná výztuž má tendenci vrátit do původní polohy. Vytváří tak radiální příčnou sílu, která má za následek odlupování krycí vrstvy betonu (Bilčík a Dohnálek, 2003).

1.2.4 Složení betonu

V minulosti se beton skládal pouze ze tří složek, jmenovitě z kameniva, vody a cementu. V současnosti jsou ale do betonu přidávány příměsi a přísady pro dosažení požadovaných vlastností betonu, a to jak ve stavu plastickém, tak ve stavu pevném. Výsledný beton pak disponuje lepší zpracovatelností, pevností, mrazuvzdorností apod. Se zdokonalováním vlastností však stoupá i cena samotného betonu. Dle autorů Bilčíka a Dohnálka se ale i navzdory tomu přísady a příměsi dále rozvíjejí a nachází se pro ně široké uplatnění. Zmiňované příměsi a přísady tak lze najít v každém moderním betonu. Při výrobě

betonu neroste však pouze cena, nýbrž i nároky na technologickou kázeň a vědomosti z oblasti technologie betonu. Nesprávné dávkování príměsí a přísad může vést k nežádoucímu výsledku. Pracovníci tak musí dbát na přesné dodržení pracovního postupu stanoveného výrobcem, aby se těmto nepříjemnostem vyhnuli. V zásadě platí, že při zlepšení jedné vlastnosti se zhorší vlastnost jiná (Bilčík a Dohnálek, 2003).

Pro lepší představu je pár těchto vlastností uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1 Nežádoucí účinky príměsí a přísad betonu

Přísada a príměs do betonu	Nežádoucí účinky na
provzdušňovací	pevnost, odolnost vůči obrušování, hutnost, smršťování
těsnicí	pevnost, smršťování
plastifikační	smršťování, rychlost tuhnutí
zpomalující tuhnutí	smršťování, smršťovací trhliny
urychlující tuhnutí	pevnost, smršťování, odolnost vůči mrazu, ochrana proti korozi

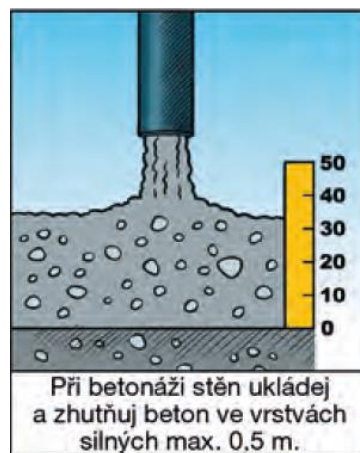
Zdroj: Rybicki (1979, upraveno autorem)

1.2.5 Chyby při zpracovávání čerstvého betonu

Zpracováním čerstvého betonu se má na mysli jeho uložení do bednění, zhutnění a ošetření. Pokud se při těchto úkonech nedodrží základní principy technologií, může dojít k vnesení vady do konstrukce a následné poruše.

Čerstvý beton je do bednění ukládán a dále hutněn po vodorovných vrstvách s pravidelnou tloušťkou. Jedním ze základních principů je, že jednotlivé vrstvy musí být položeny dříve, než předešlá vrstva začne tuhnout. Pokud tento technologický postup není dodržen, musí se s dalším pokládáním počkat na to, až předešlá vrstva dosáhne dostatečné pevnosti a odolá tak otřesům při hutnění betonu. Dalším principem je zamezení rozmísení čerstvého betonu. K takové situaci může dojít, pokud beton padá z velké výšky při pokládání, nebo u hustě vyztužených konstrukcí. Následkem toho můžou být jevy jako například vytvoření šterkových hnízd, průsak vody v pracovních spárách nebo nerovnoměrné vlastnosti betonu. Musí být také dodržen princip minimálního počtu pracovních spár a jejich správného umístění. Pracovní spára vzniká při přerušení betonáže konstrukčního prvku. V tomto místě je konstrukce značně oslabena a je náchylná na tahová a smyková napětí, proto musíme dbát na její správné umístění. Zpravidla jsou umístěny do částí s nejmenším namáháním

konstrukce a kolmo ke směru hlavní výztuže. Další vady čerstvého betonu se pojí s hutněním, které může být nesprávné, nedostatečné, nebo naopak nadměrné. Nejčastěji je hutnění prováděno pomocí ponorných vibrátorů. Ty mají své akční rádiusy, které by se měly překrývat, aby nevznikala nezhutněná místa. Dále by neměly být přikládány blízko k bednění nebo na výztuž. Posledním principem, o kterém bakalářská práce pojednává, je samotné ošetřování čerstvého betonu. Ten musí být chráněn před vnějšími škodlivými vlivy, než dosáhne potřebné pevnosti. Metody ošetřování jsou rozdělovány na dvě skupiny, a to letní a zimní. V létě je cílem ošetřování hlavně zamezení příliš rychlému odpařování záměsové vody, které by mělo za následek velké objemové změny v krátkém časovém úseku a následnou tvorbu trhlin. Toho lze docílit kropením vodou nebo přikrytím fólií. Cílem ošetřování čerstvého betonu v zimě je předejít zamrznutí záměsové vody minimálně do doby, než beton dosáhne pevnosti 5 MPa. Zamrznutí vody by mělo za následek tvorbu trhliny, nebo dokonce praskání a odpadání vrstev betonu. Ošetřování je prováděno ve formě ohřevu betonu, tepelné izolace apod. Názorné příklady lze vidět na obrázku 3 (Bilčík a Dohnálek, 2003).





Nech beton úplně usadit. Vibrátor rychle ponoř.

Vibruj, dokud z betonu unikají velké bubliny vzduchu.

Zhutnění je dostatečné, když se povrch betonu zarovná (vyhladí). Vibrátor vytahuj pomalu.



Zabraň kontaktu vibrátoru s výztuží a bedněním.

Příčina

Trhliny od plastického smršťování vznikají v důsledku rychlého vypařování vody z povrchu betonu.

Prevence

Předcházej tomu použitím ošetřovacího prostředku.

Nebo udržuj povrch betonu mokrý a zakryj ho fólií nebo rohožemi.

Příčina

Trhliny v betonu se objevují, když je teplota betonu vyšší než teplota okolního prostředí.



Obrázek 3 Návod na použití betonu (Všeobecný (základní) návod na použití betonu, 2020)

1.3 Vady a poruchy železobetonových konstrukcí vlivem vnějšího prostředí

§ 8 odst. 1 vyhlášky č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby definuje sedm základních požadavků na stavbu:

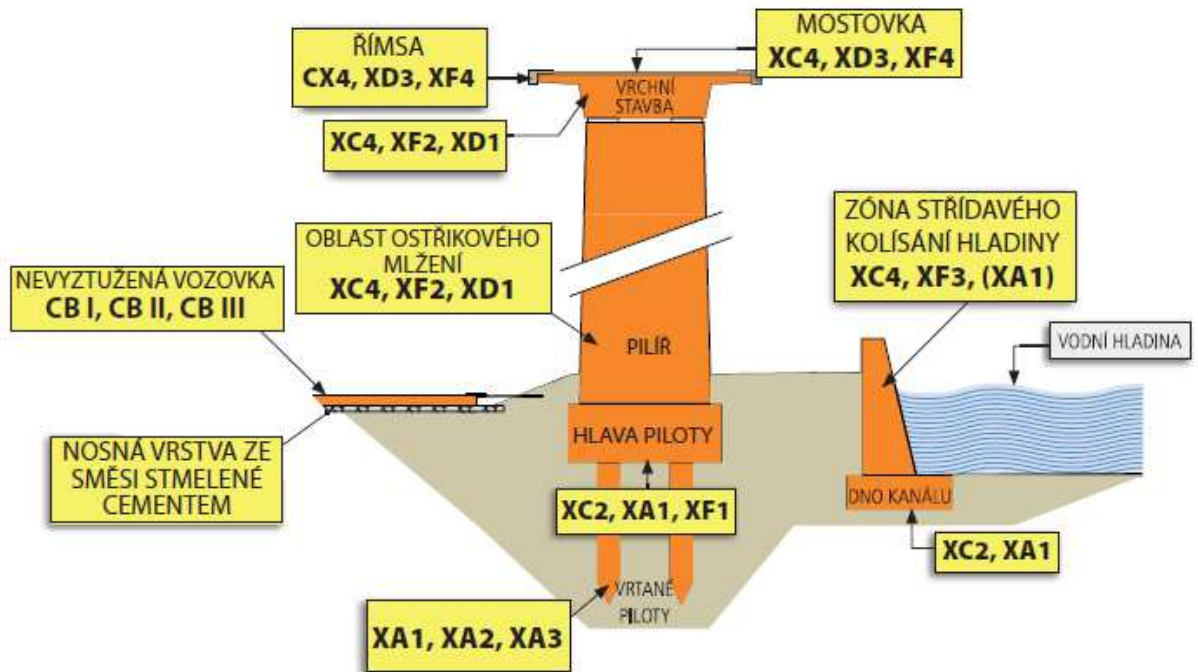
- „mechanická odolnost a stabilita,
- požární bezpečnost,
- ochrana zdraví osob a zvířat, zdravých životních podmínek a životního prostředí,
- ochrana proti hluku,
- bezpečnost při užívání,
- úspora energie a tepelná ochrana“ (Česko, 2009, § 8 odst. 1).

Při návrhu železobetonových konstrukcí v projekční fázi není tedy důležité správně navrhnout použitý beton pro dané části konstrukce pouze z hlediska jeho fyzikálních vlastností (pevnost, modul pružnosti apod.), nýbrž se musí dbát i na vlastnosti dané takzvanými stupni vlivu prostředí. Ty definují namáhání betonu vlivem vnější podmínek podle prostředí, ve kterém se daná část konstrukce nachází, a na základě toho definují potřebné vlastnosti betonu. Evropská norma ČSN EN 206+A2 stupně vlivu prostředí řadí do šesti stupňů:

- bez nebezpečí koroze nebo narušení,
- koroze vlivem karbonatace,
- koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody,
- koroze vlivem chloridů z mořské vody,
- působení mrazu a rozmrazování s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich,

- chemické působení (ČSN EN 206+A2, 2021).

Většina těchto stupňů vlivu prostředí je dále rozdělena na další podstupně dle závažnosti účinků, které lze vidět v tabulce 2 a 3. Jsou zde také uvedena označení pro jednotlivé stupně a pro lepší představu je k nim uveden i modelový příklad výskytu stupně vlivu prostředí. Výskyt těchto stupňů také znázorňuje průvodce betonářskou normou od Svazu výrobců betonu ČR na obrázku 4.



Obrázek 4 Stupně vlivu prostředí u mostní konstrukce (Průvodce betonářskou normou ČSN EN 206+A1 2021, ČSN P 73 2404 2020)

Tabulka 2 Stupně vlivu prostředí

Označení stupně	Popis prostředí	Informativní příklady výskytu stupně vlivu prostředí
1 Bez nebezpečí koroze nebo narušení		
X0	Beton bez výztuže nebo zabudovaných kovových vložek. Všechny vlivy s výjimkou zmrazování a rozmrazování, obrusu nebo chemicky agresivního prostředí. Pro beton s výztuží nebo se zabudovanými kovovými vložkami: Velmi suché	Beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu.
2 Koroze vlivem karbonatace		
Pokud je beton obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky vystaven ovzduší a vlhkosti, pak se stupeň vlivu prostředí určí následovně:		
XC1	Suché nebo stále mokré.	Beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí vzduchu; Beton trvale ponořený ve vodě.
XC2	Mokré, občas suché.	Povrch betonu vystavený dlouhodobému působení vody; Většina základů.
XC3	Středně mokré, vlhké.	Beton uvnitř budov se střední nebo velkou vlhkostí vzduchu; Venkovní beton chráněný proti dešti.
XC4	Střídavě mokré a suché.	Povrchy betonu ve styku s vodou, které nejsou zahrnuty ve stupni vlivu prostředí XC2.
3 Koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody		
Pokud přichází beton, obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky, do styku s vodou obsahující chloridy, včetně rozmrazovacích solí, ze zdrojů jiných než z mořské vody, určí se vliv prostředí následovně:		
XD1	Středně mokré, vlhké.	Povrchy betonů vystavené chloridům rozptýleným ve vzduchu.
XD2	Mokré, občas suché.	Plavecké bazény. Beton vystavený působení průmyslových vod obsahujících chloridy.
XD3	Střídavě mokré a suché.	Části mostů vystavené postřikům obsahujícím chloridy. Vozovky, betonové povrchy parkovišť.

Zdroj: ČSN EN 206+A2 (2021, s. 23)

Tabulka 3 Stupně vlivu prostředí – dokončení

Označení stupně	Popis prostředí	Informativní příklady výskytu stupně vlivu prostředí
4 Koroze vlivem chloridů z mořské vody		
Pokud přichází beton, obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky, do styku s chloridy z mořské vody nebo slaným vzduchem z mořské vody, musí být vliv prostředí určen následovně:		
XS1	Vystaven slanému vzduchu, ale ne v přímém styku s mořskou vodou.	Stavby blízko mořského pobřeží nebo na pobřeží.
XS2	Trvale ponořen ve vodě.	Části staveb v moři.
XS3	Smáčený a ostříkovaný přílivem.	Části staveb v moři.
5 Působení mrazu a rozmrazování s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich		
Pokud je mokřý beton vystaven významnému působení střídavého mrazu a rozmrazování, určí se vliv prostředí následovně:		
XF1	Mírně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků.	Svislé betonové povrchy vystavené dešti a mrazu.
XF2	Mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky.	Svislé betonové povrchy silničních konstrukcí vystavené mrazu a rozmrazovacím prostředkům rozptýleným ve vzduchu.
XF3	Značně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků.	Vodorovné betonové povrchy vystavené dešti a mrazu.
XF4	Značně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou.	Vozovky a mostovky vystavené rozmrazovacím prostředkům. Betonové povrchy vystavené přímému ostříku rozmrazovacími prostředky a mrazu. Omývaná část staveb v moři vystavená mrazu.
6 Chemické působení		
Pokud je beton vystaven chemickému působení rostlé zemině a podzemní vody, určí se vliv prostředí následovně:		
XA1	Slabě agresivní chemické prostředí.	Beton vystavený rostlé zemině a podzemní vodě podle tabulky 2.
XA2	Středně agresivní chemické prostředí.	Beton vystavený rostlé zemině a podzemní vodě podle tabulky 2.
XA3	Vysoce agresivní chemické prostředí.	Beton vystavený rostlé zemině a podzemní vodě podle tabulky 2.

Zdroj: ČSN EN 206+A2 (2021, s. 24)

Pro správný návrh betonu vyhovujícího danému prostředí jsou v citované normě ČSN EN 206+A2 napsané požadavky pro každý výše uvedený stupeň vlivu prostředí. V potaz se berou tyto vlastnosti betonu (viz tabulka 4):

- maximální vodní součinitel w/c ,
- minimální pevnostní třída,
- minimální obsah cementu (kg/m^3),
- minimální obsah vzduchu,
- další jiné požadavky (typ použitého kameniva a cementu) (ČSN EN 206+A2, 2021).

Tabulka 4 Požadavky na betony vzhledem ke stupňům vlivu prostředí

	Stupně vlivu prostředí																	
	Bez nebezpečí koroze nebo narušení	Koroze způsobená karbonatací				Koroze způsobená chloridy						Působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí		
		Z mořské vody		Jiné chloridy než z mořské vody				XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3				
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS 1	XS2	XS3								XD1	XD2	XD3	
Maximální vodní součinitel w/c ^a	–	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Minimální pevnostní třída	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Minimální obsah cementu ^b (kg/m ³)	–	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Minimální obsah vzduchu (%)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	–	–	–
Jiné požadavky	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	kamenivo podle EN 12620 s dostatečnou mrazuvzdorností				–	síranovzdorný cement ^c	

^a Pokud není beton provzdušněn mají se vlastnosti betonu zkoušet podle příslušné zkušební metody ve srovnání s betonem, u kterého byla prokázána odolnost proti mrazu a rozmrazování (mrazovým cyklům), pro příslušný stupeň vlivu prostředí.
^b Pokud množství síranů vyvolává stupeň vlivu prostředí XA2 a XA3, je nezbytné použít síranovzdorný cement podle EN 197-1 nebo příslušné národní normy.
^c Pokud se používá koncepce *K*-hodnoty, pak se maximální w/c upraví podle 5.2.5.2.

Zdroj: ČSN EN 206+A2 (2021, s. 74)

1.3.1 X0 – bez nebezpečí koroze nebo narušení

Tento stupeň vlivu prostředí je pro konstrukce nejméně škodlivý. Jedná se zejména o části konstrukcí, které jsou:

- Bez výztuže nebo bez zabetonovaného kovu, u kterých mohou působit všechny vlivy prostředí až na rozmrazování, zmrazování, obrušování a chemické zatížení.
- S výztuží nebo zabetonovaným kovem, u kterých je okolí konstrukce velmi suché bez dalších negativních vlivů.

Tyto betony se nachází například v interiéru budov splňující výše uvedené podmínky, a tudíž u nich není riziko koroze výztuže (ČSN EN 206+A2, 2021).

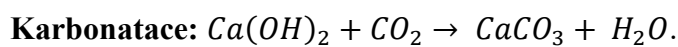
1.3.2 XC – koroze vyvolaná karbonatací betonu

Stupeň vlivu prostředí XC je u mostních konstrukcí nejčastější (viz obrázek 4). Vyskytuje se u většiny (pokud nejsou velmi dobré podmínky) železobetonových a předpjatých konstrukcí. Je to dáno hlavním mechanismem porušení – karbonatací betonu a následnou korozi výztuže. Korozi výztuže se dá zabránit dostatečnou krycí vrstvou betonu.

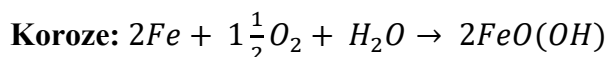
Při zabetonování železobetonové výztuže dojde k chemické reakci mezi betonem a výztuží. Kolem výztuže se vytvoří několik nanometrů tenká vrstva oxidů železa,

které značíme FOOH. Vrstva zabraňuje pronikání vody a kyslíku k výztuži a chrání ji před korozi. Je stabilní do té doby, dokud je její okolí zásadité s hodnotou pH vyšší jak 11,5. Takto zásadité prostředí zajistí hydroxid vápenatý Ca(OH)_2 , který vzniká při hydrataci betonu. Ten se vyskytuje v kapalně fázi s pH 13 a vyplňuje kapiláry a póry v cementové pastě. Popisovaná vlastnost konstrukce se označuje jako **pasivace** výztuže (Collepari, 2009).

Vlivem okolního prostředí se však tento stav může změnit. Krycí vrstvou betonu začne pronikat oxid uhličitý CO_2 , který reaguje se zmiňovaným hydroxidem vápenatým a dochází k takzvané **karbonataci** betonu, kdy vzniká uhličitan vápenatý CaCO_3 a voda H_2O (Collepari, 2009).



Neutralizace Ca(OH)_2 má za následek pokles pH v betonu na hodnotu 9 a tak nastává **depasivace** výztuže. Ochranná vrstva oxidů železa je odstraněna a výztuž je vystavena účinkům vody a kyslíku. Následně výztuž koroduje, vytváří se pravidelná vrstva rzi, přičemž oxidy vzniklé korozi mají až 7krát větší objem než železo, a tak krycí vrstva výztuže praská, nebo dokonce odpadá. Tím se železo dostává do přímého kontaktu se vzduchem a koroze se ještě více zhoršuje (Collepari, 2009).



Hlavními negativními činiteli jsou v tomto případě voda a kyslík. Sama karbonatace není nebezpečná, protože pouze způsobuje náchylnost železobetonové výztuže k výše zmíněným prvkům. Pokud se tedy konstrukce nachází buď v suchém prostředí, nebo pod vodou, výztuž nemůže být ve styku současně s kyslíkem a vodou a koroze tudíž neprobíhá (Collepari, 2009).

1.3.3 XD – koroze vyvolaná chloridy, ne z mořské vody

První typ koroze vyvolaný chloridy, tedy bez přítomnosti mořské vody, je na rozdíl od druhého typu v České republice velmi běžný. Nejvíce náchylné jsou budovy ve střídavě mokřím a suchém prostředí.

Chloridy narušující beton se vyskytují ve třech podobách. Prvním a nejběžnějším výskytem chloridů je výskyt v betonu samotném. Obsah chloridů je regulován normou

ČSN EN 206+A2, která stanovuje dovolené hodnoty vyjádřené procentním podílem chloridových iontů k celkové hmotnosti cementu (viz tabulka 5).

Tabulka 5 Maximální obsah chloridů v betonu

Použití betonu	Obsah chloridů kategorie ^a	Maximální obsah Cl ⁻ k hmotnosti cementu ^b %
Prostý beton nebo beton neobsahující jiné kovové vložky, s výjimkou korozivzdorných závěsných prvků	Cl 1,0	1,0
Beton s ocelovou výztuží nebo jinými kovovými vložkami	Cl 0,2	0,20
	Cl 0,4 ^c	0,40
Beton s předpjatou ocelovou výztuží v přímém kontaktu s betonem	Cl 0,1	0,10
	Cl 0,2	0,20

^a Pro specifické použití betonu závisí použitá kategorie na ustanoveních platných v místě použití betonu.
^b Pokud se do betonu používají příměsi, které se započítávají do obsahu cementu, pak se obsah chloridových iontů vyjadřuje jako procentní podíl chloridových iontů k hmotnosti cementu plus celkové hmotnosti příměsí, které se do cementu započítávají.
^c Předpisy platné v místě použití mohou povolovat jiné kategorie obsahu chloridů pro betony s cementy CEM III.

Zdroj: ČSN EN 206+A2 (2021, s. 34)

Druhým výskytem chloridů je výskyt v průmyslových, ale i v přírodních vodách (v tomto případě vyjma mořské vody). Třetí případ se vyskytuje hlavně u dopravních staveb, a to v chemických rozmrazovacích prostředcích, které jsou nanášeny na pozemní komunikace v zimních obdobích.

Porušování betonu vlivem chloridů, které nejsou v mořské vodě, je stejné, jako při porušování chloridy z mořské vody. Tento princip bude proto popsán v další části bakalářské práce (viz část 1.3.4).

1.3.4 XS – koroze vyvolaná chloridy z mořské vody

Jak už název napovídá, druhý typ koroze vyvolaný chloridy je za přítomnosti mořské vody. Jedná se o stavby v blízkosti mořského pobřeží a stavby střídavě pod a nad mořskou hladinou. Tento typ koroze se vyskytuje pouze v přímořských státech, a proto se na něho v České republice neklade velký důraz.

Princip koroze vyvolané chloridy

Koroze betonu vlivem chloridů může být zapříčiněna dvěma mechanismy. Prvním mechanismem je vznik takzvané Friedlovy soli $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot Cl_2 \cdot 10H_2O$, která vzniká při reakci mezi chloridy a cementovou maticí C_3A . Následuje chemická reakce sloučeniny C_4AF

a tvorba dalších sloučenin podobných Friedlově soli. Druhým mechanismem porušování betonu je důsledek kapilárního jevu, kdy se do pórů cementového kamene dostávají roztoky solí. Z těchto roztoků se postupně vypařuje voda, to má za následek další nasávání těchto roztoků, zvyšování koncentrace solí v přítomných roztocích až do vzniku nasycených roztoků a počátku krystalizace. Vzniklé krystaly chloridů uvnitř pórů způsobují tahová napětí ve struktuře betonu, a to má za následek konečné rozrušení betonu (Balonis et al. 2010, Bamforth 2014, Petersen 1993).

Chloridy mohou způsobovat i korozi samotné ocelové výztuže za podmínky, že je v kontaktu s kyslíkem a vodou stejně jako u koroze způsobené karbonatácí. K ní dochází při depasivaci výztuže, která byla vysvětlena v části 1.3.2 ve spojení s karbonatácí betonu. Hlavním rozdílem mezi korozi způsobenou CO_2 a ionty Cl je pravidelnost hloubky zkorodované vrstvy. Při korozi vlivem CO_2 vzniká pravidelná vrstva rzi, zatímco při korozi vlivem iontů Cl je zkorodovaná vrstva výrazně nepravidelná s výskytem hlubokých porušení výztuže. Tento jev se označuje jako **bodová koroze výztuže** (Colleparidi, 2009).

1.3.5 XF – působení mrazu a rozmrazování s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich

Konstrukce, které jsou vystaveny působení vody, vlhkosti a zároveň mrazovým cyklům, musí těmto zatížením odolávat. Hlavním ukazatelem této „odolnosti“ betonu je jeho mrazuvzdornost. Ta je závislá na objemu vody v pórech betonu, počtu mrazových cyklů a intenzitě teplotních poklesů. Některé zmiňované parametry můžeme přímo ovlivnit. Je tomu tak u objemu vody v pórech. Záměsová voda je jedním ze základních složek betonu a to, kolik jí je do betonové směsi přimícháno, je regulováno takzvaným vodním součinitelem. Ten udává podíl vody ku cementu. Vodní součinitel by dle ČSN EN 206+A2 (viz tabulka 4) neměl u konstrukcí vystavené tomuto stupni vlivu prostředí v nejméně příznivých podmínkách převyšovat hodnotu 0,45. Voda se však nevyskytuje v betonu pouze díky výrobě. Beton je porézní materiál, který může kapilárně absorbovat vodu z okolního prostředí, a to jak v její kapalně fázi (déšť, kondenzace, vodoteč), tak i v její plynné fázi (vodní páry). Musí se tak zajistit co možná nejmenší kapilární absorpce betonu, aby se zamezilo „vsakování“ okolní vody do jeho pórů. To zajišťují impregnační hydrofobní nátěry a postřiky, které vodu odpuzují. Musí být na druhou stranu však dostatečně propustné, aby umožnili vysychání betonu. Mrazuvzdornost se také dá ovlivnit provzdušněním betonu. Uměle se tak vytvoří

póry, které umožní vodě obsažené v betonu volnou objemovou změnu při přeměně kapalné fáze v led (Bilčík a Dohnálek, 2003).

Rozlišují se dva způsoby poškozování betonu vlivem působení mrazu a rozmrazování. Jeden z nich se děje pouze za podmínky přítomnosti vody a nízkých teplot, k druhému z nich jsou ještě potřeba chemické rozmrazovací prostředky.

První způsob je založen pouze na principu objemových změn vody při přeměně v led. Pokud beton není ošetřen výše zmiňovanými způsoby, mrznoucí voda v pórech vyvolá v betonu příliš velká tahová napětí, která beton doslova roztrhají. K druhému způsobu ještě přispívá účinek chemických rozmrazovacích prostředků. Důvod používání těchto posypových solí na pozemních komunikacích a mostech je, že umožňují tání sněhu a ledu za nepříznivých teplotních podmínek pro tento jev. K tomu se spotřebovává velké množství tepla (334 kJ/1 kg ledu). Potřebné teplo se neodebírá pouze z okolního vzduchu, ale i z okolního betonu. Uvádí se, že u takovýchto betonů teplota klesá rychlostí až 14 °C/min a dochází tak k **teplotnímu šoku**. Ten má za následek rychlé zamrzání vody v pórech a následnou korozi a odpadávání vrchní vrstev betonu. Posypové soli dále způsobují chloridovou korozi betonu (viz části 1.3.3 a 1.3.4) (Bilčík a Dohnálek, 2003).

1.3.6 XA – chemické působení

Chemickou korozi autoři Dobrý a Palek rozdělují na tři třídy podle typu chemismu a povahy děje, který probíhá mezi součástmi betonu a agresivní reaktivní složkou (Dobrý a Palek, 1988):

- **Koroze I. druhu** je spojována hlavně s takzvanými **hladovými vodami** (srážkové vody, zkondenzované vodní páry). Jsou to vody s velmi malou koncentrací $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pokud je tato koncentrace podlimitní, ve styku s betonem pak zapříčiní rozpouštění složek cementové matrice a jejich následné vyplavování. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ obsažený v cementové matrici je totiž dobře rozpustný ve vodě, dle autorů Dobrého a Palka je to přibližně 1,7 g/l, a proto může být snadno vyluhován. Účinek hladových vod na konstrukce se ještě více zvyšuje, pokud se jedná o vodu proudící, jelikož se voda v okolí betonu stále obměňuje. Výsledkem těchto jevů je snižování pevnosti betonu vlivem poklesu kvality pórové struktury. Dle autorů Bilčíka a Dohnálka se dá zvýšit odolnost betonu vůči korozi I. druhu, a to přidáním puzolánických nebo latentně hydraulických příměsí (Dobrý a Palek 1988, Bilčík a Dohnálek, 2003).
- **Koroze II. druhu**, při které vznikají snadno rozpustné sloučeniny, se dělí na dva typy. Prvním typ koroze je způsoben kyselinami a vznikem rozpustných solí. Tyto látky

mají za následek rychlou degradaci betonu, vyrobeného z jakéhokoliv druhu cementu. Druhý typ koroze je také nazýván jako uhličitá koroze a je způsoben agresivním CO₂. Vyšší odolnosti betonu proti tomuto typu dosáhneme použitím struskoportlandského nebo puzolánového cementu (Bilčík a Dohnálek, 2003).

- **Koroze III. druhu** je zapříčiněna tvorbou a hromaděním reakčních produktů v pórech betonu. Při reakci s agresivním prostředím avizované produkty zvětšují jejich objem. To vyvolává velká napětí v pórech a porušuje betonové struktury. Velká nevýhoda oproti předchozím korozím je podle autorů Bilčíka a Dohnálka v tom, že často nelze rozeznat začínající korozi III. druhu. Je to proto, že prvky vznikajících sloučenin strukturu betonu nejdříve zhutňují a pevnost betonu tak neklesá. Typickým příkladem koroze III. druhu je **alkalicko-křemičitá reakce (ASR)**. K ASR dojde, pokud má kamenivo speciální formu křemene – siliky, který je schopen reagovat s alkáliemi. Alkálie, v tomto případě sodík a draslík, jsou obsaženy v cementu, v urychlovačích tvrdnutí (křemičitan sodný), nebo také v posypových solích (chlorid sodný). Při reakci kameniva s alkáliemi vzniká tmavě zabarvený gel, který později tvrdne. Vznikají trhliny, ty se dále rozšiřují a odhaluje se výztuž. ASR vytváří na povrchu specifické sítě trhlín s bělavými výkvěty. Dle autora Collepariho je pro prevenci ASR důležité nepoužívat reaktivní kamenivo, nepoužívat cementy s vysokým obsahem alkálií, udržovat konstrukci suchou, používat inhibitory ASR a používat struskové, pucolánové nebo směsné cementy (Bilčík a Dohnálek 2003, Collepari 2009).

1.4 Sanace železobetonových konstrukcí

Jelikož se bakalářská práce zabývá železničním mostem, informace jsou čerpány především z Technických kvalitativních podmínek staveb státních drah (TKP 23). Tento zdroj však není v rozporu se souvisejícími dokumenty, jako jsou Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací kapitola 31 (TKP 31) a ČSN EN 1504.

Sanační práce se realizují na stavebních konstrukcích, na kterých byla provedena prohlídka nebo průzkum, při kterých bylo zjištěno, že konstrukce vykazuje známky degradace betonu a koroze výztuže. Hlavní cíle těchto prací dle TKP 23 se dají shrnout do několika bodů:

- obnovení statické funkčnosti u konstrukčních částí, ale stejně tak i u degradovaných vrstev konstrukce,
- zajištění celistvosti konstrukčních částí, které byly poškozeny trhlinami,
- navrátit konstrukci schopnost odolávat působení vody,

- eliminovat další postup korozních procesů na výztuži,
- navrátit konstrukci její původního rozměry a vzhled (Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, 2006).

U sanovaných konstrukcí se musí posoudit jejich zbytková životnost a efekt plánovaných sanačních zásahů. Tato posouzení u některých z nich mohou prokázat, že i po provedení sanačních prací se funkční parametry konstrukce plně neobnoví. V takovýchto případech se v úvodním rozhodovacím procesu musí posoudit, jestli jsou sanační práce efektivním řešením, nebo jestli by nebyla výstavba nové konstrukce výhodnějším řešením (Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, 2006).

Sanaci železobetonových konstrukcí TKP 23 rozděluje do čtyř kategorií podle požadavků a cílů sanačních prací:

- Preventivní práce mají za cíl předčasně prodloužit životnost konstrukce. Provádí se v předstihu ještě na staticky vyhovujících a korozně nepoškozených konstrukcích. To má za následek ušetření finálních sanačních nákladů, jelikož sanační práce nejsou ještě tak velkých rozsahů.
- Ochrany a opravy konstrukce, se kterými se sice také spojuje prodlužování životnosti, ale jejich hlavní cíl je obnova estetického vzhledu konstrukce.
- Sanační práce prováděné na poškozených konstrukcích koroze, které jsou ale pořád staticky vyhovující. Cílem těchto prací je zejména eliminace dalšího postupu korozních procesů. S těmito pracemi se pojí i další jako například obnova estetického vzhledu atd.
- Sanační práce prováděné na poškozených konstrukcích koroze, které už jsou na hranici životnosti a statické bezpečnosti. Tyto práce zahrnují například zesílení nosné konstrukce, přidání nové výztuže atd. (Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, 2006).

1.4.1 Technologie sanací

Sanační práce se skládají z několika technologických postupů:

- předúprava betonu (očistění povrchu, odstranění degradovaného betonu a odhalení výztuže),
- úprava povrchu výztuže a procesy na její ochranu proti korozi (očistění zkorodované výztuže, ochranné nátěry proti korozi),
- reprofilace betonu (adhezní můstek, reprofilace do původního tvaru),
- ochrana povrchu betonu před další degradací,

- injektáž (Bilčík a Dohnálek 2003, Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah 2006).

Předúprava betonu

První fáze sanací je rozrušení a odstranění degradovaných částí betonu, nebo povrchových částí betonu, na kterých se nachází nežádoucí látky (např. korozní zplodiny výztuže). Avizovaný proces „otevřít“ strukturu betonu tak, že jsou poté patrné větší vzduchové póry i jednotlivá zrna hrubého a drobného kameniva. Na odhalené struktuře betonu se dále provádí odtrhové zkoušky, které zjišťují, jestli daný betonový podklad dosahuje pevnosti 1,5 MPa v tahu. Pokud zkoušky vyhoví, betonový podklad je připraven a v budoucnu zajistí dobré zakotvení reprofilačních vrstev (Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, 2006).

Používané technologie předúpravy betonu uvedené v TKP 23 lze vidět v tabulce 6.

Tabulka 6 Přehled technologií předúprav betonu a frekvence jejich použití

	Zásada a její definice	Typ metody	Frekvence použití	
			Časté	Méně časté
Beton	Hrubé rozrušení a destrukce hmoty betonu	Rozrušování pomocí technologie VVP		x
		Rozrušování betonu pomocí expanzních směsí	x	
		Rozrušování betonu pomocí bouracích kladiv, klínů a hydraulických kleští	x	
	Jemné rozrušení a destrukce hmoty betonu	Rozrušování mechanické (lehká bourací kladiva)	x	
		Řezání diamantovými nástroji	x	
		Rozrušování betonu rotačními nástroji (broušení)	x	
		Pneumatické pemrlování jehlovými pistolemi	x	
		Tryskání abrazivem (pískování)	x	
		Brokování	x	
		Termický ohřev		x
		Tryskání a řezání pomocí technologie VVP	x	

VVP - vysokotlaký vodní paprsek

Zdroj: Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah (2006, s. 15)

Úprava povrchu výztuže a procesy na její ochranu proti korozi

Cílem druhé fáze sanací je důkladné odstranění nesoudržných korozních vrstev na železobetonové výztuži a její očištění až do úrovně tzv. „stříbřitého lesku“ se stupněm

Sa 2 ½ (viz tabulka 7). V některých případech celoplošné čištění do „stříbřitého lesku“ není možné. Výztuž, která je zbavena korozních zplodin, je ihned opatřena protikorozním nátěrem. (Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, 2006).

Tabulka 7 Stupně otryskání

Sa 1	Lehké otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, málo přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek (viz poznámku 1 k 3.1). Viz fotografie B Sa 1, C Sa 1 a D Sa 1.
Sa 2	Důkladné otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, bez většiny okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé nečistoty musí být pevně přilnavé (viz poznámku 2 k 3.1). Viz fotografie B Sa 2, C Sa 2 a D Sa 2.
Sa 2½	Velmi důkladné otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí vykazovat pouze lehké zabarvení ve formě skvrn nebo pruhů. Viz fotografie A Sa 2½, B Sa 2½, C Sa 2½ a D Sa 2½.
Sa 3	Otryskání až na vizuálně čistý ocelový povrch	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled. Viz fotografie A Sa 3, B Sa 3, C Sa 3 a D Sa 3.

Zdroj: ČSN EN ISO 8501-1 (2007, s. 8)

Používané technologie úpravy povrchu výztuže uvedené v TKP 23 lze vidět v tabulce 8.

Tabulka 8 Přehled technologií úprav povrchu výztuže a frekvence jejich použití

	<i>Zásada a její definice</i>	<i>Typ metody</i>	<i>Frekvence použití</i>	
			<i>Časté</i>	<i>Méně časté</i>
<i>Výztuž</i>	<i>Čištění výztuže</i>	Čištění stlačeným vzduchem s abrazivem (např. pískování)		x
		Čištění pomocí technologie vysokotlakého vodního paprsku s přidáním abraziva	x	
		Pneumatické pemrlování jehlovými pistolemi	x	
		Kartáčování mechanickým drátěným kartáčem	x	

Zdroj: Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah (2006, s. 17)

Další technologie dle ČSN EN 1504-9 a TKP 23, které zajišťují ochranu proti korozi, lze vidět v tabulce 9. Jedná se o technologie, které chrání nebo obnovují pasivaci výztuže, anebo zabraňují elektrochemické reakci.

Tabulka 9 Přehled technologií sanace výztuže a frekvence jejich použití

Zásada č.	Zásada a její definice	Typ metody	Frekvence použití	
			Časté	Méně časté
1	<i>Ochrana nebo obnovení pasivace</i>	Zvětšení tloušťky krycí vrstvy výztuže dodatečně nanesenou správkovou maltou nebo betonem	x	
		Náhrada kontaminovaného nebo karbonatovaného betonu	x	
		Elektrochemická realkalizace karbonatovaného betonu		x
		Realkalizace karbonatovaného betonu difúzí		x
		Elektrochemické odstranění chloridu		x
2	<i>Zvýšení elektrického odporu</i>	Omezení obsahu vlhkosti povrchovou ochranou, nátěry nebo zakrytím	x	
3	<i>Úprava katodické oblasti</i>	Omezení obsahu kyslíku (na katodě) impregnační nebo povrchovým povlakem		x
4	<i>Katodická ochrana</i>	Aplikace elektrického potenciálu		x
5	<i>Úprava anodické oblasti</i>	Nátěry výztuže látkami, obsahujícími aktivní pigmenty	x	
		Nátěry výztuže bariérovými povlaky	x	
		Přidání inhibitorů	x	

Zdroj: Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah (2006, s. 18), ČSN EN 1504-9 (2009, s. 13)

Reprofilace betonu

Jak bylo avizováno v části „Předúprava betonu“, podkladní beton musí mít pevnost v tahu alespoň 1,5 MPa. Pokud daný podklad nevyhovuje, musí se vytvořit tzv. adhezni můstek, který se zakotví do podkladu a poskytuje dobrou přilnavost pro nové sanační vrstvy. Pokud to podmínky dovolují, tomuto kroku je výhodnější se vyhnout a zajistit soudržnost podkladu a nové sanační vrstvy pomocí kvalitní předúpravy betonu (Bilčík a Dohnálek 2003, Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah 2006).

Cílem reprofilace betonu je obnovení původního tvaru konstrukce nebo zesílení její krycí vrstvy betonu chránící výztuž. TKP 23 rozdělují technologické postupy pro reprofilaci dle použitého materiálu na:

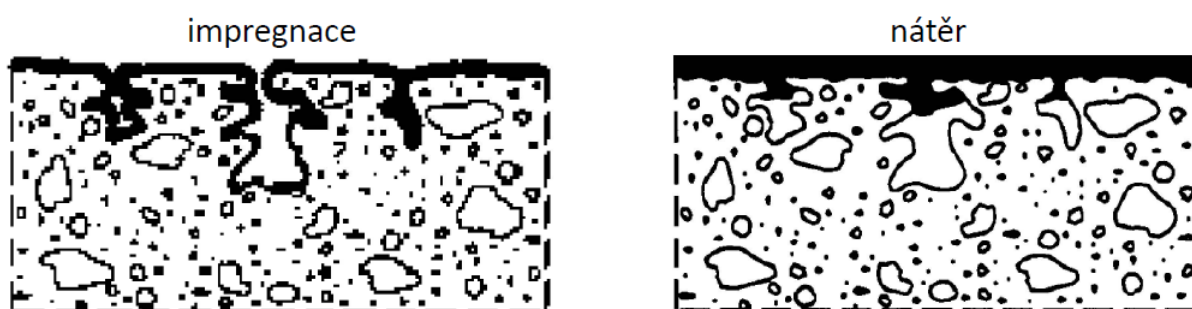
- **Reprofilace maltovými vrstvami**, které se nanášejí ručně, anebo se strojně stříkají.

- **Reprofilace dobetonováním**, která se provádí pěchováním, dobetonováním plného průřezu, anebo čerpání betonové směsi přímo do bednění (Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, 2006).

Použité malty a betony musí splňovat požadovanou přídržnost k podkladu, vodotěsnost, mrazuvzdornost a minimální objemové změny vlivem změny teploty a vlhkosti. To, jaký materiál se použije, závisí na tloušťce vytvářené vrstvy. V zásadě platí, že rozměry největšího zrna kameniva by neměly převyšovat 1/3 tloušťky nanášené sanační vrstvy (Bilčík a Dohnálek, 2003).

Ochrana povrchu betonu před další degradací

V této fázi sanací se upravuje povrch betonu tak, aby odolával okolnímu prostředí. Tato schopnost závisí zejména na nepropustnosti povrchových vrstev betonu. Nepropustností disponují hlavně hutné betony. Pokud je ale u betonu tato vlastnost nedostačující, musí se náležitě ošetřit povrchovými úpravami. Rozlišují se dvě hlavní metody úprav povrchu, kterými jsou impregnace a nátěr. Pro impregnaci se používají impregnační materiály, které pronikají do povrchových vrstev a vytvářejí tak neměřitelnou ochrannou vrstvu povrchu. Nátěr se liší tím, že naopak vytváří souvislou ochrannou a měřitelnou vrstvu na povrchu betonu (Bilčík a Dohnálek 2003, Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah 2006).



Obrázek 5 Impregnace a nátěr (ČSN EN 1504-2, 2006, s. 14-15)

Materiály obou metod musí být odolné vůči klimatickým podmínkám a UV záření. V tomto je impregnace výhodnější, protože jak lze vidět na obrázku 5, impregnační materiál je uvnitř betonu, a tak je chráněn před přímým vlivem ovzduší, mechanického poškození a UV záření (Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, 2006).

Další používané technologie pro ochranu povrchu betonu lze vidět v tabulce 10.

Tabulka 10 Přehled technologií pro ochranu povrchu betonu

Zásada č.	Zásada a její definice	Typ metody	Frekvence použití	
			Časté	Méně časté
1	Ochrana proti vnikání Omezení nebo zabránění průniku škodlivých činitelů (např. vody, jiných kapalin, páry, plynu, chemikálií a biologických látek).	Impregnace	x	
		Povrchová ochrana	x	
		Místní bandážování trhlin	x	
		Povrchové úpravy	x	
		Výplň trhlin	x	
2	Ovlivňování vlhkosti Nastavení a udržování obsahu vlhkosti v betonu v daných mezích	Impregnace	x	
		Povrchová ochrana	x	
		Stínění a opláštění	x	
		Elektrochemická ochrana		x

Zdroj: Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah (2006, s. 23), ČSN EN 1504-9 (2009, s. 13)

Injektáž

Injektáž se použije v případě, kdy se v konstrukci nachází jinak nepřístupné trhliny a dutiny. Jejím principem je tlakové vhnání injektážní směsi do těchto otvorů. Výsledkem je pak vyplnění a utěsnění otvorů společně s celkovým zpevněním konstrukce. Trhliny, které se injektují, rozlišuje TKP 23 na dva typy:

- **Povrchové trhliny** jejichž rozsah se uvádí od krycí vrstvy betonu do úrovně nosné nebo konstrukční výztuže.
- **Štěpné trhliny**, které na rozdíl od výše zmíněných zasahují i do hlubších podpovrchových částí konstrukce, nebo dokonce procházejí průřezem v celé tloušťce (Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah 2006).

Injektáží trhlin se dle TKP 23 docílí:

- Zacelení trhlin a odstranění netěsností, které následně omezí nebo zabrání vniknutí agresivních látek do konstrukce.
- Převzetí tahového namáhání injektážní směsí v okolí trhliny.
- Vzájemný omezený pohybu v okolí trhliny v důsledku jejího zacelení (Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah 2006).

TKP 23 uvádí dva hlavní materiály vhodné pro injektáž. Jedná se o epoxidovou a polyuretanovou pryskyřici. Epoxidová pryskyřice se používá v případech, kdy je potřeba utěsnit trhliny namáhané silou. Dokáže totiž přenášet silová zatížení. Naproti tomu pryskyřice polyuretanová se používá pouze pro utěsnění trhliny a umožňuje tak částečnou dilataci protilehlých okrajů trhliny (Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, 2006).

Případy použití jednotlivých pryskyřic jsou vidět v tabulce 11.

Tabulka 11 Případy použití výplňových materiálů

Cíl použití	Vlhkost trhlín/okrajů trhlín			
	suché	vlhké	Trhliny, které vedou vodu	
			"bez tlaku"	"pod tlakem"
<i>Uzavření</i>	EP-T EP-I PUR-I	EP-T ^x EP-I ^x PUR-I	PUR-I	PUR-I ^x
<i>Utěsnění</i>	EP-I PUR-I	EP-I ^x PUR-I	PUR-I	PUR-I ^x
<i>Spojení trhlín namáhaných silou</i>	EP-I	EP-I ^x	-	-
<i>Spojení trhlín s možností dilatace</i>	PUR-I	PUR-I	PUR-I	PUR-I ^x

EP-T

penetrace epoxidovou pryskyřicí

EP-I

injektáž epoxidovou pryskyřicí

PUR-I

injektáž polyuretanovou pryskyřicí

^x za použití pryskyřic, speciálně vhodných pro tento účel

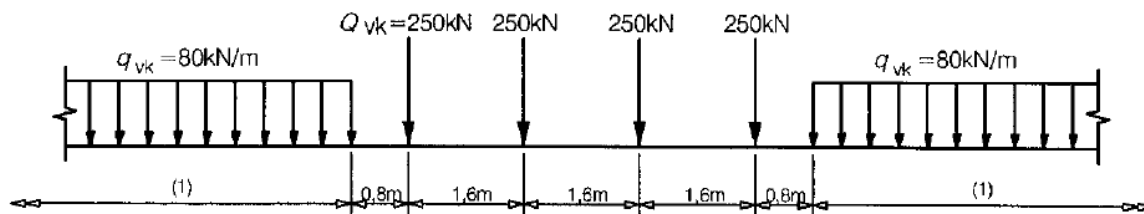
Zdroj: Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah (2006, s. 30)

1.5 Zatížitelnost

U stavebních konstrukcí zatížitelnost vyjadřuje nejvyšší možné nahodilé zatížení, které oslabený průřez konstrukce stálým zatížením dokáže přenést.

Zatížitelnost železničních mostů vyjadřuje poměr svislého nahodilého zatížení od železniční dopravy, které je nutné k dosažení mezí použitelnosti a únosnosti, vztaženého k zatěžovacímu modelu 71 (SŽ S5/1, 2021).

Zatěžovací model LM71 je definován v ČSN EN 1991-2 (viz obrázek 6).



Obrázek 6 LM71 (ČSN EN 1991-2, 2018, s. 56)

Zatížitelnost se určuje v případě:

- „pokud její aktuální hodnota není známa,
- pokud se očekává změna její aktuální hodnoty,
- pokud je dosažení konkrétní hodnoty zatížitelnosti či odpovídající přechodnosti zadávacím parametrem rekonstrukce mostního objektu,
- jako součást analýzy každého nového mostního objektu“ (SŽ S5/1, 2021, s. 20).

Správa železnic (SŽ) ve svém předpisu S5/1 zatížitelnost dále dělí do čtyř kategorií v závislosti na přesnosti a metodice stanovení:

- „**kategorie A:** zatížitelnost stanovená odhadem na základě informací získaných zejména z procesu dohlédací činnosti,
- **kategorie B:** zatížitelnost stanovená porovnávacím přepočtem stávajícího mostního objektu, označovaná jako odvozená zatížitelnost,
- **kategorie C:** zatížitelnost stanovená přepočtem stávajícího mostního objektu na základě jeho ověřeného skutečného stavu nebo analýzou nového mostního objektu nebo jeho části,
- **kategorie D:** zatížitelnost stanovená přepočtem stávajícího mostního objektu na základě jeho ověřeného skutečného stavu nebo analýzou nového mostního objektu nebo jeho části, doplněnými experimentálním ověřením chování mostního objektu, příp. jeho části, kterým se ověří správnost zvoleného výpočtového modelu“ (SŽ S5/1, 2021, s. 18).

Předpis SŽ S5/1 pro výpočet zatížitelnosti kategorie A uvádí vzorec:

$$Z_{LM71} = (E_{QL,k} - \Delta E_{G,k}) / E_{LM71,k} \quad [-]$$

kde:

$E_{QL,k}$...charakteristická hodnota účinků svislého proměnného zatížení od platného a aktuálního modelu zatížení včetně dynamického součinitele,

$\Delta E_{G,k}$...přírůstek charakteristických hodnot účinků od stálého zatížení v důsledku přetížení mostního objektu,

$E_{LM71,k}$...charakteristická hodnota účinků svislého proměnného zatížení od LM71 včetně dynamického součinitele (SŽ S5/1, 2021).

Proč výpočet zatížitelnosti kategorie C a D (také B, pokud jsou splněny podmínky) je uvedený vzorec:

$$Z_{LM71} = (R_D - \sum_{i=1}^{n-1} E_{rs,Ed,i}) / E_{LM71,Ed} \quad [-]$$

kde:

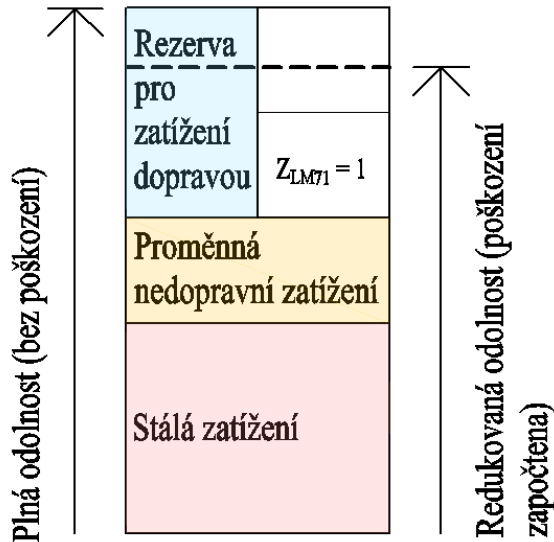
R_d ...návrhová hodnota únosnosti mostní konstrukce nebo její části,

$E_{LM71,Ed}$...návrhová hodnota účinků svislého proměnného zatížení od LM71 včetně dynamických vlivů,

$\sum_{i=1}^{n-1} E_{rs,Ed,i}$...návrhové, kombinační nebo skupinové hodnoty účinků ostatních zatížení, které působí ve směru přetížení stejně se svislým proměnným zatížením od železniční dopravy (SŽ S5/1, 2021).

I když se od sebe výše napsané vzorce navzájem liší, jsou založeny na stejné myšlence. Nejprve jsou od návrhové hodnoty únosnosti odečteny návrhové, kombinační nebo skupinové hodnoty účinků ostatních zatížení. Těmi se myslí např. vlastní tíha, ostatní stálá zatížení, proměnná nedopravní zatížení, jinak řečeno veškerá přítěžující zatížení vyjma zatížení dopravou. Z tohoto rozdílu je získána tzv. **rezerva pro zatížení dopravou**, která je následovně vydělena návrhovou hodnotou účinků svislého proměnného zatížení od LM71. Hodnota, která je získána po vydělení, reprezentuje násobek účinku zatížení od LM71, který je schopna daná mostní konstrukce nebo její část unést. Graficky je tento princip znázorněn

na obrázku 7, kde hodnota zatížitelnosti převyšuje pomyslnou hodnotu 1, tím pádem zatížitelnost dané konstrukce vyhovuje.



Obrázek 7 Schéma zatížitelnosti (autor)

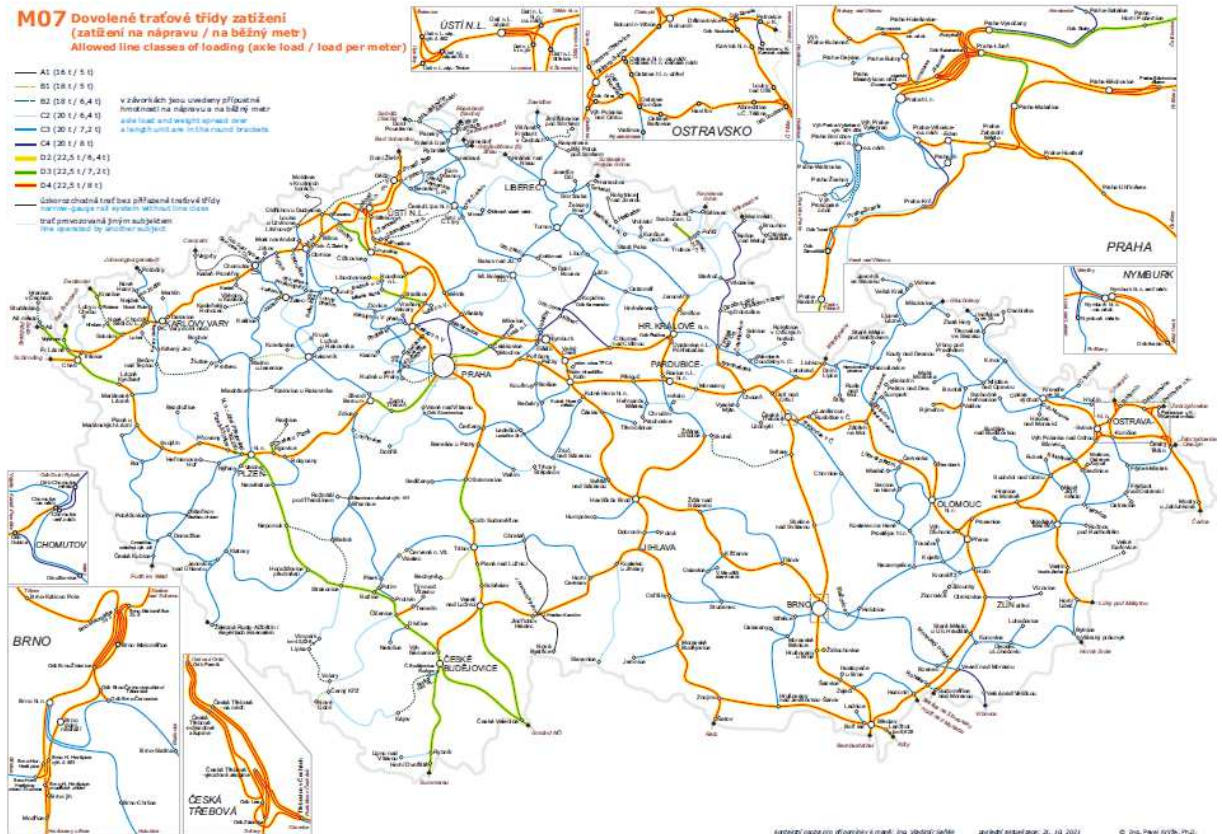
Pokud je získaná hodnota menší jak 1, daná konstrukce nevyhovuje příslušné normě ČSN EN 1991-2 a musí se přistoupit k dalším postupům (viz část 1.6 Přejednost).

1.6 Přejednost

Přejednost je záležitostí výhradně železničních mostů. Její definice je dle ČSN EN 15528: „prokázání vyhovujícího stavu tím, že traťová třída zatížení vozidla (nebo maximální užitečné zatížení vozu) je menší nebo rovna traťové třídě zatížení trati“ (ČSN EN 15528, 2016, s. 9). Jinými slovy se hodnotí aktuální návrhová hodnota únosnosti konstrukce ve vztahu k účinkům zatížení od modelového vozidla příslušného k požadované traťové třídě zatížení (TTZ). Jednotlivé železniční tratě mají své požadované TTZ, které musí splnit a lze je nalézt například na mapě M07 od SŽ (viz obrázek 8). Pokud je dokázáno, že stav konstrukce danému modelovému vozidlu nevyhovuje, musí být konstrukce sanována nebo rekonstruována.

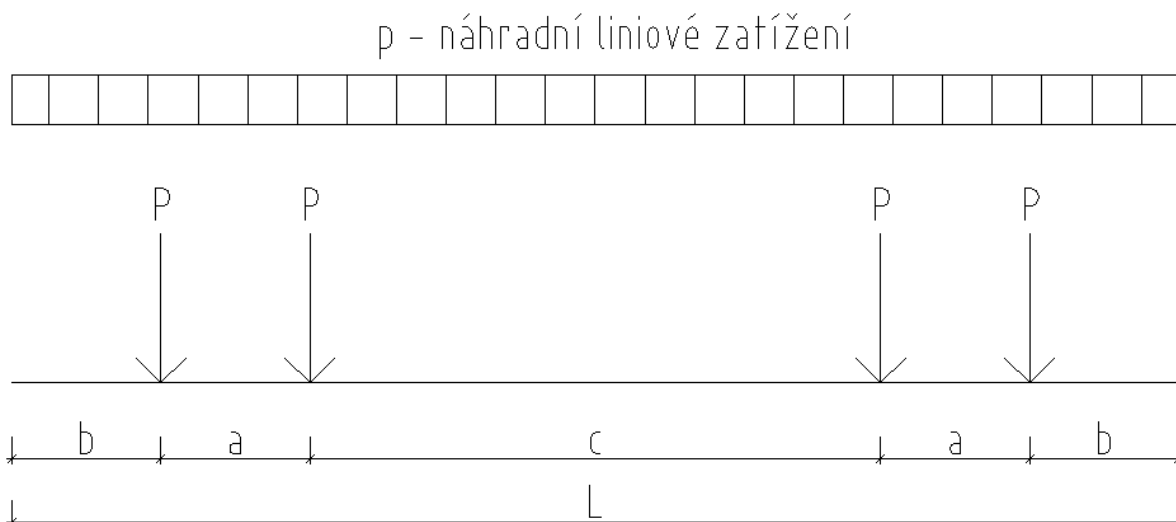
Přechodnost železniční trati se ověřuje v případech:

- změny zatížitelnosti mostu,
- změny požadavku na traťové třídy zatížení,
- změny traťové rychlost,
- nového stanovení zatížitelnosti u stávajícího mostu (SŽ S5/1, 2021).



Obrázek 8 M07 Dovolené traťové třídy zatížení (SŽ, 2021)

Všechny TTZ jsou uvedeny v ČSN EN 15528. Dohromady je těchto tříd osmnáct a zahrnují i speciální vozidla. Pro srozumitelnost je ale v bakalářské práci uvedeno pouze devět z těchto traťových tříd zatížení a to ty, které jsou znázorněny na obrázku 8. Schéma modelových vozidel a jejich parametry jsou vidět na obrázku 9 a v tabulce 12.



Obrázek 9 Schéma modelových vozidel TTZ (autor)

Tabulka 12 Modelová vozidla jednotlivých TTZ

Modelové vozidlo TTZ	P [t]	p [t/m]	a [m]	b [m]	c [m]	L [m]
A	16,0	5,0	1,8	1,5	6,8	12,8
B1	18,0	5,0	1,8	1,5	7,8	14,4
B2	18,0	6,4	1,8	1,5	4,65	11,25
C2	20,0	6,4	1,8	1,5	5,9	12,5
C3	20,0	7,2	1,8	1,5	4,5	11,1
C4	20,0	8,0	1,8	1,5	3,4	10
D2	22,5	6,4	1,8	1,5	7,45	14,05
D3	22,5	7,2	1,8	1,5	5,9	12,5
D4	22,5	8,0	1,8	1,5	4,65	11,25

Zdroj: ČSN EN 15528 (2016, s. 22-24, upraveno autorem)

2 PRAKTICKÁ ČÁST

V této části je bakalářská práce zaměřena na návrh rekonstrukce železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí – Opočno pod Orlickými horami.

V úvodu je popsáno zadání rekonstrukce, základní údaje o objektu a popis navrhované mostní konstrukce. Následuje statický výpočet, který začíná výpočtem zatížení a jeho přepočtem na výpočetní model. Poté jsou vypočteny vnitřní síly, které vstupují do kombinací. Z těch už se vypočítá posouzení konstrukce na mezní stav únosnosti, konkrétně posouzení na ohyb v poli a na smyk u podpor. Součástí přílohové části jsou i přehledné výkresy nového a stávajícího stavu mostní konstrukce.

2.1 Zadání rekonstrukce

Návrh rekonstrukce má být vytvořen tak, aby splňoval níže uvedené body definované investorem (Správa železnic):

- nosná konstrukce umožňující průběžné kolejové lože,
- nové úložné bloky s ozubem,
- zachování spodní zděné stavby,
- nová rubová drenáž,
- upravení svahů od hranice výkopu,
- mostní křídla, která vyhovují novým svahům,
- nové římsy na kolmých křídlech.

Zadání rekonstrukce bylo upraveno autorem, aby odpovídalo rozsahu bakalářské práce. Byly ponechány pouze body, které se týkají návrhu nové konstrukce.

Jedním z hlavních požadavků rekonstrukce je zajištění průběžného kolejového lože, se kterým se pojí návrh nové nosné konstrukce. To je důvod, proč v bakalářské práci není počítána zatížitelnost, přechodnost a s tím spojená zbytková životnost stávajícího stavu. Nejsou proto navrhovány ani žádné sanační práce. Rozsah posuzovaných konstrukcí je uveden v části 2.6.

Zadání bylo poskytnuto Správou železnic.

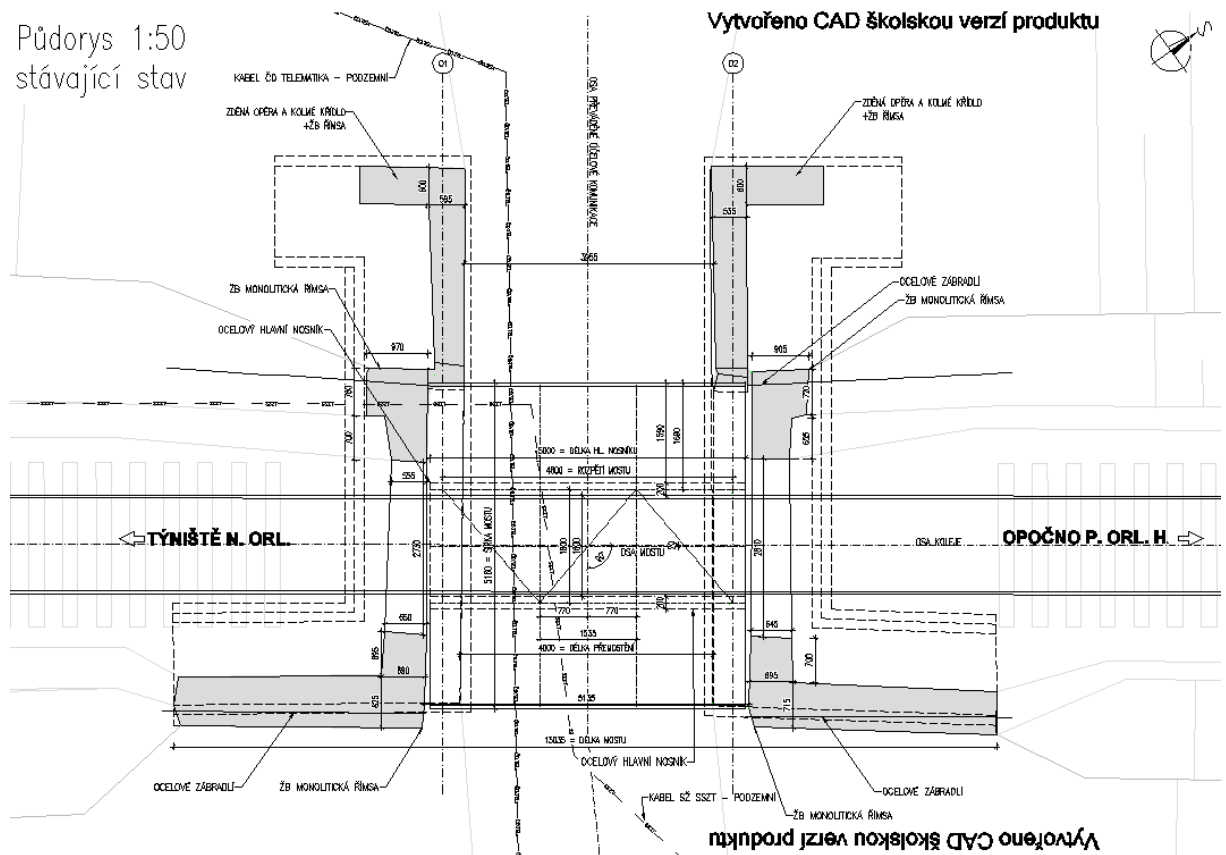
2.2 Popis stávající mostní konstrukce

Jedná se o ocelový most s prvkovou mostovkou (dubové mostnice). Spodní stavba je zděná s železobetonovými úložnými prahy. Dále disponuje vpravo rovnoběžnými křídly

a vlevo kolmými křídly (ve směru staničení). Na mostě se nachází ocelové zábradlí. Výkresy stávající mostní konstrukci lze vidět dále (viz části 2.2.1, 2.2.2 a 2.2.3.). Podklady pro vypracování výkresů byly poskytnuté Správou železnic.

2.2.1 Půdorys

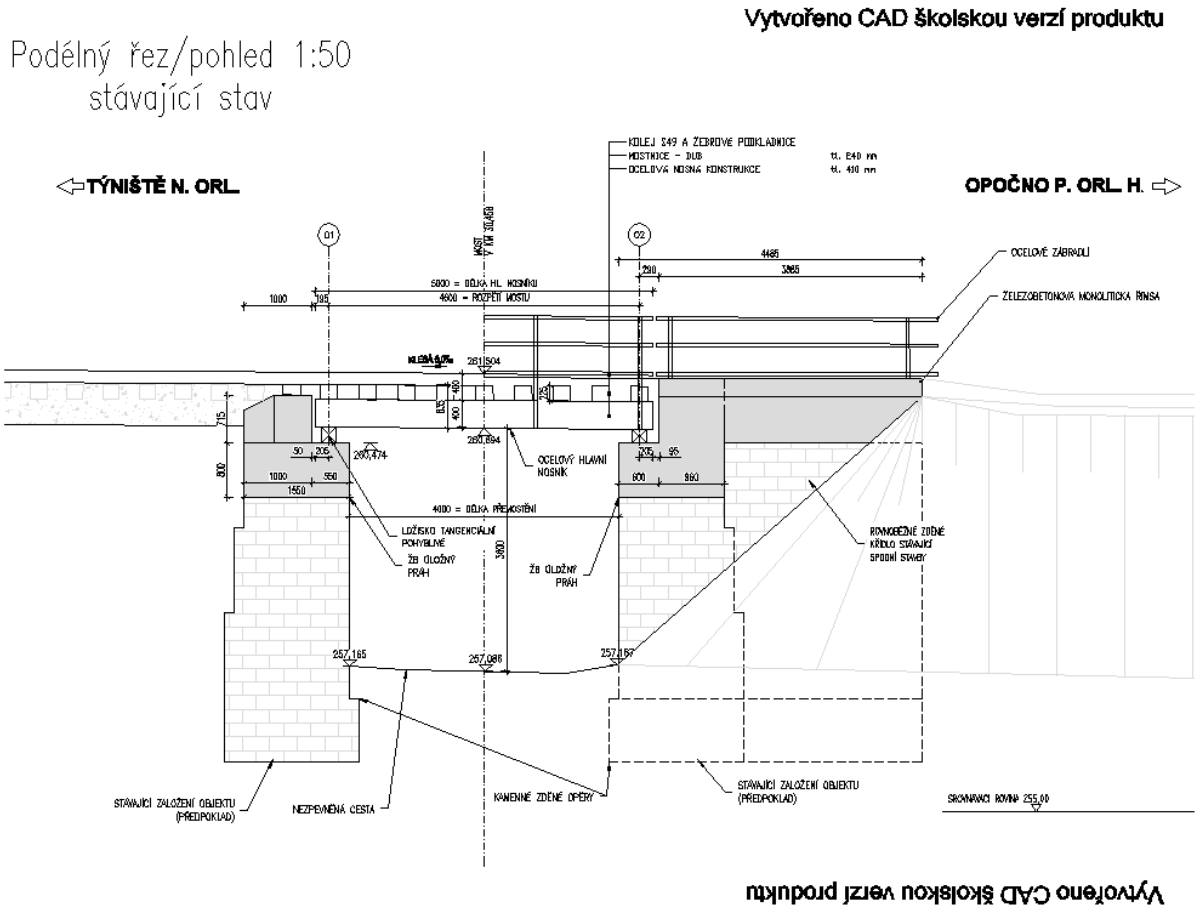
Na obrázku 10 lze vidět půdorys stávajícího stavu. Samotný výkres půdorysu stávajícího stavu je v přílohové části (příloha A).



Obrázek 10 Půdorys – stávající stav (autor)

2.2.2 Podélný řez/pohled

Na obrázku 11 lze vidět podélný řez/pohled stávajícího stavu. Samotný výkres podélného řezu/pohledu stávajícího stavu je v přílohové části (příloha B).



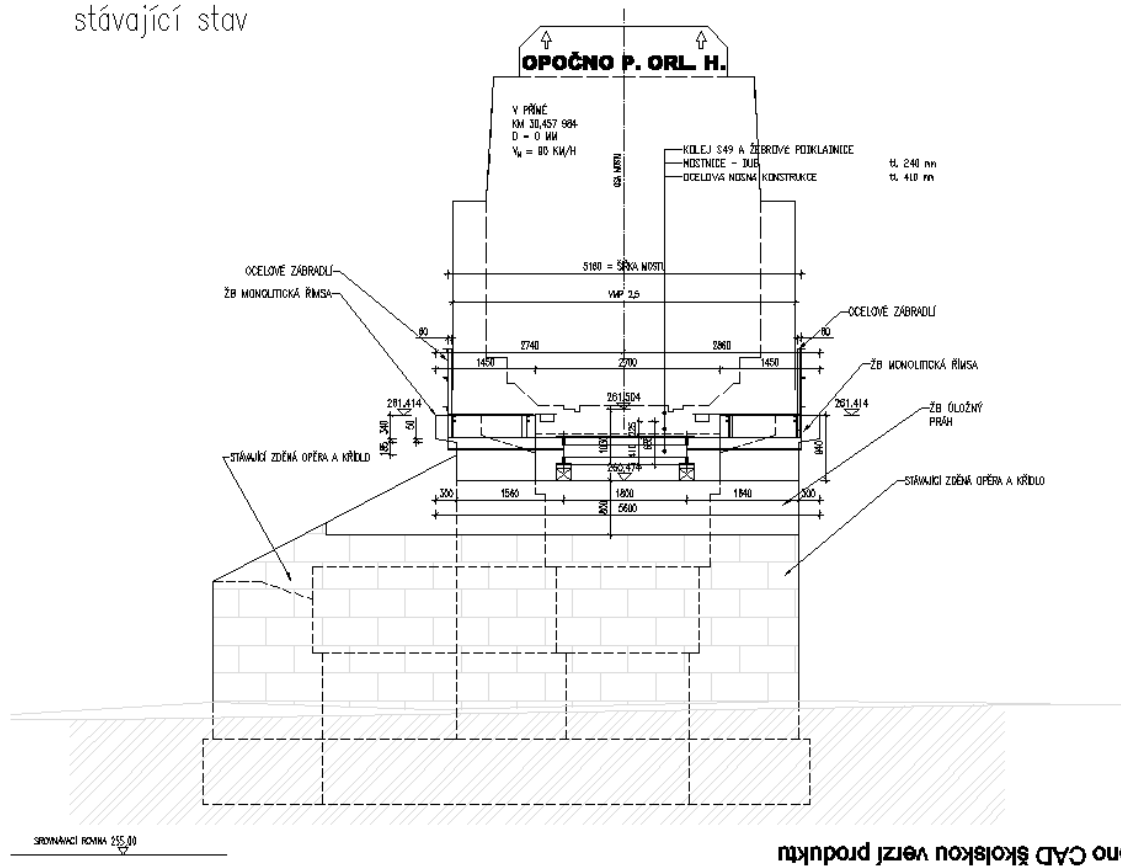
Obrázek 11 Podélný řez/pohled – stávající stav (autor)

2.2.3 Příčný řez

Na obrázku 12 lze vidět příčný řez stávajícího stavu. Samotný výkres příčného řezu stávajícího stavu je v přílohové části (příloha C).

Příčný řez v poli 1:50
stávající stav

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu



Obrázek 12 Příčný řez – stávající stav (autor)

2.3 Identifikační údaje stavby

<u>Název stavby:</u>	Oprava trati v úseku Týniště n. O. - Opočno p. Or.
<u>Název objektu:</u>	Most v km 30,458
<u>Místo stavby:</u>	Bolehošť
<u>Ev. staničení:</u>	km 30,458
<u>Charakter stavby:</u>	rekonstrukce mostu
<u>Přemost'ovaná překážka:</u>	úcelová p. komunikace nezpevněná
<u>Katastrální území:</u>	Bolehošť [607045]
<u>Obec:</u>	Bolehošť
<u>Kraj:</u>	Královehradecký

Stavební úřad:

Dražní úřad, sekce stavební

Investor:

Správa železniční dopravní cesty, státní organizace

Dlážděná 1003/7, 110 00, Praha 1

IČ: 709 94 234

DIČ: CZ70994234

zapsaná v obchodním rejstříku vedeném MS v Praze, oddíl A, vložka 48384

zastoupená:

OŘ Hradec Králové, U Fotochemy 259, 501 01 Hradec Králové

Objednatel dokumentace:

Univerzita Pardubice

Studentská 95

532 10 Pardubice II

Dodavatel dokumentace:

Vojtěch Čerovský

Luční 1366

517 41 Kostelec nad Orlicí

2.4 Základní údaje – nový stav

2.4.1 Umístění objektu

<u>Evidenční km:</u>	30,458
<u>Traťový úsek:</u>	Týniště nad Orlicí – Mieroszów (PKP) TÚ 1561
<u>Definiční úsek:</u>	Týniště nad Orlicí – Bolehošť DÚ 02
<u>Místní název:</u>	Na pískách
<u>Přemostovaná překážka:</u>	úcelová p. komunikace nezpevněná
<u>Počet mostních otvorů:</u>	1
<u>Počet převáděných železničních kolejí:</u>	1
<u>Šikmost mostu:</u>	kolmý (úhel šikmosti 90°)

2.4.2 Členění nosných konstrukcí

Označení	Rozpětí [m]	Typ
NK 01	5,10	ŽB desková s horní mostovkou s průběžným částečně otevřeným kolejovým ložem

2.4.3 Členění spodní stavby

Označení	Materiál opěr	Materiál úložných bloků
OP 01	Kamenné zdivo	Železobeton
OP 02	Kamenné zdivo	Železobeton

2.4.4 Parametry koleje

Niveleta: kolej klesá ve sklonu 6,0 ‰

Osa: kolej je vedena v přímé

Osa koleje je totožná s osou mostu.

Návrhová rychlost: traťová rychlost je 90 km/h

2.4.5 Parametry mostní konstrukce

Délka NK: 6,4 m

Rozpětí mostu: 5,1 m

Délka přemostění: 4,0 m

Délka mostu: 15,47 m

Šířka mostu: 5,89 m

Šířka nosné konstrukce: 5,41 m

VMP: 2,5

Konstrukční výška NK: 380-420 mm

Světlá výška pod mostem: 3,31 m

2.4.6 Inženýrské sítě v oblasti objektu

Jsou pouze dvě známé sítě v této oblasti, a to SŽ Správa sdělovací a zabezpečovací techniky a ČD Telematika. Obě sítě jsou podzemní, takže nejsou pro návrh brány v úvahu. Jejich poloha se nemění.

2.5 Popis navrhované mostní konstrukce

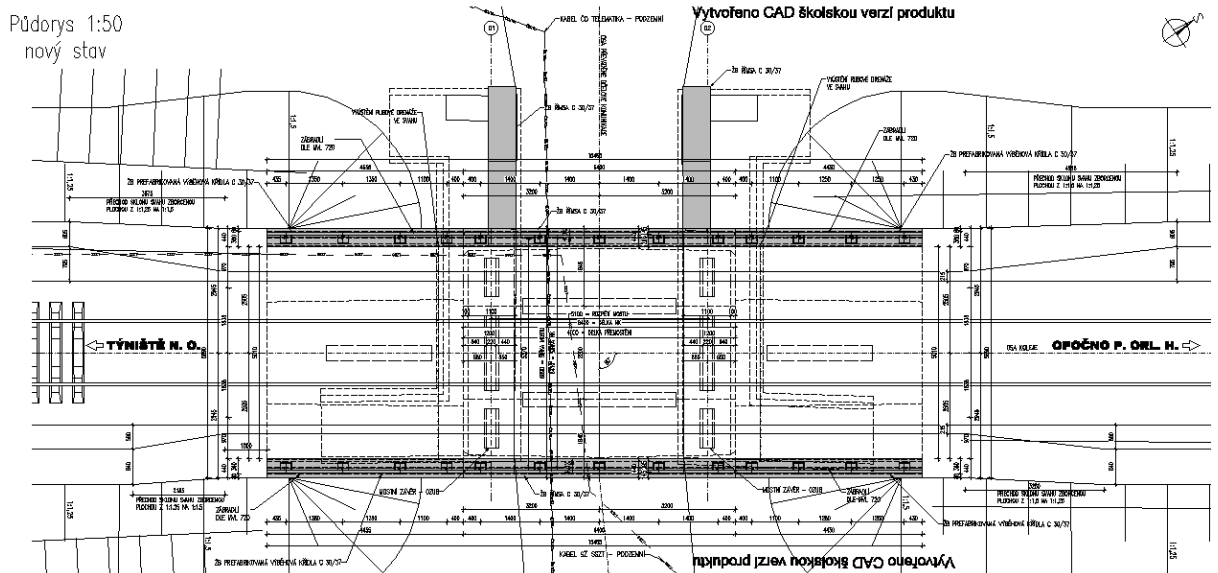
Nosná konstrukce je řešena jako železobetonová deska ze tří prefabrikátů spojena petlicovými spoji. Beton pro nosnou konstrukci je zvolen C 30/37 - XC4, XF2, XD1 (F.1.2) - C1 0,1 - Dmax16 - S4. Konstrukční výška nosné konstrukce je proměnná 380-420 mm. Šířka nosné konstrukce je 5,41 m. Prefabrikované úložné bloky s ozubem a trnem jsou z betonu C 30/37 - XC4, XF4, XD1 (F.1.2) - C1 0,1 - Dmax16 - S4. Mostní závěr ve formě ozubu je navržen z důvodu zachování spodní stavby a preferovaného řešení dle zadání rekonstrukce. Výběhová mostní křídla jsou řešena spojením dvou prefabrikovaných úhlových stěn pomocí petlicového spoje. Křídla jsou z betonu C 30/37 - XC4, XF2, XD1 (F.1.2) - C1 0,2 - Dmax16 - S4. Pro odvodnění křídel a rubu opěr je zřízen podkladní beton s proměnným klesajícím sklonem směrem k odvodňovacímu potrubí. Odvodňovací potrubí je v příčném spádu 3 % a ústí ve svahu u kolmých stávajících křídel mostu. Potrubí je průchozí na obě strany z důvodu případného tlakového čištění. Potrubí je obsypáno štěrkokodrtí fr. 16/32 a je nad ním zřízena drenážní vrstva také ze štěrkokodrti fr. 16/32. Spodní část přechodové oblasti je tvořena nepropustnou hutněnou zeminou z důvodu odvodnění. Tato vrstva je hutněná maximálně po 300 mm, je ve sklonu 1:10 a jde souběžně s již avizovaným podkladním betonem pro odvodnění. Nepropustná vrstva je zasypaná štěrkokodrtí fr. 0/63, která je následně hutněná maximálně po 300 mm.

Spodní stavba se až na část, která se musí kvůli novým křídům vybourat, zachovává.

I přesto, že navrhovaná konstrukční výška průřezu železobetonové nosné konstrukce je na hranici s doporučenou dle MVL 110, je kvůli nové nosné konstrukci zvednuta niveleta koleje o 4,5 cm a snížen stávající průjezdný průřez pod mostem o 32,5 cm.

2.5.1 Půdorys

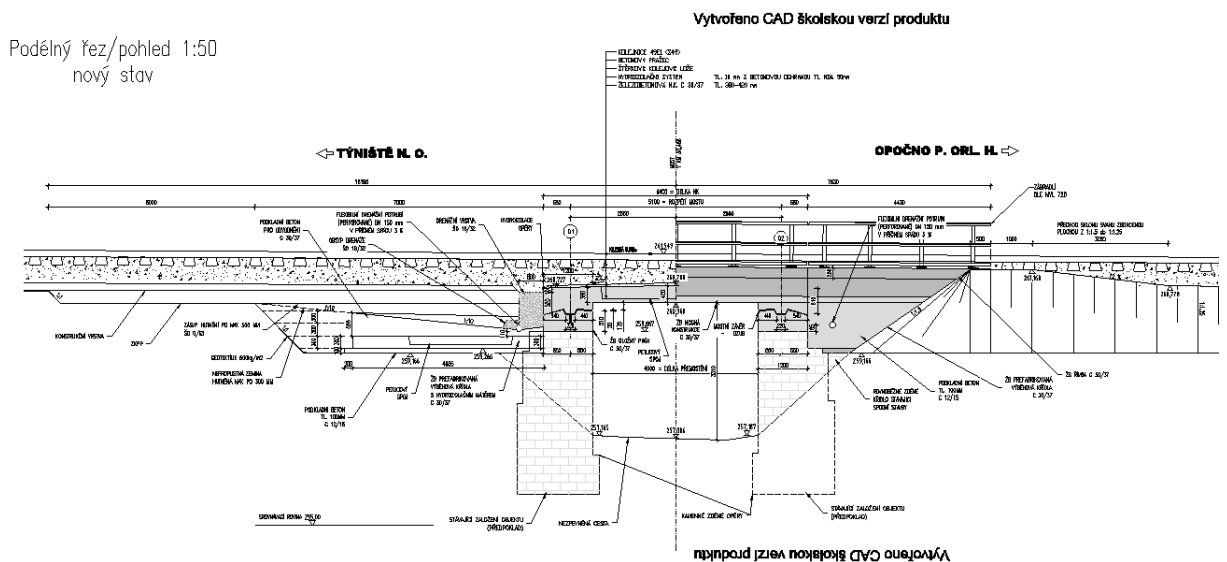
Na obrázku 13 lze vidět půdorys nového stavu. Samotný výkres půdorysu nového stavu je v přílohové části (příloha D).



Obrázek 13 Půdorys – nový stav (autor)

2.5.2 Podélný řez/pohled

Na obrázku 14 lze vidět podélný řez/pohled nového stavu. Samotný výkres podélného řezu/pohledu nového stavu je v přílohové části (příloha E).

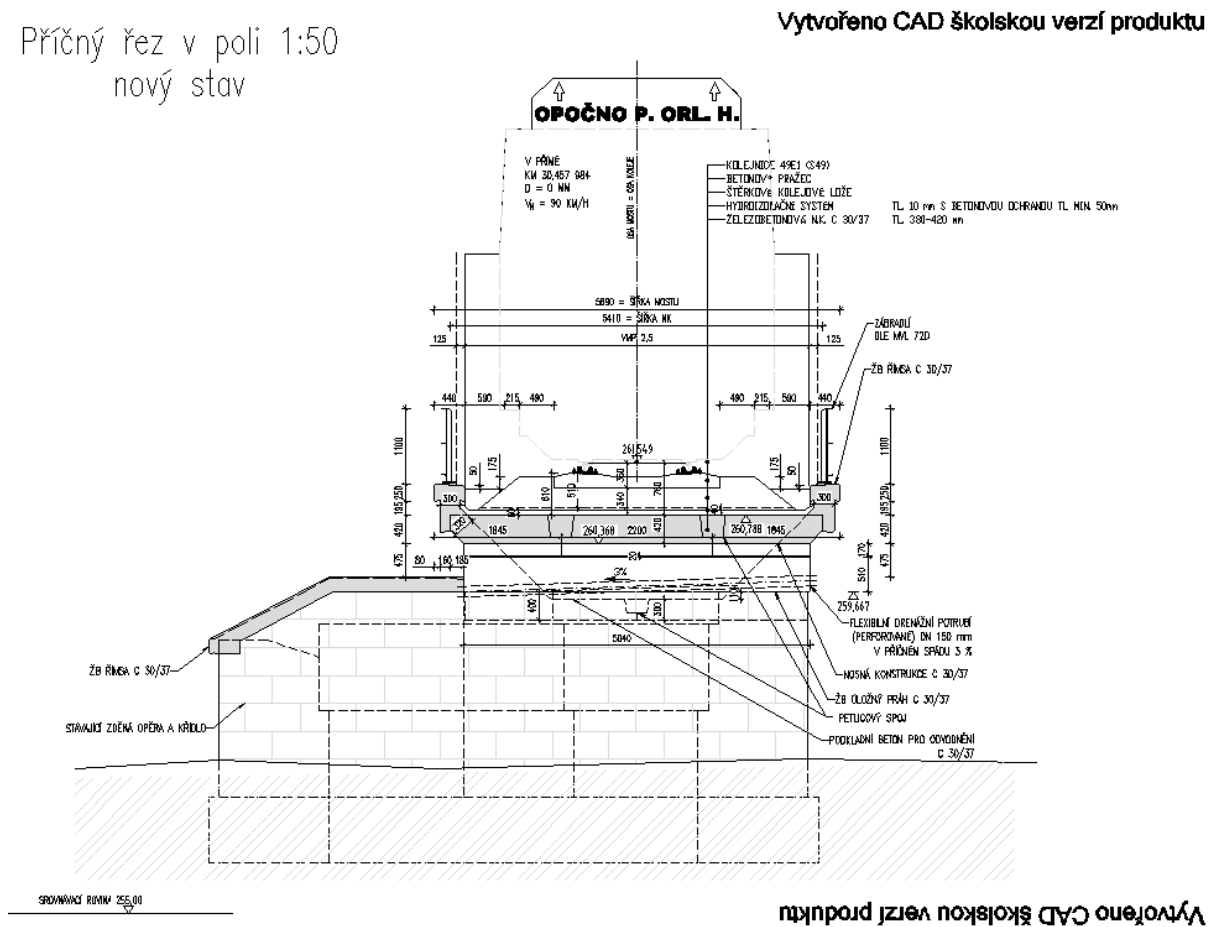


Obrázek 14 Podélný řez/pohled – nový stav (autor)

2.5.3 Příčný řez

Na obrázku 15 lze vidět příčný řez nového stavu. Samotný výkres příčného řezu nového stavu je v přílohové části (příloha F).

Příčný řez v poli 1:50
nový stav



Obrázek 15 Příčný řez – nový stav (autor)

2.6 Rozsah posuzovaných konstrukcí

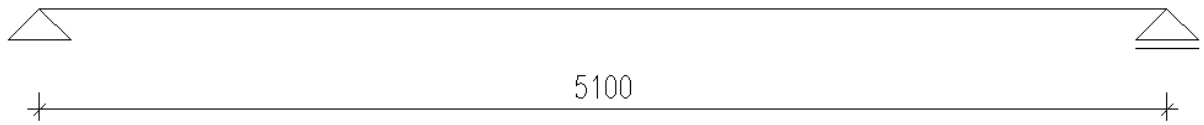
V bakalářské práci je posuzována pouze nosná konstrukce, a to na mezní stav únosnosti. Je počítáno se stálým zatížením od samotné nosné konstrukce, železničního svršku, technického zařízení na mostě a s proměnným zatížením od dopravy. Ostatní zatížení nejsou brána v úvahu z důvodu způsobu výpočtu („v ruce“). Konstrukce se neposuzuje na mezní stav použitelnost z důvodu absence této látky v osnově bakalářského studijního programu.

Prefabrikované úložné bloky s trnem a ponechané části stávající spodní stavby posuzovány nejsou. U ponechaných částí spodní stavby rovněž není počítána zatížitelnost.

2.7 Výpočetní model konstrukce

Výpočetní model představuje prut o šířce 1 metru podepřený jako prostý nosník s kloubovým uložením. Takovéto zjednodušení na staticky určitou konstrukci je možné proto,

že do výpočtu nevstupují vodorovná zatížení, a tudíž se vyšetřují pouze svislé síly u těchto podpor. Výpočetní model lze vidět na obrázku 16.



Obrázek 16 Výpočetní model (autor)

2.8 Použitá literatura v následujících výpočtech

- ČSN EN 1990 ed. 2 (73 0002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-2 (73 6203) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou
- ČSN EN 1992-1-1 ed. 2 (73 1201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1992-2 (73 6208) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady
- SŽ S5/1 Diagnostika, zatížitelnost a přechodnost železničních mostních objektů

2.9 Materiály

Nosná konstrukce

Pro nosnou konstrukci byl použit beton C 30/37 – XC4, XF2, XD1. Dle ČSN EN 1992-2 (popřípadě 1992-1-1 ed.2) části 3 jsou jeho materiálové charakteristiky (odkazy jsou na avizovanou normu):

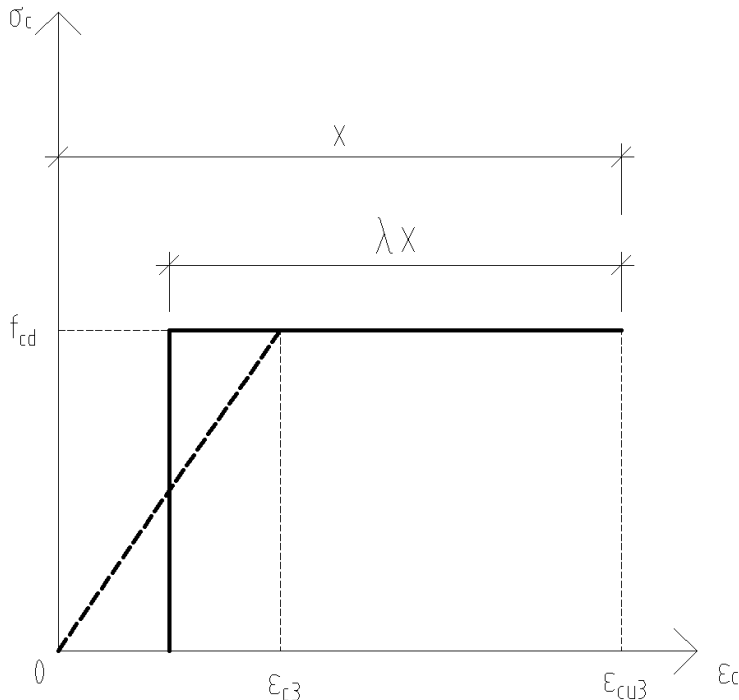
$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$$

- $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ pro C30/37
- $\alpha_{cc} = 0,9$ doporučená hodnota dle 3.1.6 (1)
- $\gamma_c = 1,5$ pro beton – trvalá situace dle tabulky 2.1N

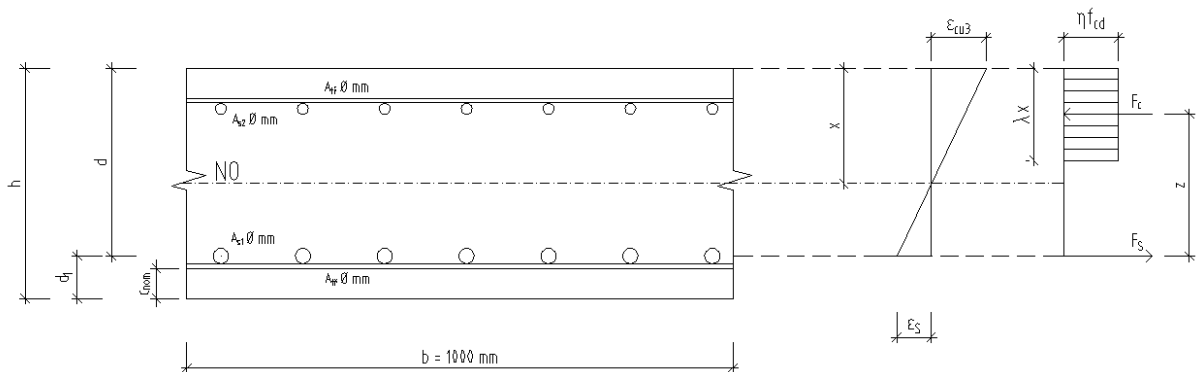
$$f_{cd} = 0,9 * \frac{30}{1,5} = 18 \text{ MPa}$$

- $\epsilon_{cu3} = 3,50 \%$ dle tabulky 3.1 při uvažování bilineárního pracovního diagramu
- $\eta = 1,0$ pro $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ dle 3.1.7 (3)
- $\lambda = 0,8$ pro $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ dle 3.1.7 (3)

Součinitelem λ se redukuje vzdálenost horních vláken od neutrální osy z důvodu, že se pro výpočet uvažuje rektangulární pracovní diagram namísto bilineárního pracovního diagramu (viz obrázek 17). Aplikace tohoto pracovního diagramu lze vidět na obrázku 18.



Obrázek 17 Porovnání bilineárního a rektangulárního pracovního diagramu betonu v tlaku (autor)



Obrázek 18 Schéma rozdělení napětí v průřezu (autor)

Výztuž

Pro betonovou výztuž byla použita betonářská ocel B500B. Dle ČSN EN 1992-2 (popřípadě 1992-1-1 ed. 2) části 3 jsou její materiálové charakteristiky (odkazy jsou na avizovanou normu):

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ pro B500B

- $\gamma_S = 1,15$ pro betonářskou ocel – trvalá situace dle tabulky 2.1N

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

- $E_S = 200 \text{ GPa}$ dle ČSN EN 1992-1-1 3.2.7 (4)

$$\varepsilon_S = \frac{f_{yd}}{E_S} = \frac{434,78}{200} = 2,17 \text{ ‰}$$

2.10 Návrh betonové krycí vrstvy

Betonová krycí vrstva výztuže je navržena dle ČSN EN 1992-2 (popřípadě 1992-1-1 ed. 2) 4.4.1. Základní vztahy pro výpočet jsou (odkazy jsou na avizovanou normu):

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

Použitý beton pro nosnou konstrukce je C30/37 – XC4, XF2, XD1 a třída konstrukce je S6 (zvětšena o 2 třídy dle tabulky 4.3N).

Betonová krycí vrstva hlavní ohybové výztuže

$$c_{min,b} = \varnothing \text{ prutu} = 32 \text{ mm (náštřel)} \quad \text{dle tabulky 4.2}$$

$$c_{min,dur} = 45 \text{ mm} \quad \text{dle tabulky 4.4N}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma}, \Delta c_{dur,st}, \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ m} \quad \text{doporučené hodnoty dle odst. 4.4.1.2}$$

$$c_{min} = \max\{32; 45 + 0 - 0 - 0; 10\} = 45 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{doporučená hodnota dle odst. 4.4.1.3}$$

$$c_{nom} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$$

Betonová krycí vrstva smykové výztuže

$$c_{min,b} = \varnothing \text{ prutu} = 8 \text{ mm (náštřel)} \quad \text{dle tabulky 4.2}$$

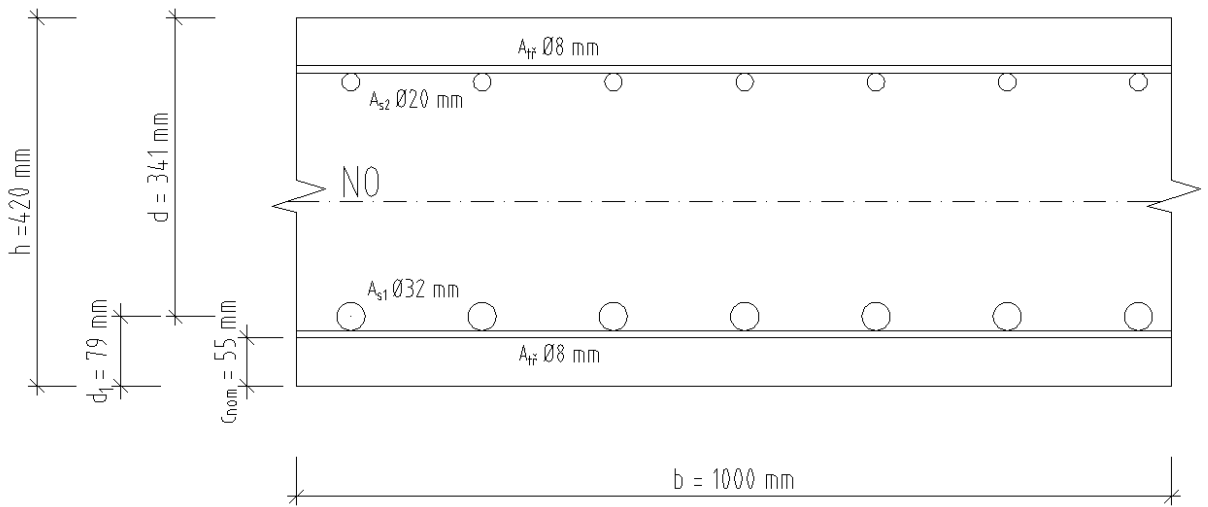
$$c_{min,dur} = 45 \text{ mm} \quad \text{dle tabulky 4.4N}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma}, \Delta c_{dur,st}, \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ m} \quad \text{doporučené hodnoty dle odst. 4.4.1.2}$$

$$c_{min} = \max\{8; 45 + 0 - 0 - 0; 10\} = 45 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{doporučená hodnota dle odst. 4.4.1.3}$$

$$c_{nom} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$$



Obrázek 19 Schéma výztuže (autor)

Hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy smykové výztuže je v tomto případě rozhodující. Krycí vrstva pro smykovou výztuž je uvažována 55 mm a krycí vrstva pro hlavní ohybovou výztuž je uvažována $55 + \varnothing$ třmínků, tedy 63 mm. Účinná výška průřezu je 341 mm (viz obrázek 19).

2.11 Statický výpočet

Rozsah statického výpočtu v této bakalářské práci je oproti praxi zkrácený. Je zde řešen pouze mezní stav únosnosti (MSÚ). Mostní konstrukce je posouzena v polovině svého rozpětí na únosnost v ohybu a z výsledků je navržena hlavní ohybová výztuž. Následně je mostní konstrukce posouzena na únosnost ve smyku v blízkosti podpor a je navržena smyková výztuž. Samotný výpočet MSÚ lze vidět v dalších částech.

Není zde počítaná zatížitelnost, přechodnost a zbytková životnost stávající konstrukce vzhledem k charakteru zadání rekonstrukce (viz část 2.1). Kdyby tomu bylo jinak, u stávající konstrukce by byla vypočítaná zatížitelnost, popřípadě přechodnost (viz části 1.5 a 1.6) a podle výsledků a dopočítané zbytkové životnosti by byly navrženy sanační práce (viz část 1.4).

Rozsah statického výpočtu je také zkrácen o výpočet mezního stavu použitelnosti (MSP). Cílem tohoto posouzení by bylo zabránit nadměrným deformacím a vzniku trhlin, které by mohly negativně ovlivnit životnost konstrukce. Ve výpočtu by byly dílčí součinitelé materiálových charakteristik i zatížení rovny 1.

Počítalo by se se třemi kombinacemi:

- charakteristická kombinace,
- častá kombinace,
- kvazistálá kombinace.

Tyto kombinace by byly použity ve výpočtech jednotlivých mezních stavů:

- mezní stav omezení napětí,
- mezní stav omezení trhlin,
- mezní stav omezení průhybu.

2.11.1 Zatížení – stálá zatížení

Vlastní tíha NK

Vlastní tíha železobetonové nosné konstrukce je stanovena dle ČSN EN 1991-1-1 tabulky A.1. Obsah průřezu je brán z výkresu, kde je tloušťka nosné konstrukce 420 mm. Je tedy počítáno s nejvyšší hodnotou tloušťky nosné konstrukce (v polovině rozpětí) z celého průřezu. Bylo by možné počítat se zprůměrovanou tloušťkou průřezu (400 mm), autor ale chce být na straně bezpečnosti.

Vlastní tíha	S[m ²]	objemová tíha [kN/m ³]	q _k [kN/m]
Vlastní tíha NK	2,23	25,00	55,87

Hydroizolační systém

Hydroizolační systém se skládá z 50 mm betonové ochranné vrstvy a 10 mm asfaltové hydroizolační vrstvy. Jelikož se z většiny skládá z betonu vyztuženého kari sítěmi, počítá se u něho s objemovou hmotností železobetonu dle ČSN EN 1991-1-1 tabulky A.1. Obsah průřezu je brán z výkresu.

Zatížení hydroizolací	S[m ²]	objemová tíha [kN/m ³]	q _k [kN/m]
Hydroizolační systém	0,32	25,00	8,01

Dle ČSN EN 1991-1-1 5.2.3 (3) má být brána v potaz odchylka tloušťky hydroizolačních systémů a to ± 20 %.

Zatížení hydroizolací	S[m ²]	objemová tíha [kN/m ³]	q _k [kN/m]
Hydroizolační systém (-20 % tl.)	0,26	25,00	6,52

Zatížení hydroizolací	S[m ²]	objemová tíha [kN/m ³]	q _k [kN/m]
Hydroizolační systém (+20 % tl.)	0,38	25,00	9,49

Ve výpočtu je počítáno s nejvíce přítěžující variantou.

Římsy

Vlastní tíha železobetonových říms je stanovena dle ČSN EN 1991-1-1 tabulky A.1. Obsah průřezu je brán z výkresu.

Zatížení římsou	S[m ²]	objemová tíha [kN/m ³]	q _k [kN/m]
2x betonová římsa	0,41	25,00	10,37

2.11.2 Zatížení – ostatní stálá zatížení

Železniční svršek

Tíha běžného šterkového lože, dvou kolejnic 49E1 a předpjatých betonových pražců s kolejovým upevněním je stanovena dle ČSN EN 1991-1-1 tabulky A.6. V avizované tabulce jsou hodnoty zatížení pouze pro kolejnice UIC 60, předpokládá se ale minimální rozdíl oproti kolejnicím 49E1.

Zatížení železničním svrškem	š [m]	t [m]	objemová tíha [kN/m ³]	q _k [kN/m]
Kolejové lože	5,01	0,55	20,00	55,11
2x kolejnice 49E1	-	-	-	1,20
Předpjaté betonové pražce s kolejovým upevněním	-	-	-	4,80
SUMA	-	-	-	61,11

Dle ČSN EN 1991-1-1 odst. 5.2.3 (2) se na železničních mostech má uvažovat charakteristická hodnota tloušťky šterkového lože. Ta se od nominální tloušťky liší ± 30 %.

Zatížení železničním svrškem	š [m]	t [m]	objemová tíha [kN/m ³]	q _k [kN/m]
Kolejové lože (- 30 % tloušťky)	5,01	0,42	20,00	42,43
2x kolejnice 49E1	-	-	-	1,20
Předpjaté betonové pražce s kolejovým upevněním	-	-	-	4,80
SUMA	-	-	-	48,43

Zatížení železničním svrškem	š [m]	t [m]	objemová tíha [kN/m ³]	q _k [kN/m]
Kolejové lože (+ 30 % tloušťky)	5,01	0,73	20,00	73,30
2x kolejnice 49E1	-	-	-	1,20
Předpjaté betonové pražce s kolejovým upevněním	-	-	-	4,80
SUMA	-	-	-	79,30

Ve statickém výpočtu se počítá s nejvíce přítěžující variantou tak, aby výpočet byl na straně bezpečnosti.

Zábradlí a případné kabelové žlaby

Uvažuje se s případnými kabelovými žlaby pro inženýrské sítě umístěných na zábradlí, kdyby nastala situace, že kabely budou muset být vedeny přes mostní konstrukci.

Zatížení zábradlím a kabel. žlaby	hmotnost [kg/bm]	q _k [kN/m]
2x zábradlí	2x50	1,00
2x kabelové žlaby	2x20	0,40
SUMA	140,00	1,40

2.11.3 Dynamická analýza

Posouzení, zda je třeba provést dynamickou analýzu či nikoliv, je provedeno dle ČSN EN 1991-2 odst. 6.4.4. U konstrukcí, které splní níže uvedenou podmínku a pro které platí, že rychlost na nich je $V_n < 200$ km/h, nemusí být prováděna dynamická analýza.

- $l = 5,1$ m rozpětí mostu
- $n_0 = \frac{17,75}{\sqrt{\delta_0}}$ dle vztahu ČSN EN 1991-2 6.4.4 vztahu (6.3)

$$\delta_0 = \frac{5 * g_k * l^4}{384 * E * I_y}$$

- $E = 33$ GPa pro beton c 30/37 dle ČSN EN 1992-1-1 ed.2 tabulky 3.1
Pro zjednodušení výpočtu je počítáno s modulem pružnosti betonu.
- $g_k = 156,42$ kN/m součet všech stálých zatížení, viz část 2.11.6
- $I_y = 3,3 * 10^{10}$ mm⁴ pro průřez nosné konstrukce

$$\delta_0 = \frac{5 * 156,42 * 10^3 * 5,1^4}{384 * 33 * 10^9 * 3,3 * 10^{-2}}$$

$$\delta_0 = 1,27 \text{ mm}$$

$$n_0 = \frac{17,75}{\sqrt{1,27}}$$

$$n_0 = 15,75$$

$$\frac{80}{L} < 15,75 < 94,76 * L^{-0,748}$$

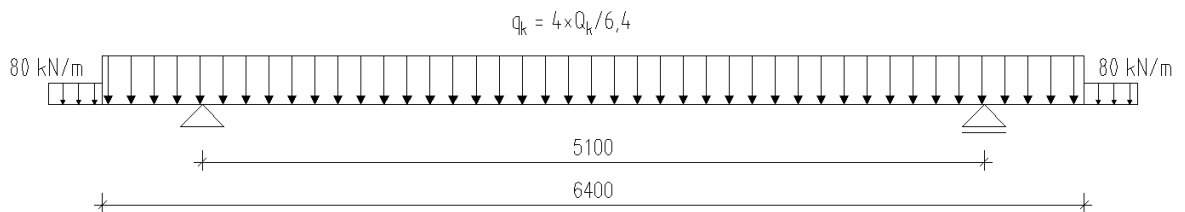
$$15,69 < 15,75 < 28,01$$

Podmínka platí, proto se pro tento typ konstrukce nemusí provádět dynamická analýza. V bakalářské práci se pouze se zvětšuje proměnné zatížení dynamickým součinitelem a provádí se analýza statická.

2.11.4 Zatížení – proměnná zatížení

Svislé zatížení železniční dopravou

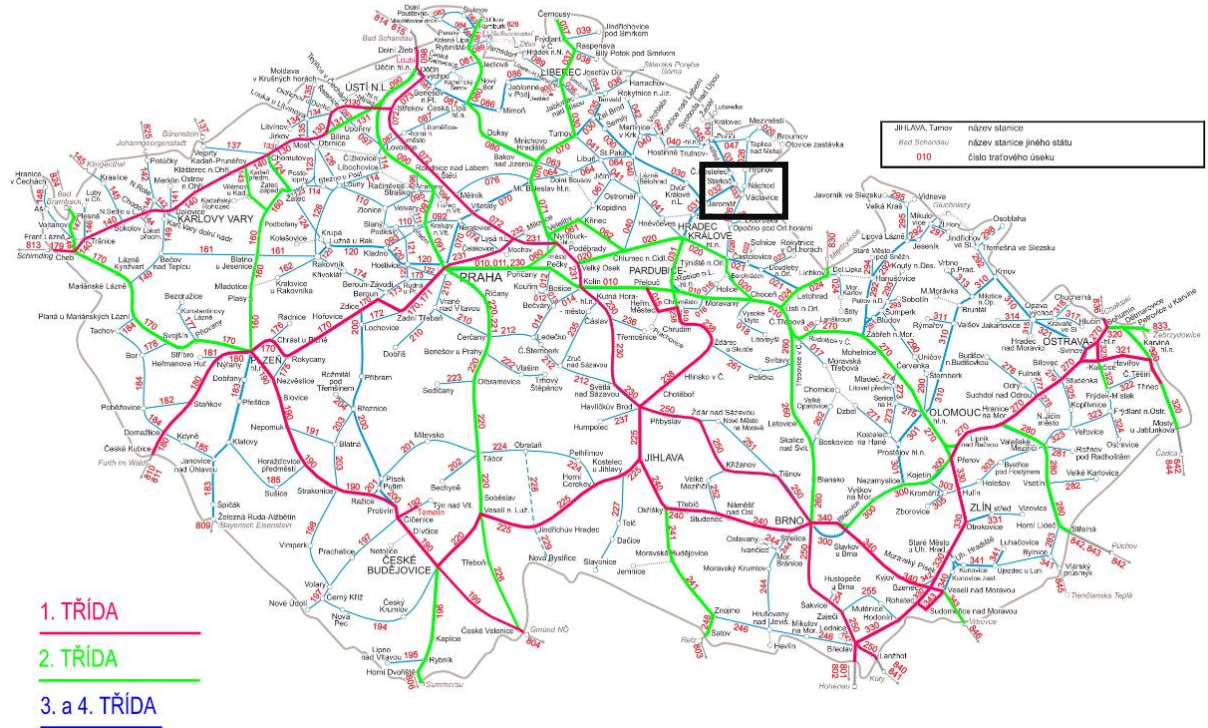
Model zatížení 71 je převeden na liniové zatížení (viz obrázek 20).



Obrázek 20 Upravený LM71 – schéma uvažovaného zatížení pro ohyb (autor)

Třída trati je získána z mapy zobrazující kategorie železničních tratí z hlediska mostů od SŽ (viz obrázek 21).

KONVENČNÍ ŽELEZNIČNÍ SYSTÉM
KATEGORIE ŽELEZNIČNÍCH TRATÍ Z HLEDISKA MOSTŮ - OD 01/2017



Obrázek 21 Kategorie železničních tratí z hlediska mostů (SŽ, 2017)

Třída trati	3
Návrhové zatěžovací schéma	LM71
Klasifikační součinitel	$\alpha = 1,10$ dle ČSN EN 1991-2 NA. 2.53

Dynamický součinitel pro standardně udržovanou kolej je dle ČSN EN 1991-2 6.4.5.2

(2) b):

$$1 < \Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 < 2$$

$L_\Phi =$ rozpětí = 5,1 m dle tabulky 6.2 v ČSN EN 1991-2 (viz obrázek 22)

Případ	Nosný prvek	Náhradní délka L_{Φ}
Hlavní nosníky		
5.1	prostě podepřené nosníky a desky (včetně zabetonovaných ocelových nosníků)	rozpětí ve směru hlavních nosníků

Obrázek 22 Náhradní délky pro určení dynamického součinitele (ČSN EN 1991-2, 2004, s.70)

$$1 < \Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{5,1 - 0,2}} + 0,73 = 1,78 < 2$$

Návrhová hodnota zatížení od jednotlivých náprav je spočtena níže.

Zatížení dopravou	Q [kN]	α	Φ_3	Q_k [kN]
Zatížení jednotlivých náprav vlaku	250	1,1	1,78	489,5

Excentricita svislého zatížení od železniční dopravy je dle 1991-2 6.3.5 spočtena níže a schéma lze vidět na obrázku 23.

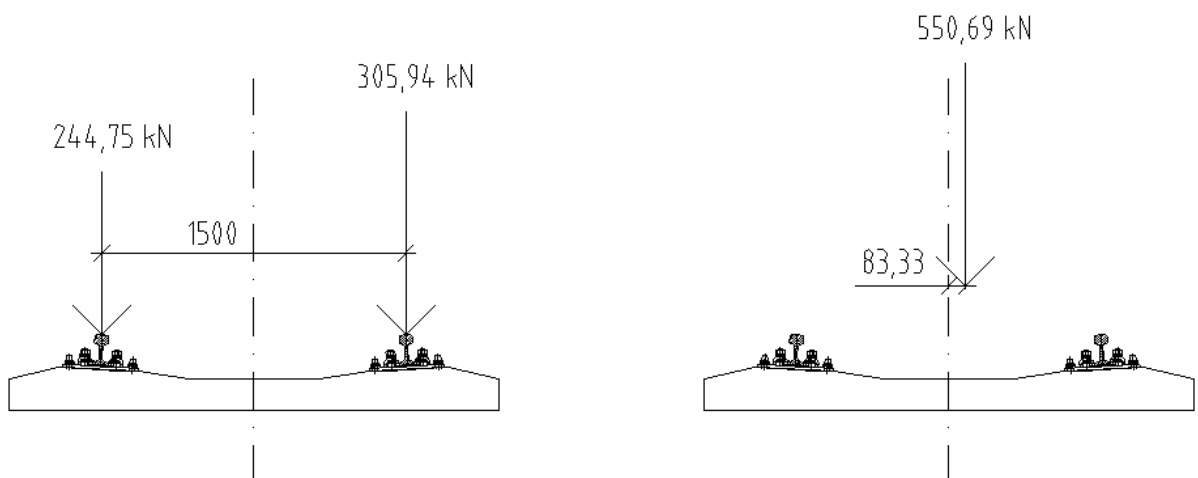
$$e = \frac{r}{18}$$

$r = 1500 \text{ mm}$ dle ČSN EN 1991-2 6.3.5 (3)

$$e = \frac{1500}{18} = 83,33$$

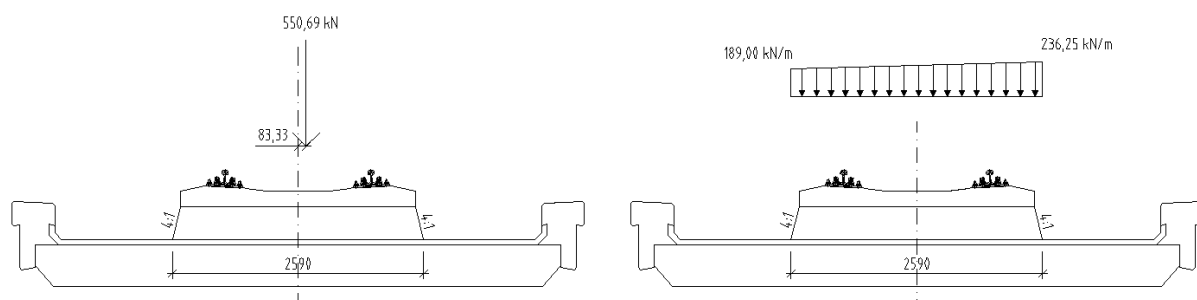
Dále se uvažují svislá kolová zatížení v poměru 1:1,25 vlivem excentricity.

$$\frac{1,25}{1} = \frac{Q_{d2}}{Q_{d1}} = \frac{305,94}{244,75}$$



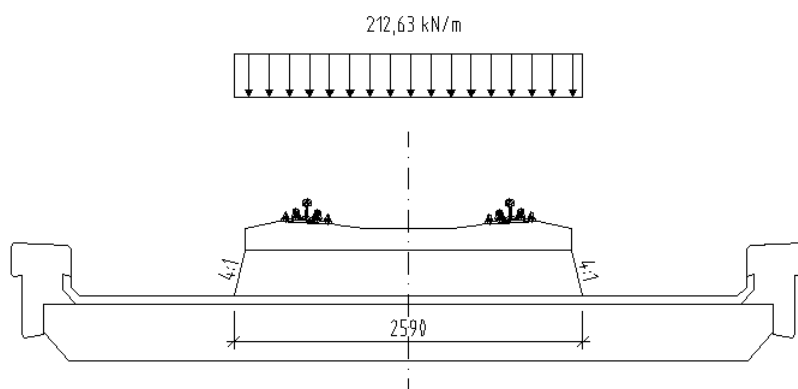
Obrázek 23 Schéma kolových zatížení (autor)

Spočtené svislé kolové zatížení je rozneseno pražci a kolejovým ložem ve sklonu 4:1 na nosnou konstrukci (viz obrázek 24).



Obrázek 24 Roznos zatížení na nosnou konstrukci (autor)

Ve výpočtu je uvažována průměrná hodnota zatížení z lichoběžníkového zatížení (viz obrázek 25).



Obrázek 25 Uvažovaná hodnota zatížení od LM71 (autor)

Zatížení neveřejných služebních chodníků

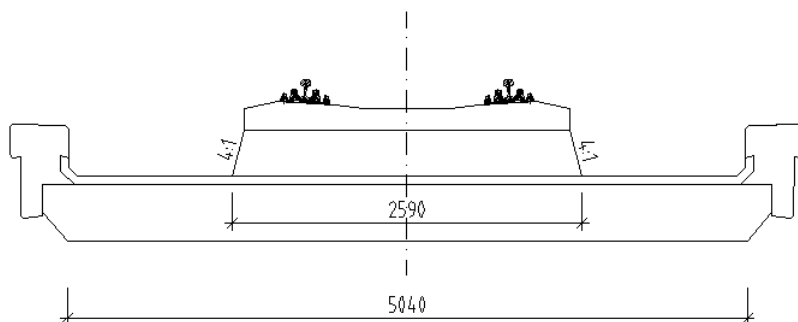
Hodnota tohoto zatížení se neuvažuje, jelikož do těchto míst zasahuje VMP, a tudíž není možné, aby služební chodník (stezku) někdo používal, když na mostě pojede vlak.

2.11.5 Zatížení – nezapočtené

Do podrobnějších výpočtů by vstupovaly dále také zatížení bočního rázu, brzdných a rozjezdových sil, větru a rozdílů teplot. Tato zatížení nejsou uvažována. Vnitřní síly vyvozené smršťováním a dotvarováním také nejsou uvažovány.

2.11.6 Přepočet zatížení na výpočetní model

Veškerá zatížení kromě zatížení LM71 jsou roznesena na šířku nosné konstrukce a poté jsou přepočtena na 1 šířkový metr pro výpočet (viz obrázek 26). Zatížení LM71 je rozneseno pod pražci ve sklonu 4:1 a poté je přepočteno na 1 šířkový metr pro výpočet.



Obrázek 26 Roznášecí šířky (autor)

Přepočtená stálá zatížení	g_k [kN/m]	roznášecí šířka	G_k [kN/m ²] zatížení vstupující do výpočtu
Vlastní tíha NK	55,87	5,04	11,08
Hydroizolační systém (+20 % tl.)	9,49	5,04	1,88
2x betonová římsa	10,37	5,04	2,06
Kolejové lože (+ 30 % tloušťky)	73,30	5,04	14,54
2x kolejnice 49E1	1,20	5,04	0,24
Předpjatá betonové pražce s kolejovým upevněním	4,80	5,04	0,95
2x zábradlí	1,00	5,04	0,20
2x kabelové žlaby	0,40	5,04	0,08
SUMA	156,42	-	31,04

Přepočtená proměnná zatížení	Q_k [kN/m]
Zatížení jednotlivých náprav vlaku	212,63

Krok výpočtu, kdy je zatížení vynásobeno 1 šířkovým metrem, není uveden. Hodnota zatížení zůstává stejná, mění se pouze jeho jednotka (zvětší se o metr).

2.11.7 Výpočet vnitřních sil

V tomto výpočtu jsou spočteny vnitřní síly od stálého a proměnného zatížení LM71 (viz obrázek 20).

Vnitřní síly od stálého zatížení

Výpočet reakcí:

$$R_{A,z} = R_{B,z} = \frac{1}{2} G_k * l = \frac{1}{2} 31,04 * 5,1 = 79,15 \text{ kN}$$

Výpočet vnitřních posouvajících sil:

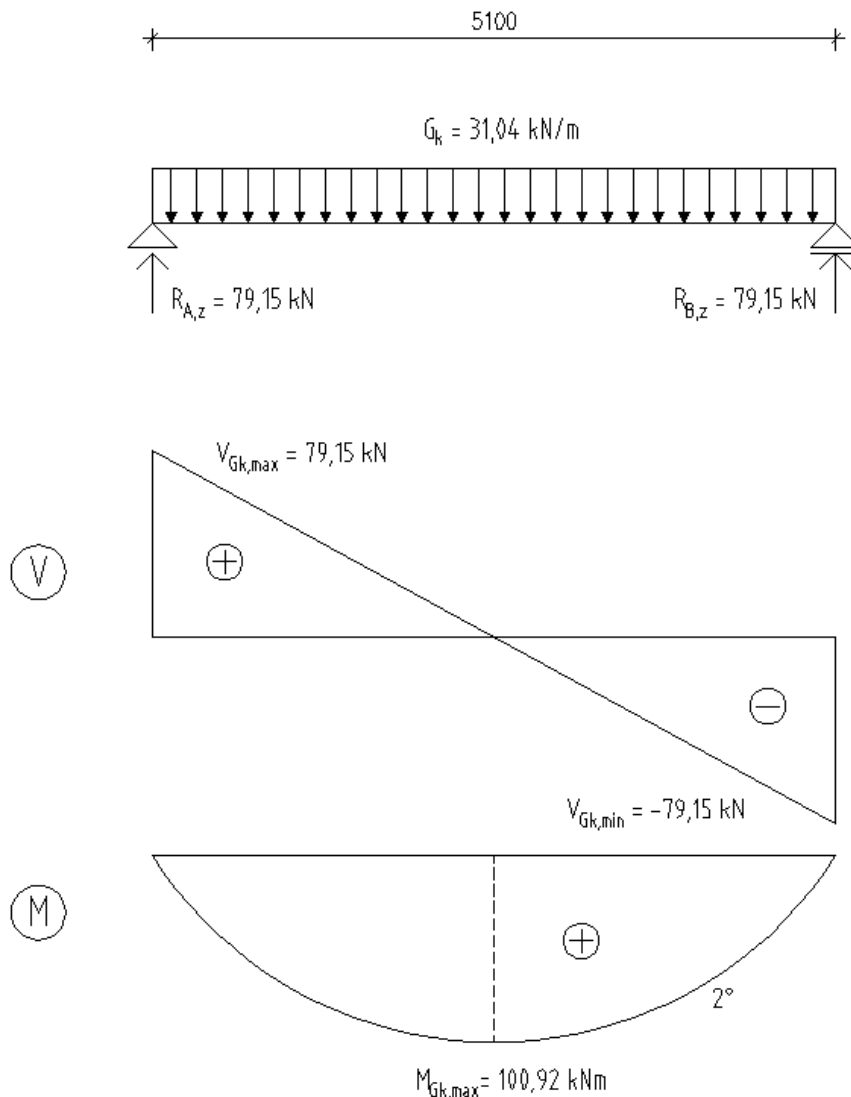
$$V_{Gk,max} = R_{A,z} = -R_{B,z}$$

V blízkosti podpor jsou hodnoty posouvajících sil rovny reakcím podpor (při zanedbání znaménka). Průběh vnitřních posouvajících sil je dle křivky 1° (viz obrázek 27).

Výpočet vnitřních ohybových momentů:

$$M_{Gk,max} = \frac{1}{8} G_k l^2 = \frac{1}{8} 31,04 * 5,1^2 = 100,92 \text{ kNm}$$

Průběh vnitřních momentů je dle paraboly 2° (viz obrázek 27).



Obrázek 27 Průběh vnitřních sil od stálého zatížení (autor)

Vnitřní síly od proměnného zatížení

Výpočet reakcí:

$$R_{A,z} = R_{B,z} = \frac{1}{2} (4 * Q_k / 6,4) * l = \frac{1}{2} (4 * 212,63 / 6,4) * 5,1 = 338,88 \text{ kN}$$

Výpočet vnitřních posouvajících sil:

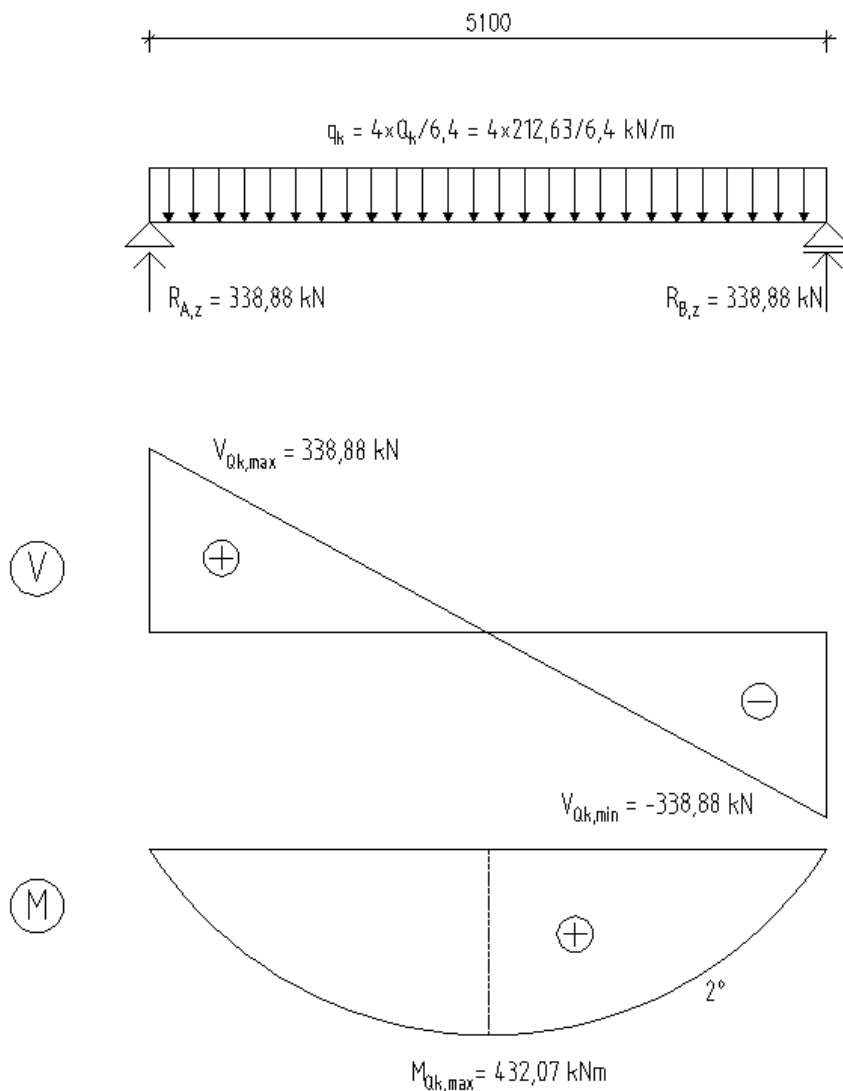
$$V_{Qk,max} = R_{A,z} = -R_{B,z}$$

V blízkosti podpor jsou hodnoty posouvajících sil rovny reakcím podpor (při zanedbání znaménka). Průběh vnitřních posouvajících sil je dle křivky 1° (viz obrázek 28).

Výpočet vnitřních ohybových momentů:

$$M_{Qk,max} = \frac{1}{8} q_k l^2 = \frac{1}{8} \left(4 * \frac{Q_k}{6,4} \right) l^2 = \frac{1}{8} \left(4 * \frac{212,63}{6,4} \right) 5,1^2 = 432,07 \text{ kNm}$$

Průběh vnitřních momentů je dle paraboly 2° (viz obrázek 28).



Obrázek 28 Průběh vnitřních sil od proměnného zatížení (autor)

2.11.8 Kombinace

Hodnoty návrhových vnitřních sil, na které je konstrukce dále posuzována, jsou získány ze vztahů 6.10a a 6.10b uvedené v ČSN EN 1990 ed. 2. Tyto vztahy jsou pro mezní stav únosnosti:

- vztah 6.10a: $\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
- vztah 6.10b: $\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hodnoty součinitelů jsou dle ČSN EN 1990 ed.2 tabulky A2.3 a A2.4(B):

- $\Psi_0 = 0,80$ pro LM71
- $\gamma_G = 1,35$ pro nepříznivé stálé zatížení
- $\gamma_Q = 1,45$ pro nepříznivé proměnné zatížení (jmenovitě LM71)
- $\xi = 0,85$ pro nepříznivá stálá zatížení

Hodnoty ostatních součinitelů nejsou uvedeny z důvodu absence jejich použití ve vzorcích u této konstrukce.

2.11.9 Návrhové hodnoty vnitřních sil

Vnitřní ohybové momenty

Dle vztahu 6.10a:

$$M_{ed} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * M_{Gk,max} + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} M_{Qk,max}$$

$$M_{ed} = \sum_{j \geq 1} 1,35 * 100,90 + 1,45 * 0,80 * 432,07$$

$$M_{ed} = 637,42 \text{ kNm}$$

Dle vztahu 6.10b:

$$M_{ed} = \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} M_{Gk,max} + \gamma_{Q,1} M_{Qk,max}$$

$$M_{ed} = \sum_{j \geq 1} 0,85 * 1,35 * 100,90 + 1,45 * 432,07$$

$$M_{ed} = 742,28 \text{ kNm}$$

Pro posouzení průřezu na ohyb je počítáno s hodnotou větší, tedy s hodnotou 742,28 kNm.

Vnitřní posouvající síly

Dle vztahu 6.10a:

$$V_{ed} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * V_{Gk,max} + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} V_{Qk,max}$$
$$V_{ed} = \sum_{j \geq 1} 1,35 * 79,15 + 1,45 * 0,80 * 338,88$$
$$V_{ed} = 499,95 \text{ kN}$$

Dle vztahu 6.10b:

$$V_{ed} = \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} V_{Gk,max} + \gamma_{Q,1} V_{Qk,max}$$
$$V_{ed} = \sum_{j \geq 1} 0,85 * 1,35 * 79,15 + 1,45 * 338,88$$
$$V_{ed} = 582,20 \text{ kN}$$

Pro posouzení průřezu na smyk je počítáno s hodnotou větší, tedy s hodnotou 582,20 kN.

2.11.10 Posouzení nosné konstrukce v poli – ohyb

Výpočet je proveden pomocí dvou podmínek pro MSÚ – ohyb.

1.podmínka rovnováhy

$$F_c = F_s$$
$$\lambda * x * b * f_{cd} = A_{S1} * f_{yd}$$
$$x = \frac{A_{S1} * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}}$$
$$z = d - \frac{\lambda}{2} * x$$
$$z = d - \frac{A_{S1} * f_{yd}}{2 * b * f_{cd}}$$

2.podmínka MSÚ

$$M_{ed} \leq M_{rd}$$
$$M_{ed} \leq A_{S1,req} * f_{yd} * \left(d - \frac{A_{S1} * f_{yd}}{2 * b * f_{cd}} \right)$$

$$A_{S1,req} \geq \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * b * d * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{S1,req} \geq \frac{18}{434,78} * 1000 * 341 * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 742,28 * 10^6}{1000 * 341^2 * 18}} \right)$$

$$A_{S1,req} \geq 6505,53 \text{ mm}^2$$

Na 1 šířkový metr nosné konstrukce je potřeba minimálně 6505,53 mm² hlavní ohybové betonářské výztuže. Jsou vybrány pruty Ø32 po 120 mm (viz tabulka 13). Ohybová výztuž by také mohla být navržena ve dvou řadách nad sebou. Z důvodu jednoduššího konstrukčního řešení autor ale vybírá ohybovou výztuž v jedné řadě.

$$A_{S1} = 6702,06 \text{ mm}^2 \geq 6505,53 \text{ mm}^2$$

Tabulka 13 Tabulka betonové výztuže

Průřezová plocha $A_s = \pi * d_s^2 / 4$ [mm ²]							
vzdálenost prutů [mm]	profil prutů d_s [mm]						
	16	18	20	22	25	28	32
90	2234,02	2827,43	3490,66	4223,70	5454,15	6841,69	8936,09
100	2010,62	2544,69	3141,59	3801,33	4908,74	6157,52	8042,48
110	1827,84	2313,35	2855,99	3455,75	4462,49	5597,75	7311,34
115	1748,36	2212,77	2731,82	3305,50	4268,47	5354,37	6993,46
120	1675,52	2120,58	2617,99	3167,77	4090,62	5131,27	6702,06
125	1608,50	2035,75	2513,27	3041,06	3926,99	4926,02	6433,98
130	1546,63	1957,45	2416,61	2924,10	3775,95	4736,56	6186,52
135	1489,35	1884,96	2327,11	2815,80	3636,10	4561,13	5957,39
140	1436,16	1817,64	2243,99	2715,23	3506,24	4398,23	5744,63
145	1386,63	1754,96	2166,62	2621,60	3385,34	4246,57	5546,54
150	1340,41	1696,46	2094,40	2534,22	3272,49	4105,01	5361,65

Zdroj: autor

$$x = \frac{A_{S1} * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} = \frac{6702,06 * 434,78}{0,8 * 1000 * 18} = 202,36 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{\lambda}{2} * x = 341 - \frac{0,8}{2} * 202,36 = 260,06 \text{ mm}$$

$$F_{S1} = A_{S1} * f_{yd} = 6702,06 * 434,78 = 2913,92 \text{ kN}$$

$$M_{rd} = F_{S1} * z = 2913,92 * 260,06 = 757,79 \text{ kNm}$$

$$742,28 \text{ kNm} \leq 757,79 \text{ kNm}$$

Kontrola plochy vyztužení

Navrhovaná výztuž musí spadat do intervalu stanoveného ČSN EN 1992-1-1 ed.2 odst. 9.2.1.

$$A_{S,min} \leq A_{S1} \leq A_{S,max}$$

$$A_{S,min} = \max \left\{ 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_t * d; 0,0013 * b_t * d \right\}$$

- $f_{ctm} = 2,9$ pro C 30/37 dle tabulky 3.1 v ČSN EN 1992-1-1 ed. 2

$$A_{S,min} = \max \left\{ 0,26 * \frac{2,9}{500} * 1000 * 341; 0,0013 * 1000 * 341 \right\}$$

$$A_{S,min} = \max\{514,23; 443,30\}$$

$$A_{S,min} = 514,23 \text{ mm}^2$$

$$A_{S,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 2,23 * 10^6 = 89200 \text{ mm}^2$$

$$514,23 \text{ mm}^2 \leq 6702,06 \text{ mm}^2 \leq 89200 \text{ mm}^2$$

Kontrola osové vzdálenosti prutů

Osová vzdálenost prutů navrhované výztuže nesmí překročit vzdálenost stanovenou v ČSN EN 1992-1-1 ed.2 odst. 9.3.1.1. Bráno pro oslabený průřez.

$$s_{S1} \leq s_{max,slabs}$$

$$s_{max,slabs} = 2h = 2 * 380 \leq 300 \text{ mm}$$

$$s_{max,slabs} = 300 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$$

Navržená hlavní ohybová výztuž vyhoví zadaným podmínkám.

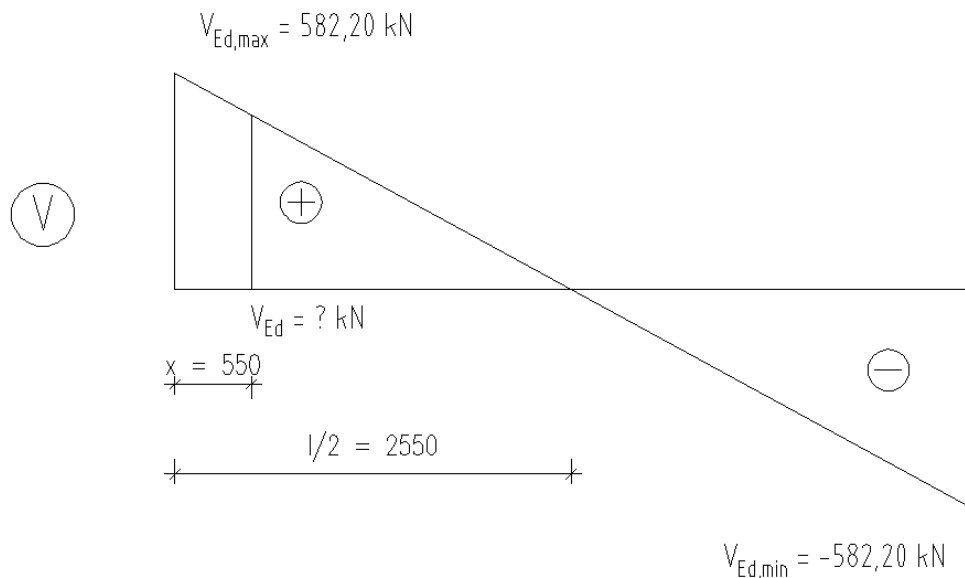
2.11.11 Posouzení nosné konstrukce u podpor – smyk

Výpočet je proveden dle ČSN EN 1992-2 (popřípadě 1992-1-1 ed.2) odst. 6.2. Kvůli proměnné výšce průřezu se snižuje i účinná výška průřezu, a to o 40 mm.

- $d = 341 - 40 = 301 \text{ mm}$

Posouzení betonového průřezu na smyk

Dle ČSN EN 1992-1-1 ed.2 (3) není třeba v oblastech, kde je smyková únosnost samotného betonového průřezu vyšší jak návrhová posouvající síla, navrhovat smykovou výztuž. Vztahy jsou brány z ČSN EN 1992-1-1 ed.2 6.2.2. Je posuzován průřez v místě přechodu z příčníku na desku ve vzdálenosti 550 mm od podpory (viz obrázek 29).



Obrázek 29 Návrhová posouvající síla v místě příčnick x deska (autor)

Z podobnosti trojúhelníku:

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Ed}} = \frac{l/2}{l/2 - x}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,max}(l/2 - x)}{l/2} = \frac{582,20 * (2550 - 550)}{2550}$$

$$V_{Ed} = 456,63 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} * k(100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d$$

s minimumem $V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$

- $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \rightarrow 1 + \sqrt{\frac{200}{301}} = 1,82 \text{ mm}$
- $\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02 \rightarrow \frac{26808,25}{5040 * 301} = 0,018$
- $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 * f_{cd}$ jelikož se nepočítá s osovými silami a hodnota σ_{cp} je pro únosnost příznivá, uvažuje se následující:
- $\sigma_{cp} = 0 \text{ MPa}$
- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$

- $v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,82^{3/2} * 30^{1/2} = 0,47$
- $k_1 = 0,15$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 * 1,82(100 * 0,018 * 30)^{1/3} + 0,15 * 0 \right] * 5040 * 301 = 1252,32 \text{ kN}$$

$$\text{s minimem } V_{Rd,c} = (0,47 + 0,15 * 0) * 5040 * 301 = 713,01 \text{ kN}$$

Uvažuje se větší z hodnot.

$$456,63 \text{ kN} \leq 1252,32 \text{ kN}$$

Podmínka vyhovuje, a proto je smyková výztuž navržena jen z konstrukčních důvodů, a to spony $\varnothing 8$ mm po 150 mm.

2.11.12 Zatížitelnost

Zatížitelnost je vypočtena dle SŽ S5/1 (viz část 1.5).

$$Z_{LM71} = (R_D - \sum_{i=1}^{n-1} E_{rs,Ed,i}) / E_{LM71,Ed}$$

Jsou vypočítány vnitřní síly s nově stanovenými součiniteli:

- $\gamma_{G,bet} = 1,25$ pro prefabrikované betonové prvky mladší než 30 let dle SŽ S5/1 4.3 tabulky 1
- $\gamma_{G,ost} = 1,30$ pro prvky z ostatních materiálů mladší než 30 let dle SŽ S5/1 4.3 tabulky 1
- $\xi = 0,95$ dle SŽ S5/1 4.3.6
- $\alpha = 1,00$ dle SŽ S5/1 4.3.8
- ostatní hodnoty součinitelů se nemění (viz část 2.11.8)

Posouvající síly jsou počítány v místě oslabeného průřezu (viz 2.11.11).

Výpočet vnitřních sil od prefabrikovaných betonových prvků:

Přepočtená stálá zatížení	g_k [kN/m]	roznášecí šířka	G_k [kN/m ²] zatížení vstupující do výpočtu
Vlastní tíha NK	55,87	5,04	11,08
Předpjaté betonové pražce s kolejovým upevněním	4,80	5,04	0,95
SUMA	60,67	-	12,04

$$R_{A,z} = R_{B,z} = \frac{1}{2} G_k * l = \frac{1}{2} 12,04 * 5,1 = 30,70 \text{ kN}$$

$$V_{ed,max,bet} = R_{A,z} = -R_{B,z}$$

$$\frac{V_{ed,max,bet}}{V_{ed,bet}} = \frac{l/2}{l/2 - x}$$

$$V_{ed,bet} = \frac{V_{ed,max,bet}(l/2 - x)}{l/2} = \frac{30,70 * (2550 - 550)}{2550}$$

$$V_{ed,bet} = 24,08 \text{ kN}$$

$$M_{ed,bet} = \frac{1}{8} G_k l^2 = \frac{1}{8} 12,04 * 5,1^2 = 39,15 \text{ kNm}$$

Výpočet vnitřních sil od prvků z ostatních materiálů:

Přepočtená stálá zatížení	g_k [kN/m]	roznášecí šířka	G_k [kN/m ²] zatížení vstupující do výpočtu
Hydroizolační systém (+20 % tl.)	9,49	5,04	1,88
2x betonová římsa	10,37	5,04	2,06
Kolejové lože (+ 30 % tloušťky)	73,30	5,04	14,54
2x kolejnice 49E1	1,20	5,04	0,24
2x zábradlí	1,00	5,04	0,20
2x kabelové žlaby	0,40	5,04	0,08
SUMA	75,90	-	19,00

$$R_{A,z} = R_{B,z} = \frac{1}{2} G_k * l = \frac{1}{2} 19,00 * 5,1 = 48,45 \text{ kN}$$

$$V_{ed,max,ost} = R_{A,z} = -R_{B,z}$$

$$\frac{V_{ed,max,ost}}{V_{ed,ost}} = \frac{l/2}{l/2 - x}$$

$$V_{ed,ost} = \frac{V_{ed,max,ost}(l/2 * x)}{l/2} = \frac{48,45 * (2550 - 550)}{2550}$$

$$V_{ed,ost} = 38,00 \text{ kN}$$

$$M_{ed,ost} = \frac{1}{8} G_k l^2 = \frac{1}{8} 19,00 * 5,1^2 = 61,77 \text{ kNm}$$

Výpočet vnitřních sil od proměnného zatížení:

Hodnota vnitřních sil z části 2.11.7 je podělena 1,1, aby bylo zajištěno, že $\alpha = 1,00$.

Posouvající síla je znovu přepočtena na místo oslabeného průřezu.

$$\frac{V_{Qk,max}}{1,1 * V_{ed,Q}} = \frac{l/2}{l/2 - x}$$
$$V_{ed,Q} = \frac{V_{Qk,max}(l/2 - x)}{1,1 * l/2} = \frac{338,88 * (2550 - 550)}{1,1 * 2550}$$
$$V_{ed,Q} = 241,63 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Qk,max}}{1,1} = M_{ed,Q}$$
$$\frac{432,07}{1,1} = 392,80 \text{ kNm}$$
$$M_{ed,Q} = 392,80 \text{ kNm}$$

Ohyb v poli

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{ed,G})/M_{ed,Q}$$

Dle vztahu 6.10a:

$$M_{ed} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,bet} * M_{ed,bet} + \gamma_{G,ost} * M_{ed,ost} + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} M_{ed,Q}$$
$$M_{ed} = \sum_{j \geq 1} 1,25 * 39,15 + 1,30 * 61,77 + 1,45 * 0,8 * 392,80$$
$$M_{ed} = 584,89 \text{ kNm}$$

Dle vztahu 6.10b:

$$M_{ed} = \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,bet} M_{ed,bet} + \xi_j \gamma_{G,ost} M_{ed,ost} + \gamma_{Q,1} M_{ed,Q}$$
$$M_{ed} = \sum_{j \geq 1} 0,95 * 1,25 * 39,15 + 0,95 * 1,30 * 61,77 + 1,45 * 392,80$$
$$M_{ed} = 692,34 \text{ kNm}$$

Uvažují se hodnoty z 6.10b.

- $M_{rd} = 757,79 \text{ kNm}$ viz 2.11.10
- $M_{ed,G} = \xi_j \gamma_{G,bet} M_{ed,bet} + \xi_j \gamma_{G,ost} M_{ed,ost} = 0,95 * 1,25 * 39,15 + 0,95 * 1,30 * 61,77 = 122,78 \text{ kNm}$

- $M_{ed,Q} = \gamma_{Q,1} M_{ed,Q} = 1,45 * 392,80 = 569,56 \text{ kNm}$

$$Z_{LM71} = (757,79 - 122,78)/569,56$$

$$Z_{LM71} = 1,12$$

Smyk u podpor

Zatížitelnost ve smyslu smyku u podpor se uvažuje v nejslabším průřezu, tedy 550 mm od podpor (viz 2.11.11).

$$Z_{LM71} = (V_{rd} - V_{ed,G})/V_{ed,Q}$$

Dle vztahu 6.10a:

$$V_{ed} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,bet} * V_{ed,bet} + \gamma_{G,ost} * V_{ed,ost} + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} V_{ed,Q}$$

$$V_{ed} = \sum_{j \geq 1} 1,25 * 24,08 + 1,30 * 38,00 + 1,45 * 0,8 * 241,63$$

$$V_{ed} = 359,79 \text{ kN}$$

Dle vztahu 6.10b:

$$V_{ed} = \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,bet} V_{ed,bet} + \xi_j \gamma_{G,ost} V_{ed,ost} + \gamma_{Q,1} V_{ed,Q}$$

$$V_{ed} = \sum_{j \geq 1} 0,95 * 1,25 * 24,08 + 0,95 * 1,30 * 38,00 + 1,45 * 241,63$$

$$V_{ed} = 425,89 \text{ kN}$$

Uvažují se hodnoty z 6.10b.

- $V_{rd} = 1244,00 \text{ kN}$ viz 2.11.11
- $V_{ed,G} = \xi_j \gamma_{G,bet} V_{ed,bet} + \xi_j \gamma_{G,ost} V_{ed,ost} = 0,95 * 1,25 * 24,08 + 0,95 * 1,30 * 38,00 = 75,53 \text{ kN}$
- $V_{ed,Q} = \gamma_{Q,1} V_{ed,Q} = 1,45 * 241,63 = 350,36$

$$Z_{LM71} = (1244,00 - 75,53)/350,36$$

$$Z_{LM71} = 3,34$$

Přehled zatížitelnosti dle SŽ S5/1

A. Identifikace mostu

TÚ (číslo, název): 1561 Týniště nad Orlicí – Mioszów

DÚ: 02 Týniště nad Orlicí – Bolehošť

km: 30,458

B. Identifikace části mostu

Část mostu: **nosná konstrukce** / ~~opěra~~ / ~~pilíř~~, poř. číslo NK 01, pod kolejí č. 1
(ve směru staničení)

C. Doplnující údaje části mostu

Kategorie zatížitelnosti: C Výpočtový model: 2D prut

Geometrie koleje, uvažovaná v přepočtu části mostu (ve směru staničení):

	na začátku	uprostřed	na konci
poloměr oblouku	<u>přímá [m]</u>	<u>přímá [m]</u>	<u>přímá [m]</u>
převýšení koleje	<u>0 [mm]</u>	<u>0 [mm]</u>	<u>0 [mm]</u>
excentricita osy koleje	<u>0 [m]</u>	<u>0 [m]</u>	<u>0 [m]</u>

Směrná úroveň spolehlivosti: β = neuvažuje se, zbytková životnost: bez omezení

Popis použitých úlev: Přepočten je proveden pro rekonstruovanou konstrukci

Popis závad uvažovaných v přepočtu části mostu: Nejsou.

Poznámka k části mostu či k rozhodující poloze zatížení

Tabulka 14 Přehled zatížitelnosti dle SŽ S5/1

Poř. číslo	Prvek	Detail	Namáhání	k_i	Typ	L_p	Φ_i	L_Φ	$Y_{Q,LM71}$	$Y_{Q,LM71,E}$	Viz č. str. přepočtu	Z_{LM71}	$Z_{LM71,E}$	Poznámky
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	NK - deska, střed rozpětí	MSÚ	ohyb		M	5,10	1,78	5,10	1,45		72	1,12		NE
2	NK - deska, oslabený průřez u podpor	MSÚ	snyk		V	5,10	1,78	5,10	1,45		72-73	3,34		NE

Zdroj: SŽ S5/1, 2021, s. 116 (upraveno autorem)

ZÁVĚR

V teoretické části zaměřené na řešení vad a poruch železobetonových konstrukcí byly nejdříve definovány pojmy vada a porucha. Následně byly popsány nejčastější příčiny těchto jevů, a to jak z hlediska projekčních, konstrukčních a realizačních chyb, tak z hlediska stupňů vlivu prostředí. V návaznosti na to byly představeny technologie sanací železobetonových konstrukcí. V závěru teoretické části bakalářské práce byly vysvětleny pojmy zatížitelnost a přechodnost.

V úvodu praktické části bylo představeno samotné zadání rekonstrukce pro řešení objekt. Dále byly vypsány základní údaje o stavbě i o objektu, rozsah posuzovaných konstrukcí a byla popsána navrhovaná mostní konstrukce. Ta byla navržena dle pokynů zadání. Nosná konstrukce je ve formě železobetonové desky, která společně s římsami umožňuje průběžně částečně otevřené kolejové lože. Byly také navrženy železobetonové úložné bloky s ozubem a železobetonová křídla ve formě dvou úhlových zdí, která vyhovují novým svahům. Přechodové části konstrukce byly navrženy pro dostatečné odvodnění pomocí svahovaného podkladního betonu, odvodňovací trubky a svahovaných nepropustných zemín. Před samotným statickým výpočtem byl ještě představen výpočetní model, pomocí materiálových součinitelů byly přepočteny charakteristiky materiálů a byla navržena betonová krycí vrstva. Na začátku statického výpočtu byla vypočtena zatížení s tím, že před výpočtem proměnného zatížení bylo provedeno posouzení na nutnost dynamické analýzy. To ukázalo, že dynamická analýza není požadována, a tudíž se proměnné zatížení pouze mohlo vynásobit vypočteným dynamickým součinitelem. Byla také uvedena zatížení, která se ve výpočtu nezahrnují. Následně byly vypočteny vnitřní síly a výsledky sloužily jako vstupní hodnoty do kombinačních vzorců 6.10a a 6.10b. Ze získaných návrhových hodnot vnitřních sil se provedlo posouzení nosné konstrukce na MSÚ. Z výsledků posouzení na ohyb v poli byla navržena hlavní ohybová výztuž – pruty Ø32 mm po 120 mm. Nabízela se také možnost dát dvě řady prutů nad sebou, ale pro jednoduchost konstrukčního řešení se vybrala varianta pouze s jednou řadou prutů. Pro posouzení na smyk u podpor byla přepočítána posouvající síla tak, aby odpovídala posuzovanému místu v oslaběném průřezu (550 mm od podpory). Výsledky ukázaly, že betonový průřez nosné konstrukce smykové napětí přenesou i bez vyztužení. Byla proto navržena smyková výztuž pouze z konstrukčních důvodů – spony Ø8 mm po 150 mm. Nakonec byla spočtena zatížitelnost navrhované mostní konstrukce, která v obou případech vyhověla. Zpracované přehledné výkresy pro stávající a nový stav jsou v přílohové části bakalářské práce.

POUŽITÁ LITERATURA

Knižní zdroje, články:

- BALONIS, Magdalena et al., 2010. *Impact of chloride on the mineralogy of hydrated Portland cement systems*. *Cement And Concrete Research* [online]. 2010, 1009-1022 [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconres.2010.03.002
- BAMFORTH, Phillip B., 2014. *Concrete durability by design: Limitations of the current prescriptive approach and alternative methods for durability design*. *Semantic scholar* [online]. 2014, 2014 [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: semanticscholar.org
- BILČÍK, Juraj a Jiří DOHNÁLEK, 2003. *Sanace betonových konstrukcí*. Bratislava: Jaga group. ISBN 80-88905-24-9.
- COLLEPARDI, Mario, 2009. *Moderní beton*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT. Betonové stavitelství. ISBN 978-80-87093-75-7.
- DOBŘÝ, Oldřich a Ladislav PALEK, 1988. *Koroze betonu ve stavební praxi*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Knižnice technických aktualit. ISBN 04-732-88.
- MATOUŠEK, Milan a Rostislav DROCHYTKA, 1998. *Atmosférická koroze betonů*. Praha: IKAS. ISBN 80-902558-0-9.
- NEČAS, Radim. *Mosty z prefabrikátů*. <http://www.necasradim.cz> [online]. [cit. 24. 2. 2022]. Dostupné z: <http://necasradim.cz/>
- PETERSEN, C. G., 1993. *RTC Profile Grinding Kit for in-situ Evaluation of the Chloride Diffusion Coefficient and the Remaining Service Life of a Reinforced Concrete Structures*. Sweden, Gothenburg: Symposium Charmers Technical University.
- PÖTZL, Michael, 1996. *Robuste Brücken*. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag. ISBN 978-3528081348.
- RYBICKI, Rudolf, 1979. *Bauschäden an Tragwerken*. 1. Düsseldorf: Werner Verlag. ISBN 978-3804130234.
- ŠMERDA, Zdeněk, 1999. *Životnost betonových staveb*. Praha: Český svaz stavebních inženýrů. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-902697-8-8.

Normy, předpisy, zákony, vyhlášky:

ČESKO, 2009. *Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby – znění od 12. 11. 2021*. 2009, § 8 odst. 1. Dostupný také z: <https://mmr.cz/getmedia/2bf72909-e837-4dc8-9488-599950e8f9f6/Vyhlaska-MMR-268-2009>

ČESKO, 2012. *Zákon č. 89/2012 Sb. občanský zákoník – znění od 1. 7. 2021*, In: *Občanský zákoník*. 2012, § 2095, 2096, 2099 odst. 1. Dostupný také z: https://www.mmr.cz/getmedia/b4ca912e-4cfc-4c15-86fe-005af246fe88/obcansky-zakonik_1.pdf

ČSN EN 1504-2. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 2: Systémy ochrany povrchu betonu*, 2006. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN 1504-9. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 9: Obecné zásady pro používání výrobků a systémů*, 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN 15528. *Železniční aplikace – Traťové třídy zatížení pro určení vztahu mezi dovoleným zatížením infrastruktury a maximálním zatížením vozidla*, 2016. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN 206+A2, 2021. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Třídící znak 513231.

ČSN 73 0038, 2019. *Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – doplňující ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Třídící znak 508851.

ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*, 2018. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN ISO 8501-1. *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*, 2007. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Kategorie železničních tratí z hlediska mostů, 2017. In: <https://www.spravazeleznic.cz> [online]. Praha: Správa železnic, státní organizace, 01/2017 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/dodavatele-odberatele/technicke-pozadavky-na-vyrobky-zarizeni-a-technologie-pro-zdc/zeleznicni-mosty-a-tunely/2.2.kategorizace-trati>

M07: Dovolené traťové třídy zatížení, 2021. In: <https://www.rovoz.spravazeleznic.cz> [online]. Praha: Správa železnic, státní organizace [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznic.cz/portal/viewarticle.aspx?oid=594598>

Průvodce betonářskou normou ČSN EN 206+A1 a ČSN P 73 2404, 2020.

In: *Ebeton.cz* [online]. Praha: Svaz výrobců betonu ČR [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/pruvodce-normou-csn-en-206a1/>

SŽ S5/1. *Diagnostika, zatížitelnost a přechodnost železničních mostních objektů*, 2021. Praha: Správa železniční, státní organizace.

Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah. *Kapitola 23 - sanace inženýrských objektů*, 2006. Třetí – aktualizované vydání se zapracovanou změnou č. 5 /z roku 2006/. Praha: České dráhy, a.s., Technická ústředna Českých drah.

Všeobecný (základní) návod na použití betonu, 2020. In: *ZAPA.cz* [online]. Praha: Svaz výrobců betonu ČR [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://www.zapa.cz/cs/downloads>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Nežádoucí účinky příměsí a přísad betonu	17
Tabulka 2	Stupně vlivu prostředí	22
Tabulka 3	Stupně vlivu prostředí – dokončení	23
Tabulka 4	Požadavky na betony vzhledem ke stupňům vlivu prostředí.....	24
Tabulka 5	Maximální obsah chloridů v betonu.....	26
Tabulka 6	Přehled technologií předúprav betonu a frekvence jejich použití.....	31
Tabulka 7	Stupně otryskání.....	32
Tabulka 8	Přehled technologií úprav povrchu výztuže a frekvence jejich použití	32
Tabulka 9	Přehled technologií sanace výztuže a frekvence jejich použití.....	33
Tabulka 10	Přehled technologií pro ochranu povrchu betonu	35
Tabulka 11	Případy použití výplňových materiálů	36
Tabulka 12	Modelová vozidla jednotlivých TTZ	41
Tabulka 13	Tabulka betonové výztuže	67
Tabulka 14	Přehled zatížitelnosti dle SŽ S5/1	74

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Mostní prefabrikát z předpjatého betonu KA-73	15
Obrázek 2	Vada vyvolaná složitým konstrukčním návrhem.....	16
Obrázek 3	Návod na použití betonu	20
Obrázek 4	Stupně vlivu prostředí u mostní konstrukce.....	21
Obrázek 5	Impregnace a nátěr	34
Obrázek 6	LM71	37
Obrázek 7	Schéma zatížitelnosti.....	39
Obrázek 8	M07 Dovolené traťové třídy zatížení.....	40
Obrázek 9	Schéma modelových vozidel TTZ	41
Obrázek 10	Půdorys – stávající stav.....	43
Obrázek 11	Podélný řez/pohled – stávající stav	44
Obrázek 12	Příčný řez – stávající stav.....	45
Obrázek 13	Půdorys – nový stav	49
Obrázek 14	Podélný řez/pohled – nový stav	49
Obrázek 15	Příčný řez – nový stav	50
Obrázek 16	Výpočetní model	51
Obrázek 17	Porovnání bilineárního a rektangulárního pracovního diagramu betonu v tlaku.....	52
Obrázek 18	Schéma rozdělení napětí v průřezu	52
Obrázek 19	Schéma výztuže.....	54
Obrázek 20	Upravený LM71 – schéma uvažovaného zatížení pro ohyb.....	58
Obrázek 21	Kategorie železničních tratí z hlediska mostů.....	59
Obrázek 22	Náhradní délky pro určení dynamického součinitele.....	60
Obrázek 23	Schéma kolových zatížení.....	60
Obrázek 24	Roznos zatížení na nosnou konstrukci	61
Obrázek 25	Uvažovaná hodnota zatížení od LM71	61
Obrázek 26	Roznášecí šířky	62
Obrázek 27	Průběh vnitřních sil od stálého zatížení	63
Obrázek 28	Průběh vnitřních sil od proměnného zatížení.....	64
Obrázek 29	Návrhová posouvající síla v místě příčník x deska.....	69

SEZNAM ZKRATEK

ASR	alkalicko-křemičitá reakce
ČD	České Dráhy
LM71	zatěžovací model 71
NK	nosná konstrukce
OP	opěra
SŽ	Správa železnic
TTZ	traťové třídě zatížení
MSÚ	mezní stav únosnosti
MSP	mezní stav použitelnosti

SEZNAM PŘÍLOH


Příloha A Výkres č. 1 – Půdorys – stávající stav	1:50
Příloha B Výkres č. 2 – Podélný řez/pohled – stávající stav	1:50
Příloha C Výkres č. 3 – Příčný řez v poli – stávající stav	1:50
Příloha D Výkres č. 4 – Půdorys – nový stav	1:50
Příloha E Výkres č. 5 – Podélný řez/pohled – nový stav	1:50
Příloha F Výkres č. 6 – Příčný řez v poli – nový stav	1:50

V tištěné formě bakalářské práce je přílohová část odděleně.

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
PŘÍLOHOVÁ ČÁST

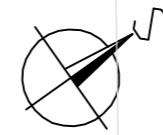
NAVRHL	VYPRACOVAL	KONTROLOVAL	UNIVERZITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA	
Vojtěch Čerovský	Vojtěch Čerovský	Ing. Pavel Jiříček, Ph.D.		
ŠKOLNÍ ROK: 2021/2022				
ROČNÍK: 4.		KATEDRA: Dopravní stavitelství		
Návrh rekonstrukce železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí - Opočno pod Orlickými horami				

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Výkres č. 1 – Půdorys – stávající stav	1:50
Příloha B Výkres č. 2 – Podélný řez/pohled – stávající stav	1:50
Příloha C Výkres č. 3 – Příčný řez v poli – stávající stav	1:50
Příloha D Výkres č. 4 – Půdorys – nový stav	1:50
Příloha E Výkres č. 5 – Podélný řez/pohled – nový stav	1:50
Příloha F Výkres č. 6 – Příčný řez v poli – nový stav	1:50

Půdorys 1:50
stávající stav

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

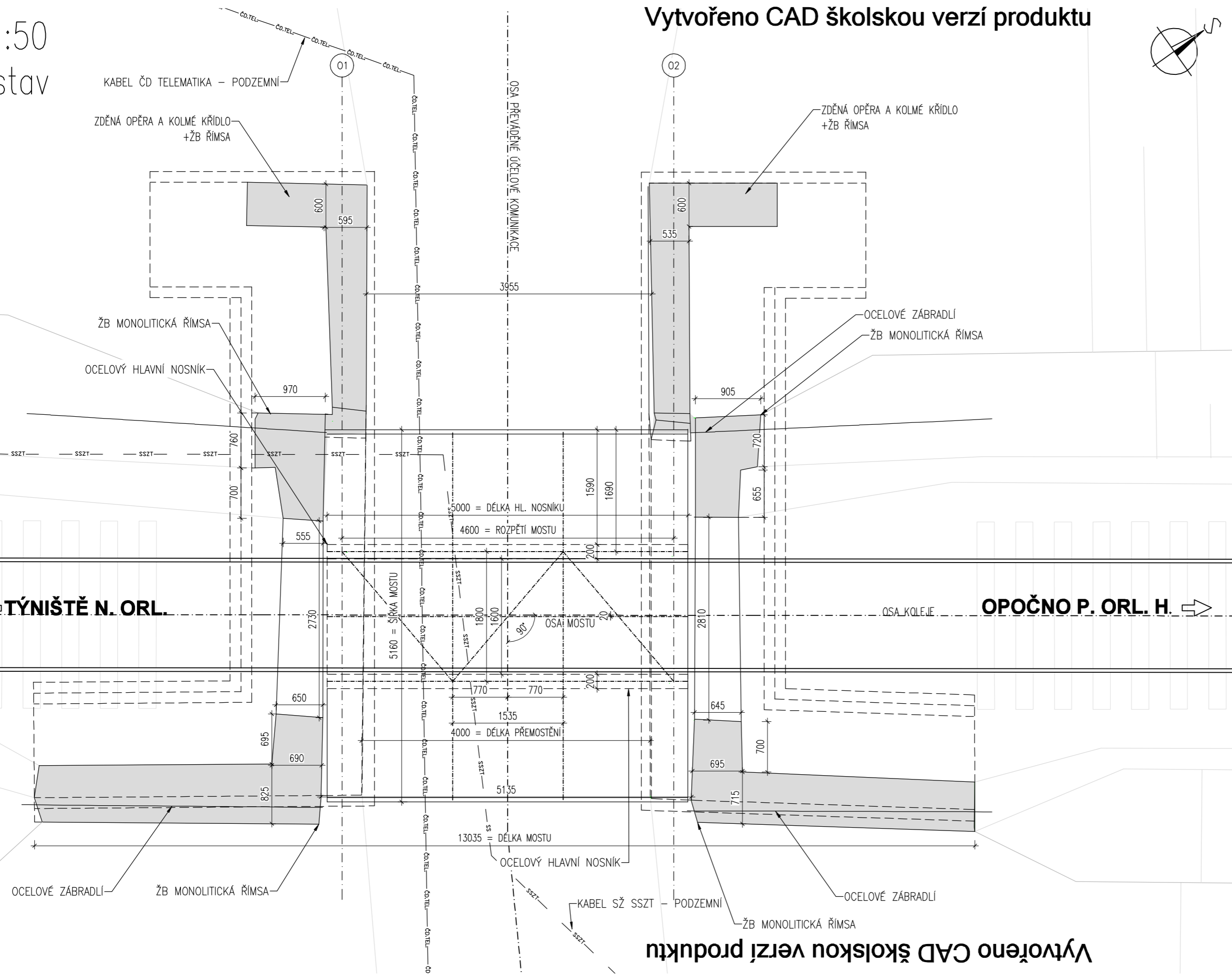


Legenda značení:

- Stávající stav
- Stávající terén
- SSZT — Inženýrské sítě SŽ a ČD
- ▭ Římasy

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu



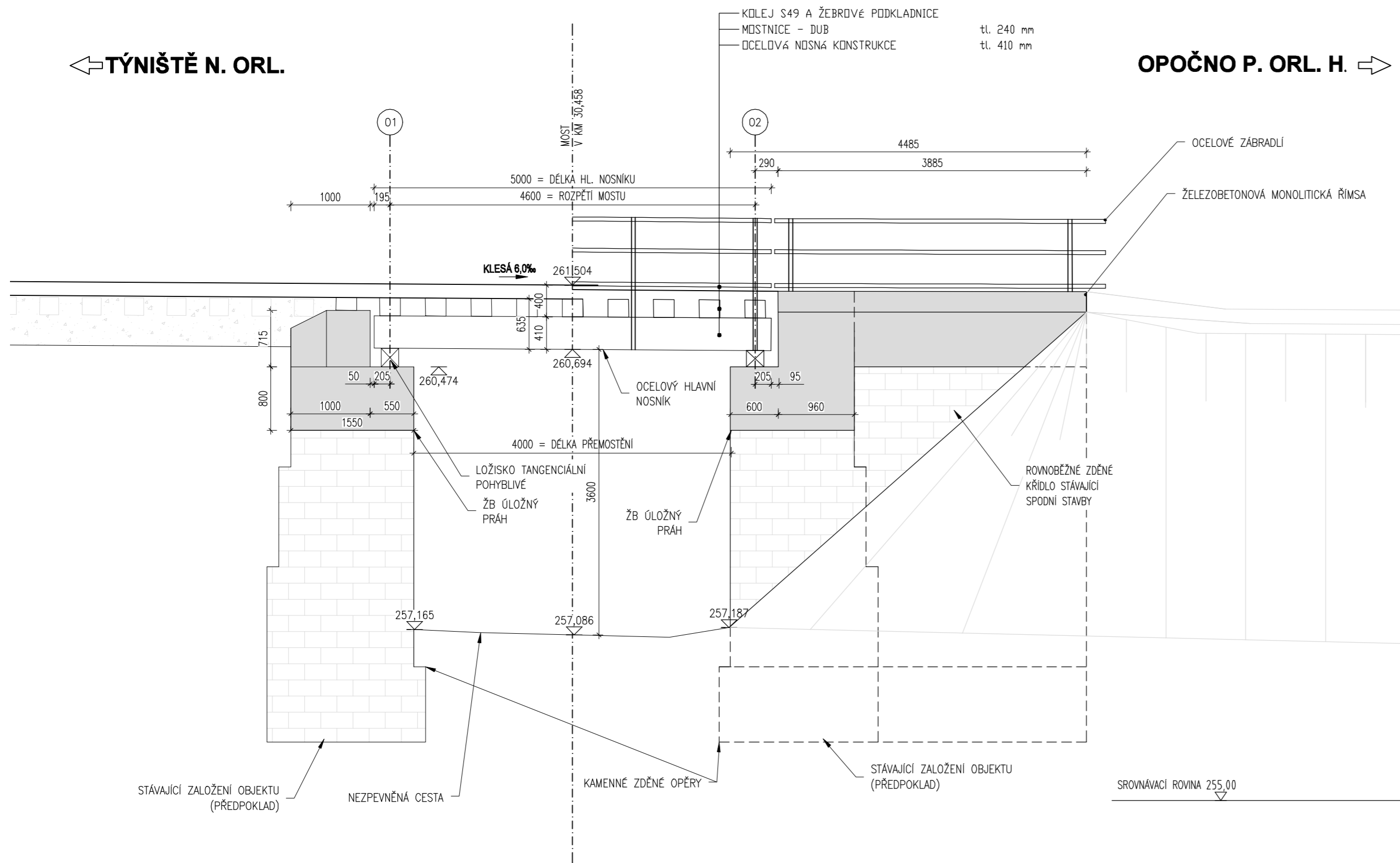
Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

Souřadnicový systém S-JTSK
Výškový systém Bpv

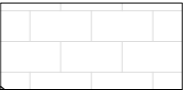


NAVRHL Vojtěch Čerovský	VYPRACOVAL Vojtěch Čerovský	KONTRLOVAL Ing. Pavel Jiříček, Ph.D.	UNIVERZITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
ŠKOLNÍ ROK: 2021/2022		KATEDRA: Dopravní stavitelství	DATUM 25.04.2022
ROČNÍK: 4.			FORMÁT 3A4
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE - Návrh rekonstrukce železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí - Opočno pod Orlickými horami			ČÍSLO VÝKRESU 1
Půdorys - stávající stav			MĚŘÍTKO VÝKRESU 1:50

Podélný řez/pohled 1:50
stávající stav

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu



Legenda značení:

- Stávající stav
- Stávající terén
-  Stávající zděná spodní stavba
-  Římsy, křídla, úložné prahy
-  Štěrkové kolejové lože

Souřadnicový systém S-JTSK
Výškový systém Bp

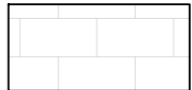
NAVRHL Vojtěch Čefovský	VYPRACOVAL Vojtěch Čefovský	KONTRLOVAL Ing. Pavel Jiříček, Ph.D.	UNIVERZITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
ŠKOLNÍ ROK: 2021/2022		DATUM 25.04.2022	
ROČNÍK: 4.		KATEDRA: Dopravní stavitelství	
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE - Návrh rekonstrukce železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí - Opočno pod Orlickými horami		ČÍSLO VÝKRESU 2	FORMÁT 3A4
Podélný řez/pohled - stávající stav		MĚŘÍTKO VÝKRESU 1:50	

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

Příčný řez v poli 1:50
stávající stav

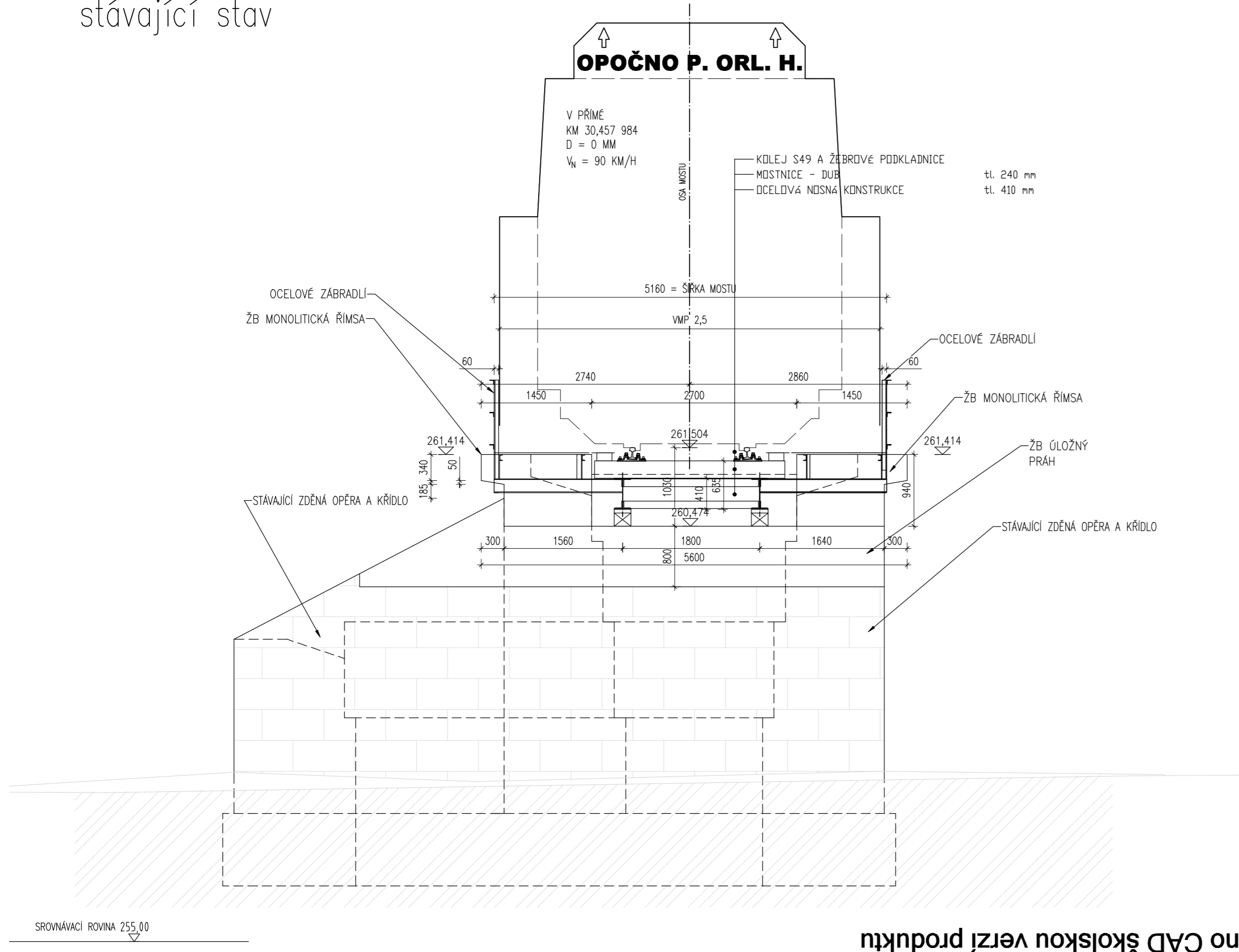
Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

Legenda značení:

- Stávající stav
- Stávající terén
-  Stávající zděná spodní stavba

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu



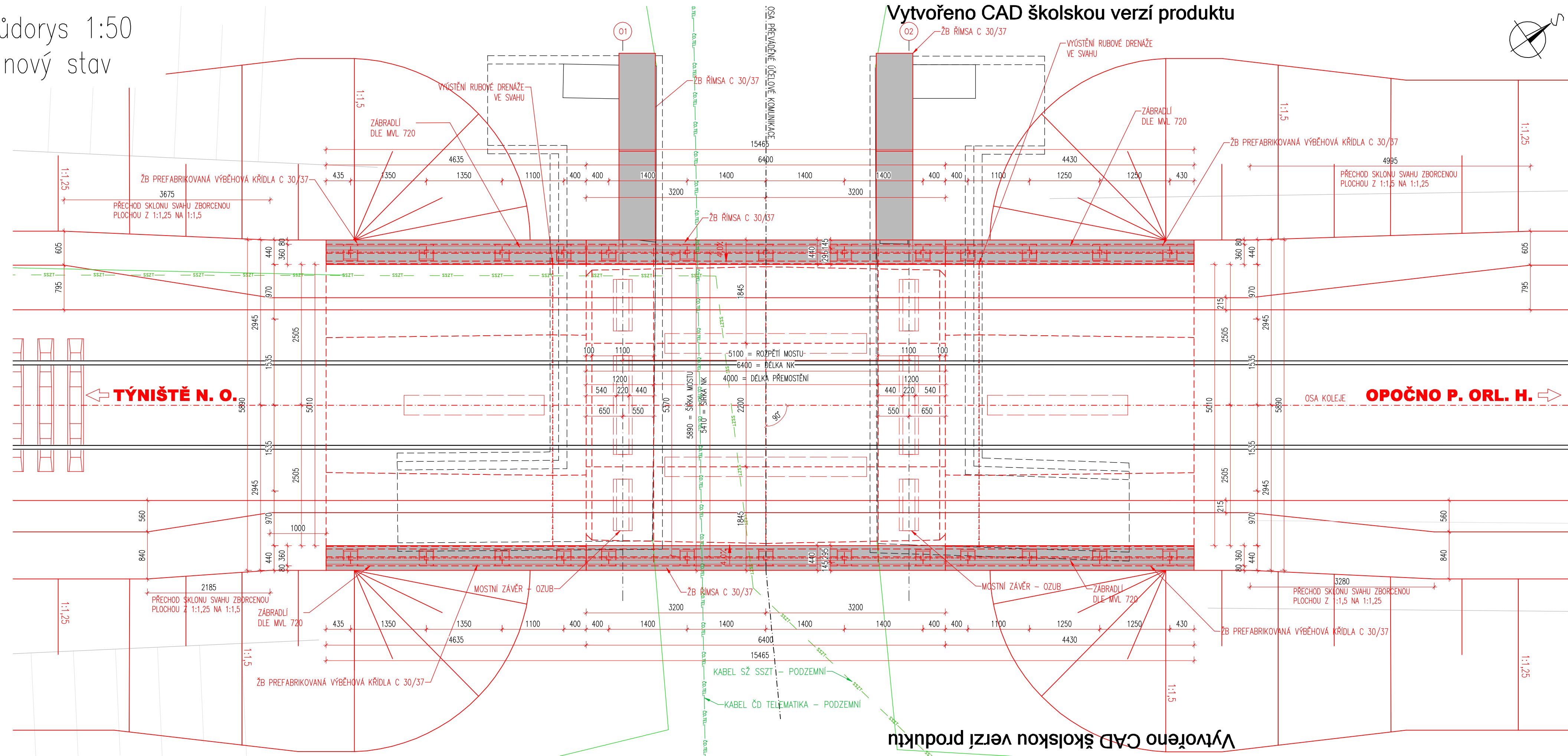
Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

Souřadnicový systém S-JTSK
Výškový systém Bp

NAVRHL Vojtěch Čerovský	VYPRACOVAL Vojtěch Čerovský	KONTROLOVAL Ing. Pavel Jiříček, Ph.D.	UNIVERZITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
ŠKOLNÍ ROK: 2021/2022		DATUM: 25.04.2022	
ROČNÍK: 4.		KATEDRA: Dopravní stavitelství	
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE - Návrh rekonstrukce železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí - Opočno pod Orlickými horami			ČÍSLO VÝKRESU: 3
Příčný řez v poli - stávající stav			MĚŘÍTKO VÝKRESU: 1:50

SROVNÁVACÍ ROVINA 255,00

Půdorys 1:50
nový stav



Legenda značení:

- Nový stav
- Stávající stav
- Stávající svahy
- SSZT Inženýrské sítě SŽ
- Nové římsy

Souřadnicový systém S–JTSK
Výškový systém Bpv

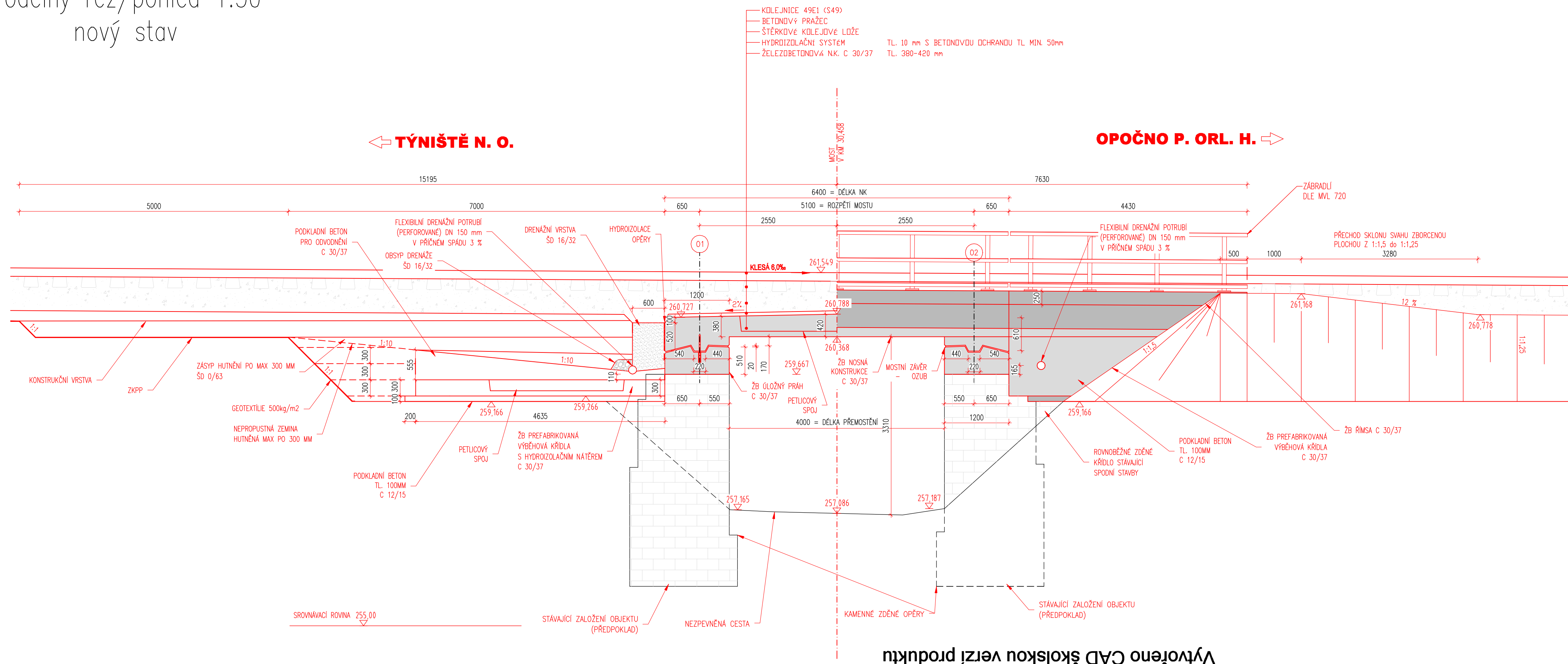
Soupis použitých konstrukčních betonů:

- Nosná konstrukce C 30/37 – XC4, XF2, XD1 (F.1.2) – CI 0,1 – Dmax16 – S4
- Úložné bloky C 30/37 – XC4, XF4, XD1 (F.1.2) – CI 0,1 – Dmax16 – S4
- ŽB římsy C 30/37 – XC4, XD3, XF4 (F.1.2) – CI 0,1 – Dmax16 – S4
- Výběhová mostní křídla C 30/37 – XC4, XF2, XD1 (F.1.2) – CI 0,2 – Dmax16 – S4
- Podkladní beton výběhového křídla C 12/15 – XC2, XA1, XF1 (F.1.2) – CI 0,2 – Dmax16 – S4
- Podkladní beton pro odvodnění křídel C 30/37 – XC4, XF2, XD1 (F.1.2) – CI 0,2 – Dmax16 – S4

NAVRHL Vojtěch Čerovský	VYPRACOVAL Vojtěch Čerovský	KONTROLOVAL Ing. Pavel Jiříček, Ph.D.	UNIVERZITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
ŠKOLNÍ ROK: 2021/2022			DATUM 25.04.2022
ROČNÍK: 4.		KATEDRA: Dopravní stavitelství	FORMÁT 4A4
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE - Návrh rekonstrukce železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí - Opočno pod Orlickými horami			ČÍSLO VÝKRESU 4
Půdorys - nový stav			MĚŘÍTKO VÝKRESU 1:50

Podélný řez/pohled 1:50
nový stav

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu



Legenda značení:

- Nový stav
- Stávající stav
- Stávající zděná spodní stavba
- Nová NK, římsy, křídla, úložné prahy
- Štěrkové kolejové lože
- Drenážní vrstva a obsyp drenáže

Souřadnicový systém S-JTSK
Výškový systém Bpv

Soupis použitých konstrukčních betonů:

- Nosná konstrukce C 30/37 - XC4, XF2, XD1 (F.1.2) - CI 0,1 - Dmax16 - S4
- Úložné bloky C 30/37 - XC4, XF4, XD1 (F.1.2) - CI 0,1 - Dmax16 - S4
- ŽB římsy C 30/37 - XC4, XD3, XF4 (F.1.2) - CI 0,1 - Dmax16 - S4
- Výběhová mostní křídla C 30/37 - XC4, XF2, XD1 (F.1.2) - CI 0,2 - Dmax16 - S4
- Podkladní beton výběhového křídla C 12/15 - XC2, XA1, XF1 (F.1.2) - CI 0,2 - Dmax16 - S4
- Podkladní beton pro odvodnění křídel C 30/37 - XC4, XF2, XD1 (F.1.2) - CI 0,2 - Dmax16 - S4

NAVRHL Vojtěch Čerovský	VYPRACOVAL Vojtěch Čerovský	KONTRLOVAL Ing. Pavel Jiříček, Ph.D.	UNIVERZITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
ŠKOLNÍ ROK: 2021/2022			DATUM 25.04.2022
ROČNÍK: 4.		KATEDRA: Dopravní stavitelství	FORMÁT 4A4
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE - Návrh rekonstrukce železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí - Opočno pod Orlickými horami			ČÍSLO VÝKRESU 5
Podélný řez/pohled - nový stav			MĚŘÍTKO VÝKRESU 1:50

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

Příčný řez v poli 1:50
nový stav

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

Legenda značení:

- Nový stav
- Stávající stav
- Nová římsa na kolmém křídle
- Nosná konstrukce
- Stávající zděná spodní stavba

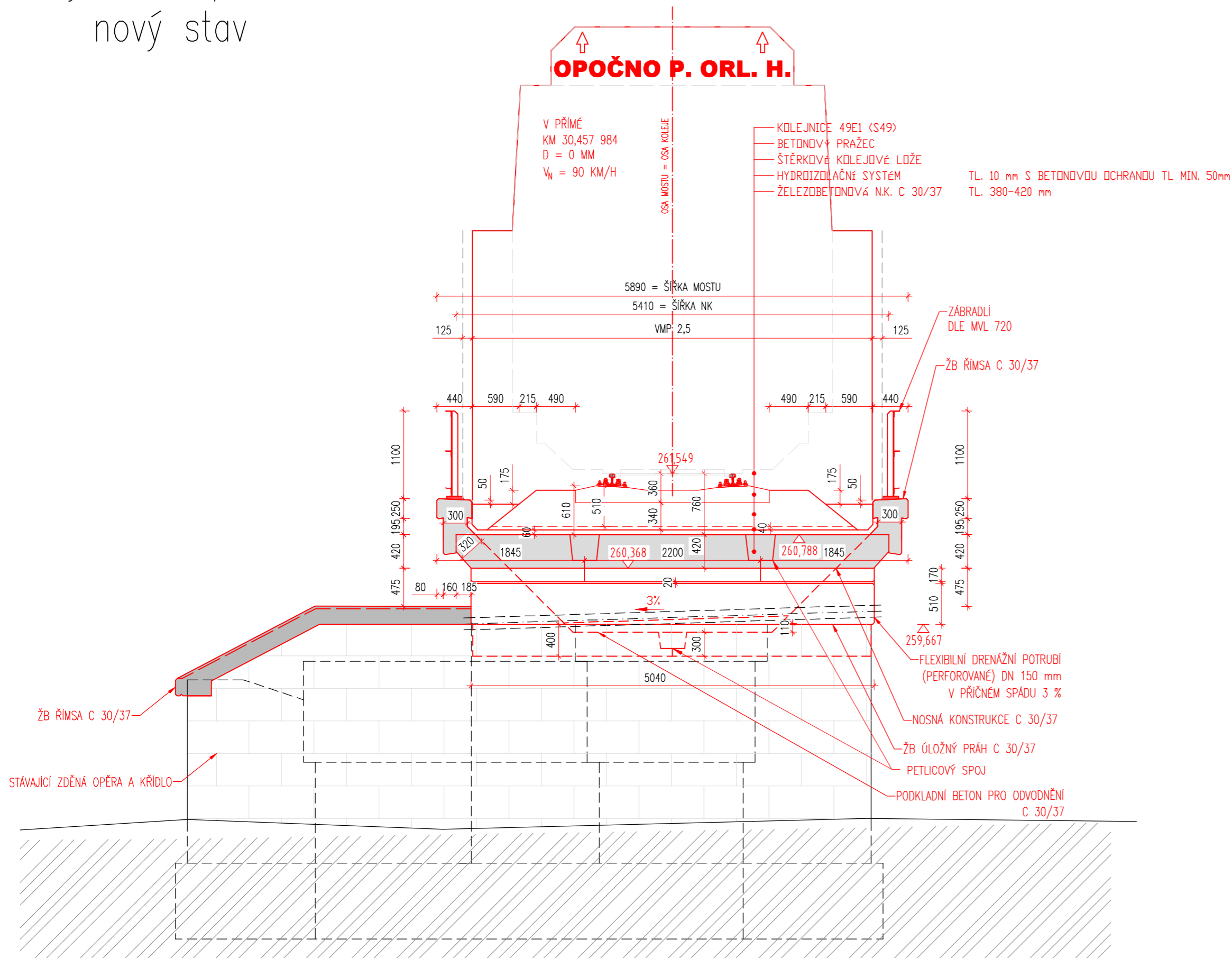
Souřadnicový systém S-JTSK
Výškový systém BpV

Soupis použitých konstrukčních betonů:

- Nosná konstrukce C 30/37 – XC4, XF2, XD1 (F.1.2) – CI 0,1 – Dmax16 – S4
- Úložné bloky C 30/37 – XC4, XF4, XD1 (F.1.2) – CI 0,1 – Dmax16 – S4
- ŽB římsy C 30/37 – XC4, XD3, XF4 (F.1.2) – CI 0,1 – Dmax16 – S4
- Výběhová mostní křídla C 30/37 – XC4, XF2, XD1 (F.1.2) – CI 0,2 – Dmax16 – S4
- Podkladní beton výběhového křídla C 12/15 – XC2, XA1, XF1 (F.1.2) – CI 0,2 – Dmax16 – S4
- Podkladní beton pro odvodnění křídel C 30/37 – XC4, XF2, XD1 (F.1.2) – CI 0,2 – Dmax16 – S4

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

Vytvořeno CAD školskou verzí produktu



Vytvořeno CAD školskou verzí produktu

NAVŘHL	VYPRACOVAL	KONTRLOVAL	UNIVERZITA PARDUBICE	
Vojtěch Čerovský	Vojtěch Čerovský	Ing. Pavel Jiříček, Ph.D.	DOPRAVNÍ FAKULTA	
			JANA PERNERA	
ŠKOLNÍ ROK: 2021/2022			DATUM	25.04.2022
ROČNÍK: 4.		KATEDRA: Dopravní stavitelství	FORMÁT	3A4
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE - Návrh rekonstrukce železniční mostní konstrukce v km 30,458 na traťovém úseku Týniště nad Orlicí - Opočno pod Orlickými horami			ČÍSLO VÝKRESU	6
Příčný řez v poli - nový stav			MĚŘÍTKO VÝKRESU	1:50