



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA

SPOLOČNE BEZ HRANÍC

KOROZNÍ POŠKOZENÍ MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ

doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D., Ing. Monika Kubzová (VŠB-TUO)

NÁZOV PROJEKTU:



**Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov
v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne
(Kód projektu v ITMS2014+: 304011U647)**

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

EDUMOS

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

1. Koroze

- koroze = **corrodere** = „**rozhrýzat na kousky**“
- fyzikálně chemická interakce mezi materiálem a jeho okolním prostředím (kov – prostředí = **korozní systém**)
- **samovolné znehodnocování materiálů** (hlavně kovů) vlivem působení okolního prostředí
- uvolňování energie (snižování na minimum) – přechod do své původní formy
- Změny korozního systému při procesech koroze:
 - zhoršení funkce zařízení
 - zhoršení technického systému
 - ovlivnění prostředí
 - zhoršení estetických vlastností

Most přes řeku Polanka



Most přes řeku Polanka



Most přes řeku Polanka



1. Koroze

- **ČSN EN ISO 8044** – Koroze kovů a slitin – Slovník

Koroze = fyzikálně-chemická interakce kovů a prostředí vedoucí ke změnám vlastností kovu, které mohou vyvolávat významné zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami.

Korozní poškození = korozní projev který způsobuje zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami.

Korozní odolnost = schopnost kovu udržet provozuschopnost v daném korozním systému.

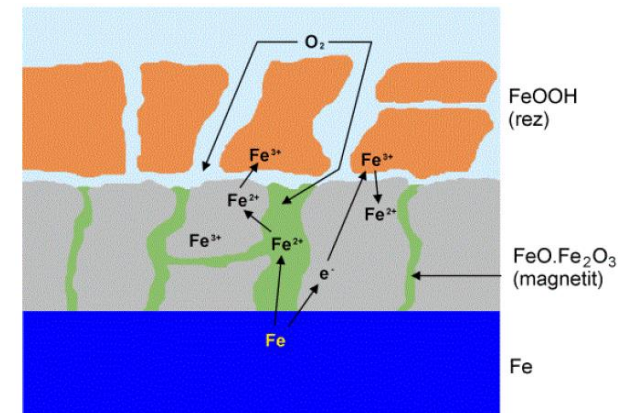
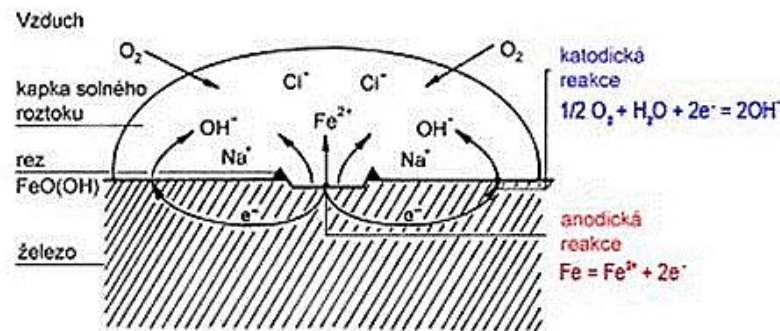
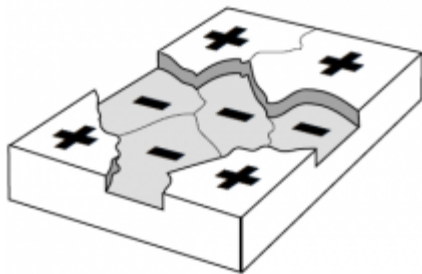
Protikorozní ochrana = soubor opatření na omezení korozního poškození kovů.

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja



1. Koroze

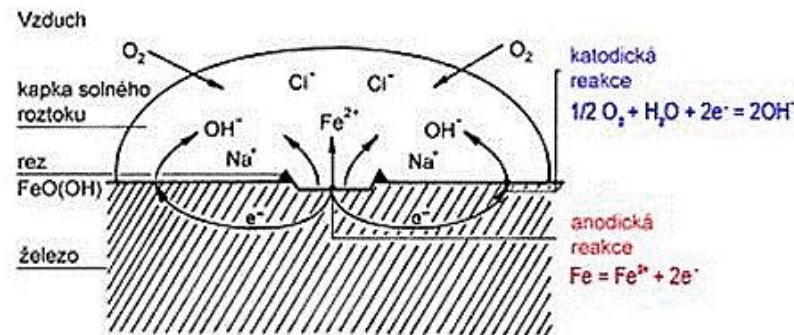
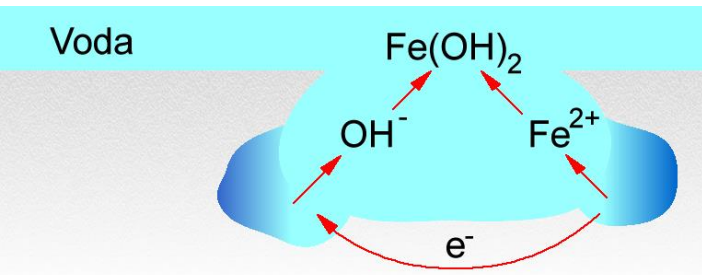
- Na povrchu kovu - **mikročlánky** – anodické a katodické oblasti.
- Anoda - anodický děj = **oxidace** (koroze kovu), kov ztrácí elektrony, zvyšuje se oxidační číslo.
- Katoda - katodický děj = **redukce** (reakce složek prostředí, depolarizační reakce), přijetí elektronů, snížení oxidačního čísla.
- při vynuceném proudu – katoda⁻, anoda⁺
- při samovolných procesech – katoda⁺, anoda⁻



Zdroj:
<http://www.koroze.wbs.cz/Rozdeleni-korozi.html>

1. Koroze

- Příklad** - elektrochemická reakce při korozi železa pod kapkou vody:



Zdroj: <http://www.koroze.wbs.cz/Rozdeleni-korozi.html>

Oxidační reakce představuje oxidaci kovu (uvolnění elektronů železa) v místě anody ve tvaru:



Na katodické části povrchu kovu dochází k **redukci prostředí** (prostředí přijme uvolněné elektrony z železa) ve tvaru:



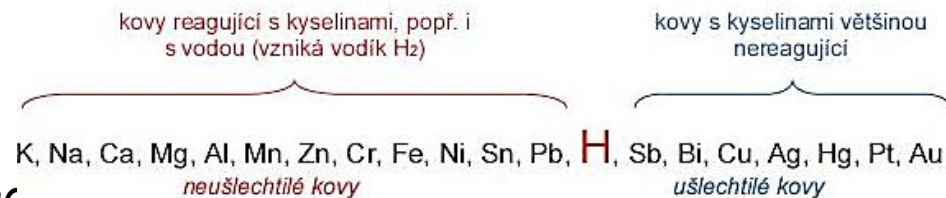
Kation železa F_e^{2+} se uvolní směrem k povrchu kovu a reaguje spolu s hydroxidovým anionem $2OH^-$. Následně vzniká korozní produkt dle chemické rovnice:



Výsledným korozním produktem je $F_e(OH)_2$ (hydroxid železnatý), který nadále reaguje s kyslíkem.

1. Koroze

• Stupnice ušlechtilosti („Beketova řada“)



- seřazení kovů podle standardního elektroodového potenciálu (termodynamická stabilita kovů)
- Kov **imunní** v daném prostředí – koroduje se zanedbatelnou rychlostí.
- Kov **pasivní** v daném prostředí – se pokrývá tenkou vrstvou sloučenin, které omezují následující korozní děje (koroze s nízkou rychlostí).
- Kov **aktivní** v daném prostředí – koroduje vysokou rychlostí.
- **Pasivovatelnost** = schopnost tvořit tenkou ochrannou vrstvu sloučenin na povrchu kovu, která potlačuje korozní procesy, je ovlivněna:
 - složením kovu - legující prvek Cr
 - strukturou kovu – pozor na nehomogenity v kovu
 - korozním prostředím – teplota, složení i pohyb prostředí

1. Koroze

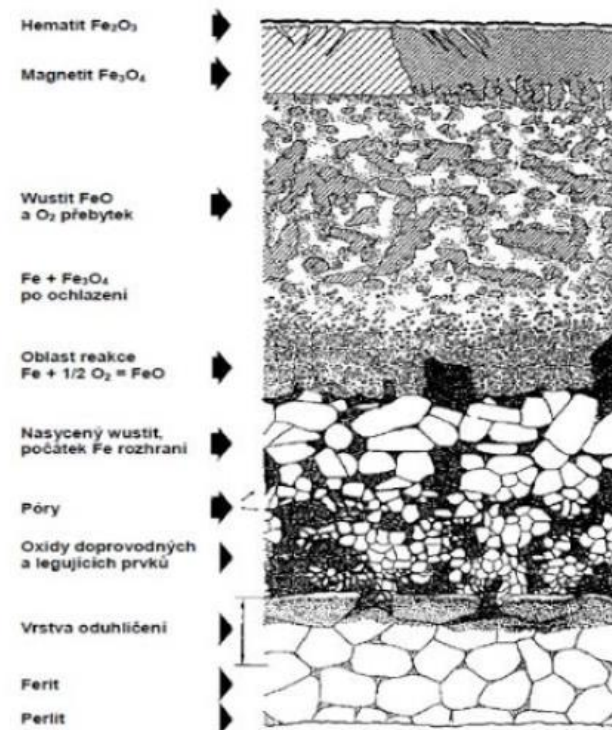
- Forma poškození závisí na:
 - materiálu (složení, chemické vlastnosti, fyzikální vlastnosti)
 - na vlastnostech korozního prostředí
 - na podmínkách (teplota, tlak)
 - **vnější činitelé** – složení prostředí, pH, rychlost proudění, teplota ..
 - **vnitřní činitelé** – struktura, složení kovu, vnitřní pnutí, kvalita povrchu ..
- Důsledky korozního poškození:
 - **ztráty přímé** – zkorodovaný materiál, opravy poškozeného materiálu, náklady na projekci
 - **ztráty nepřímé** – zastavení, omezení provozu z důvodu poškození konstrukce

1. Koroze

• Korozní zplodiny

- mohou být tuhé, kapalné, plynné
- důležité jsou vlastnosti korozních zplodin s ohledem na průběh koroze
- jsou vrstevnaté, složením se liší v jednotlivých vrstvách, podle druhů kovů, podle korozního prostředí
- u železa hnědé až červenohnědé, tvoří nesouvislou porézní vrstvu
- při oxidaci železa kyslíkem vznik *hematitu* Fe_2O_3 , *magnetitu* Fe_3O_4 a *wústit* FeO (okuje)
- vnitřní vrstvy tvořeny magnetitem Fe_3O_4 , vnější vrstvy z oxidů (hematit, maghemit), oxidochloridů a oxidohydroxidů

Zdroj: <http://www.koroze.wbs.cz/>



1. Druhy koroze

A) Podle vnitřního mechanismu (chemická koroze (*dry corrosion*), elektrochemická koroze (*wet corrosion*), mikrobiální, biologická koroze (*MIC – microbially influced corrosion*))

B) Podle charakteristiky napadení (rovnoměrná koroze (*uniform corrosion*), spárová koroze (*crevice corrosion*), štěrbinová koroze (*crevice corrosion*), bodová koroze (*pitting corrosion*), důlková koroze (*pitting corrosion*), nitková koroze (*filiform corrosion*))

C) Podle kombinace s vnějšími vlivy (korozní praskání (*SCC – stress corrosion cracking*), korozní únava (*CFC – corrosion fatigue cracking*), praskání vyvolané vodíkem, kavitační koroze, erozní koroze, vibrační, bimetalická)

E) Podle korozního prostředí (koroze v půdách, koroze ve vodných roztocích, koroze bludnými proudy, koroze v betonu, atmosférická koroze, koroze v lidském organismu, koroze v plynech, koroze v betonu..)

1. Druhy koroze

A) Podle vnitřního mechanismu:

- Chemická koroze (*dry corrosion*)
- Elektrochemická koroze (*wet corrosion*)
- Mikrobiální, biologická koroze (*MIC – microbially influced corrosion*)

Chemická koroze (v elektricky nevodivých prostředích – bez elektrolytu)

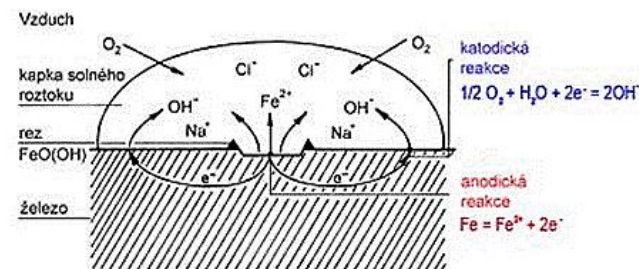
- chemické reakce mezi prostředím a materiálem (za vysokých teplot, bez vzdušné vlhkosti)
- dochází k oxidaci kovu:
$$2F_e + O_2 = 2F_eO + \frac{1}{2}O_2 = F_{e2}O_3$$
- vzniká velmi tenká korozní vrstva
- rychlost koroze je dána zákony chemické kinetiky
- **příčiny** – oxidační (O_2 , CO_2 , SO_2) nebo redukční atmosféry (H_2 , NH_3 , N_2), zvýšená teplota, kyselina, organické rozpouštědlo
- **příklad** – okuje – zpracování oceli za vyšších teplot (např. žíhání), reakce s kyslíkem

1. Druhy koroze

Elektrochemická koroze

- Dochází k oxidaci kovu v elektricky vodivých prostředích (přítomnost elektrolytu) – vznik elektrochemického článku (atmosférická koroze, ve vodě, v roztocích, v půdě).
- Dochází k oxidaci materiálu a redukci složek roztoku (viz. příklad koroze pod kapkou vody).
- Obě reakce na sebe vázány (= spřažené) – nemohou probíhat samostatně (pokud proud není vynucený).
- Nečistoty a nehomogenita kovu zrychlují korozní procesy.
- Čím hrubší povrch kovu tím větší aktivní plocha (důlky).
- **Pasivita kovů**

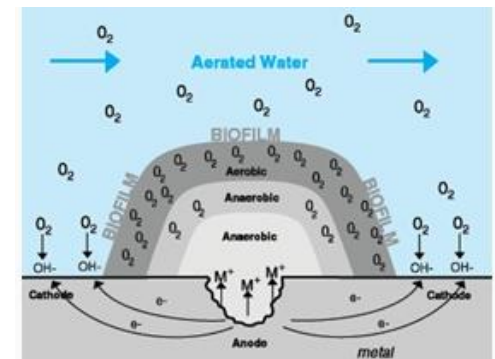
- potlačení korozní rychlosti v důsledku ochranné vrstvy na povrchu kovu
- ochranná vrstva – velmi tenká nepórovitá z oxidů-hydroxidů
- usnadnění pasivity legujícími prvky (např. Cr 12%)
- pasivovatelné kovy: měď, nikl, chrom, hliník, titan



1. Druhy koroze

Mikrobiální koroze

- Je vyvolána živými organizmy (bakterie, řasy, mech, houby).
- Většinou probíhá za přítomnosti vodného prostředí (stojatá voda).
- Na povrchu kovu vznik *biofilmu* (společenstvo bakterií a organismů).
- Podmínkou vzniku *biofilmu* je přítomnost vody, živin a kyslíku.
- Mikroorganismy stimulují korozní procesy – ke své látkové výměně využívají korozní produkty.
- Neodolnějším je titan.
- Prevence – zvýšení proudění kolem povrchu, pravidelné čištění, povlaky



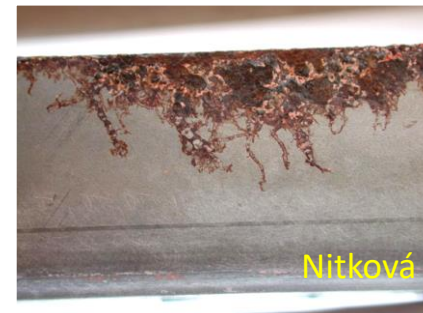
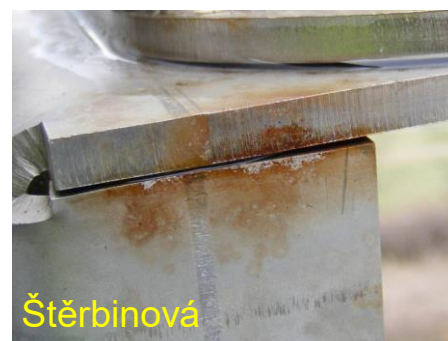
Zdroj: <https://www.engineering.sk/strojarstvo-extra/3442-mikrobiologicka-koroze-priciny-a-formy-napadeni>

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

1. Druhy koroze

B) Podle charakteristiky napadení:

- Rovnoměrná koroze (*uniform corrosion*)
- Spárová koroze (*crevice corrosion*)
- Štěrbínová koroze (*crevice corrosion*)
- Bodová koroze (*pitting corrosion*)
- Důlková koroze (*pitting corrosion*)
- Nitková koroze (*filiform corrosion*)
- Mezikrystalová koroze (*intergranular corrosion*)
- Selektivní koroze (*exfoliation corrosion*)



Zdroj: <http://www.svuom.cz/>,

<http://www.atmofix.cz/jcel/cz.php>

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

1. Druhy koroze

B) Podle charakteristiky napadení:

- **Rovnoměrná koroze** (*uniform corrosion*)
 - Probíhá na celém povrchu rovnoměrně (se srovnatelným úbytkem)
 - V korozních systémech – homogenní povrch kovu i prostředí
- **Spárová koroze, štěrbinová** (*crevice corrosion*)
 - *Štěrbínová* – mezera mezi kovovými povrchy menší než $10\ \mu\text{m}$
 - *Spárová* - mezera větší než $10\ \mu\text{m}$
 - Objem elektrolytu uvnitř spáry malá, vně velký
 - Vznik v atmosférických podmínkách, pod mikrobiálními úsadami, v trhlinách, v pórech
 - Prevence – konstrukční úpravy, úprava prostředí, nepoužívání nasákových těsnících materiálů, omezení agresivních složek prostředí



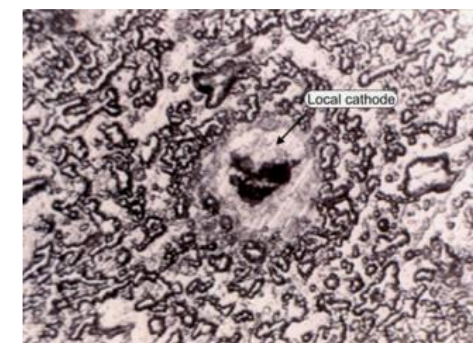
Zdroj: <http://www.svuom.cz/>, http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Čes
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

1. Druhy koroze

B) Podle charakteristiky napadení:

- **Bodová koroze + důlková koroze (*pitting corrosion*)**
 - Lokalizované napadení
 - V roztocích s chloridy, bromidy, jodidy, fluoridy (nepasivující ionty)
 - Vznik hlubokých důlků, v jejich okolí může být neporušený povrch
 - Typický pro pasivovatelné kovy v místě porušení pasivní vrstvy (korozi-vzdorné oceli)
 - Aktivní korodující vnitřek důlků je obětavou anodou pro ostatní pasivní povrch
 - Hodnocení odolnosti proti bodové korozi PRE index (čím vyšší hodnota, tím lepší) $PRE = Cr + 3,3Mo + (15 - 30) N$
 - Prevence – výběr vhodného kovu, legování *Mo*, vhodné prostředí



Zdroj: <http://www.svuom.cz/>, http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

1. Druhy koroze

B) Podle charakteristiky napadení:

- **Nitková koroze** (*filiform corrosion*)
 - zvláštní forma štěrbinové koroze
 - pod organickými povlaky a pod fosfátovými, zlatými povlaky
 - typická v automobilovém průmyslu nebo v potravinářství
 - vznik při atmosférické korozi
 - Prevence – výběr vhodného kovu, úprava charakteristik prostředí



Zdroj: <http://www.svuom.cz/>,

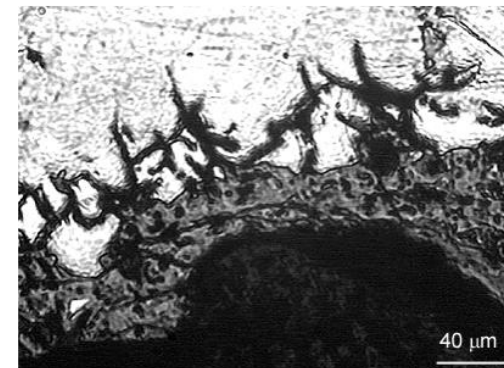
<http://www.atmofix.cz/ocel-cz.php>

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

1. Druhy koroze

B) Podle charakteristiky napadení:

- **Mezikrystalová koroze** (*intergranular corrosion*)
 - Nevzniká na povrchu ale mezi zrny matrice oceli.
 - Příčinou strukturální a chemická nehomogenita kovu na hranicích zrn.
 - Převážně u korozivzdorné oceli po tepelném zpracování (např. svařování) (na hranicích zrn dochází ke ztrátě chromu).
 - Oblasti ochuzené o chrom korodují přednostně, ztrácejí soudržnost a mechanickou pevnost.
 - Při snížení obsahu chromu pod 12% hm. horší pasivace povrchu oceli.
 - Prevence – snížení obsahu uhlíku ve struktuře kovu ($<0,03\% \text{hm. C}$), legující prvky (Ti, Nb) = stabilizace uhlíku oceli, zamezení nevhodného tepelného zpracování
 - *Nožová koroze* – u stabilizovaných koroz. ocelí, *exfoliační koroze* u hliníku



Zdroj: <http://www.svuom.cz>

1. Druhy koroze

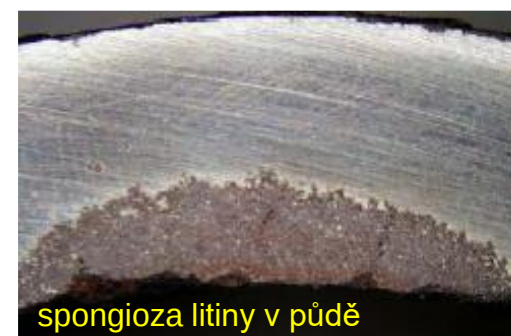
B) Podle charakteristiky napadení:

- **Selektivní koroze** (*exfoliation corrosion*)

- Přednostně dochází k rozpouštění některé ze složek slitiny.
- Např. *odzinkování mosazi* – část původní slitiny mědi a zinku se přemění na houbovitou měď bez pevnosti.
- Probíhá buď lokálně nebo v celé vrstvě.
- *Spongioza* – grafitizace šedé litiny rozpouštěním železa v šedé litině – vzniká porézní struktura grafitu s horšími mechanickými vlastnostmi. Vzniká ve vodách i v půdě.
- Prevence – menší obsah $Zn < 15\%$ hm., omezit oxidační schopnost prostředí snížením kyslíku, zvýšením proudění



Odzinkování mosazi



spongioza litiny v půdě

Zdroj: <http://www.svuom.cz>

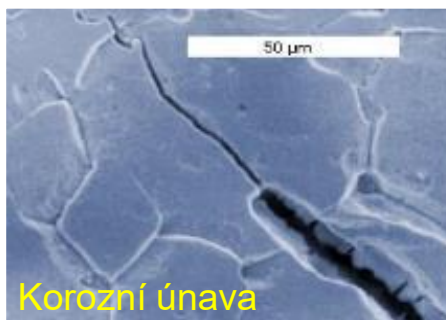
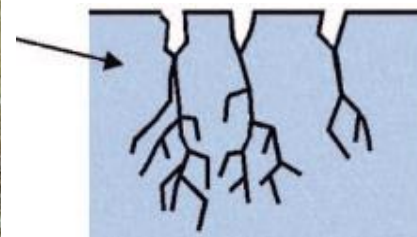
1. Druhy koroze

C) Podle kombinace s vnějšími vlivy:

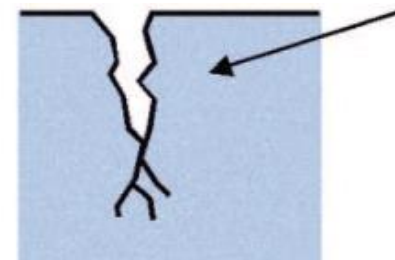
- Korozní praskání (SCC)
- Korozní únava (CFC)
- Praskání vyvolané vodíkem
- Kavitační koroze
- Erozní koroze
- Vibrační
- Bimetalická

Zdroj: <http://www.svuom.cz/>, http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php

Korozní praskání



Korozní únava



Bimetalická koroze



Erozní koroze



Praskání vyvolané vodíkem



Kavitační koroze

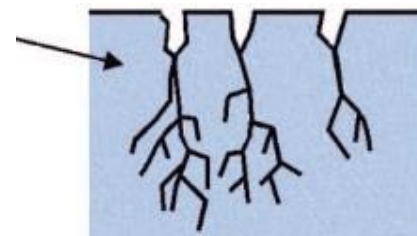


1. Druhy koroze

C) Podle kombinace s vnějšími vlivy:

- **Korozní praskání** (*Stress Corrosion Cracking*)
 - Vzniká při působení statického tahového napětí kovového materiálu exponovaného ve specifickém prostředí.
 - Vznikají a rostou trhliny po hranicích zrn i přes zrna (transkrystalově).
 - Pro vznik stačí i vnitřní pnutí (po tváření za studena).
 - Trhliny vznikají přednostně v místě porušení pasivní vrstvy a šíří se po hranicích.
 - Homogennější materiál – náchylnost k SCC menší
 - Prevence – snížení tahových napětí v materiálu nebo konstrukci, odstranění agresivních složek z prostředí, vhodné zvolení materiálu..

Korozní praskání

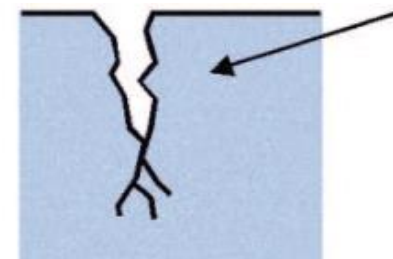
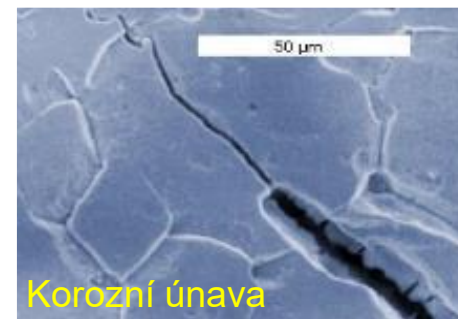


1. Druhy koroze

C) Podle kombinace s vnějšími vlivy:

- **Korozní únava** (*Corrosion Fatigue Cracking*)

- Spolupůsobení korozního prostředí a cyklického mechanického namáhání s tahovou složkou.
- Cyklické zatěžování způsobuje porušení celistvosti vznikem trhlinek.
- V trhlíně, která se otevírá a zavírá se neuplatní korozní poškození, vliv na šíření trhlín má především mechanické namáhání.
- Lom je pokryt korozními produkty, vznikají málo rozvětvené trhliny.
- Prevence – odstranění cyklické tahové složky, snížení amplitudy zatížení, volba odolnějšího materiálu, snížení agresivity prostředí, použití povlaků



1. Druhy koroze

C) Podle kombinace s vnějšími vlivy:

• Erozní koroze

- Mechanické poškození povrchu v důsledku rychle proudící kapaliny nebo plynu.
- Turbulentní proudění má větší vliv.
- Prevence – výběr materiálu, odstranění proudění, materiál s vyšší povrchovou tvrdostí a hladkostí



• Kavitační koroze

- V důsledku vzniku a zániku vzduchových bublin v blízkosti povrchu kovu.



• Vibrační koroze

- V důsledku vzájemného pohybu kovů.
- Opakované odstraňování tenké oxidové vrstvy.
- Prevence – mazání, vhodná volba materiálu



1. Druhy koroze

E) Podle korozního prostředí:

- ***Koroze v půdách***
 - korozi ovlivňuje půdní vlhkost, soudržnost, homogenita, chemické složení půdy, pH (v rozmezí 5 – 9)
- ***Koroze ve vodných roztocích***
 - korozi ovlivňuje obsah kyslíku a agresivních plynů, množství a typ rozpuštěných solí, pH (v rozmezí 3 – 9), teplota, rychlost proudění
- ***Koroze bludnými proudy***
 - v okolí elektrizovaných železnicích železničních, městských či jiných drah
- ***Koroze v betonu***
 - Korozní agresivita pórového roztoku v betonu je závislá především na přístupu oxidu uhličitého a chloridů k výztuži.
- ***Atmosférická koroze***

1. Druhy koroze

E) Podle korozního prostředí:

- ***Koroze v půdách***

- korozi ovlivňuje půdní vlhkost (koroze při vlhkosti 20 – 30 %), soudržnost, homogenita, chemické složení půdy, pH (v rozmezí 5 – 9)
- nezbytná přítomnost půdního elektrolytu
- agresivní půdy – jílovité (vážou vodu, při vysychání trhliny – pronikání srážkové vody)
- půdní agresivita zvýšená mikrobiální aktivitou
- většinou lokální druhy korozního poškození
- protikorozní ochrana – ochranné tkaniny, asfaltové pásy, katodická ochrana, vhodná volba materiálu



1. Druhy koroze

E) Podle korozního prostředí:

- **Koroze ve vodách** (chemicky čistá voda, slabě koncentrované roztoky)
 - čistá voda – zanedbatelná koroze
 - agresivita ovlivněna obsahem kyslíku a agresivních plynů, množstvím a typem rozpuštěných solí, organických látek a mikroorganismy, pH, teplota
 - soli zvyšují vodivost, vznik lokálních korozních poruch
 - chloridy jsou ve vodách téměř vždy (15-200 mg/l)
 - článek s diferenční aerací (nerovnoměrný přístup kyslíku)
 - protikorozní ochrana – Zn povlaky, omezení agresivních látek, hydrogenuhličitanové, vápenaté a hořečnaté ionty – tvorba ochranné vrstvy



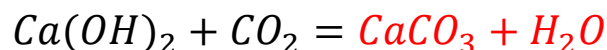
Zdroj: <http://www.svuom.cz/>, http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php

1. Druhy koroze

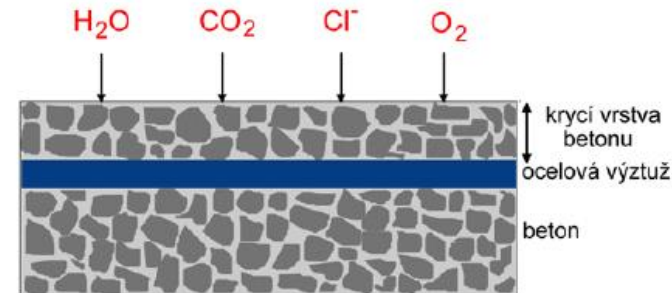
E) Podle korozního prostředí:

• **Koroze v betonu**

- beton = pórovitý materiál
- v čerstvém betonu je ocel pasivní (hydroxid vápenatý vytváří s vodou roztok s pH 12,5-13,5 – dochází k samovolné pasivaci oceli)
- korozní agresivita betonu závisí na přístupu CO_2 a Cl^- k výztuži
- při průniku CO_2 do betonu – *karbonatace* betonu:



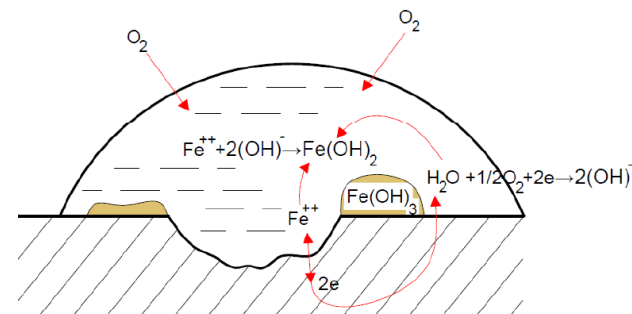
- při prostupu zkarbonátované vrstvy betonu až k výztuži snížení pH korozního prostředí (aktivace při pH 9)
- kritická koncentrace Cl v betonu – 0,2 hm.% (snížení pH pod 10)
- protikorozní ochrana – omezení prostupu vlhkosti do betonu, omezení přístupu stimulatorů, povlaky výztuže, vhodná volba materiálu výztuže



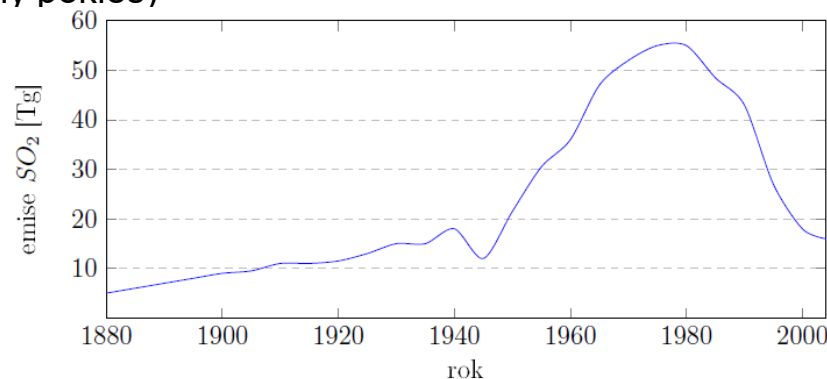
1. Druhy koroze

E) Podle korozního prostředí:

- **Atmosférická koroze**
- nejběžnější typ korozního prostředí
- podmínkou vytvoření tenké vrstvy *elektrolytu* na povrchu kovu (ze vzdušné vlhkosti, dešťových srážek) – elektrochemická koroze
- Environmentální parametry atmosféry ovlivňující korozní procesy:
 - vzdušná vlhkost RH (kondenzací vznik elektrolytu na povrchu kovu)
 - teplota vzduchu T
 - koncentrace SO₂ (v posledních desetiletích výrazný pokles)
 - koncentrace Cl
 - koncentrace pevných částic PM₁₀
 - množství dešťových srážek a jejich pH a další..
- Další parametry ovlivňující korozní procesy:
 - kvalita povrchu
 - termodynamické vlastnosti kovu



Historický vývoj koncentrace SO₂ v Evropě



Zdroj: http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php

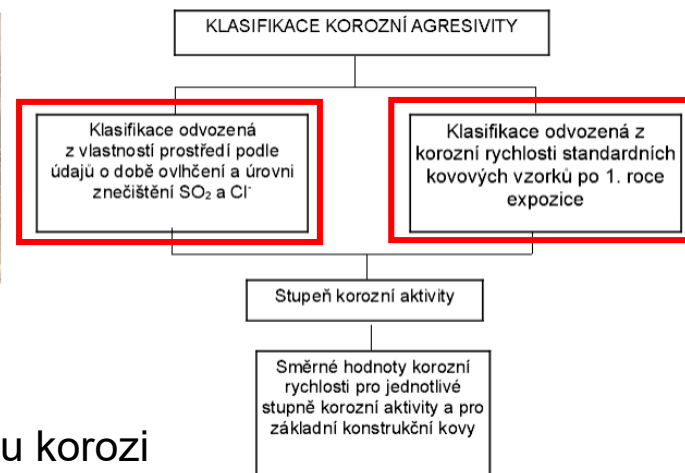
2. Atmosférická koroze



(a) Spárová koroze stožáru v místě příložkového spoje nárožníků



(b) Vrstevnaté korozní produkty na horním povrchu dolní pásnice mostní konstrukce vytvořené v důsledku hromadění nečistot a zádrží vlhkosti



- vnější vs. vnitřní
- způsobuje rovnoměrnou korozi nebo bodovou, štěrbínovou korozi
- Korozní agresivita vnějších atmosfér dle ČSN EN ISO 9223 – **C1 až CX**
 - **C1** – atmosféry v uzavřených, klimatizovaných místnostech (nedochází ke kondenzaci vody)
 - **C2** – Prostory s občasnou kondenzací.
 - **C3** – Suché prostory.
 - **C4** – Vlhké prostory
 - **C5** – Velmi vysoká korozní agresivita
 - **CX** – Extrémní vlhkost.

2. Atmosférická koroze

- ČSN EN ISO 9223 – kap. 7 - Tabulka 2

Tabulka 2 – Rychlosti koroze (r_{corr}) po prvním roce expozice pro jednotlivé stupně korozní agresivity

Stupeň korozní agresivity	Rychlosti koroze kovů r_{corr}				
	Jednotky	Uhliková ocel	Zinek	Měď	Hliník
C1	g/(m ² ·a) μm/a	$r_{\text{corr}} \leq 10$ $r_{\text{corr}} \leq 1,3$	$r_{\text{corr}} \leq 0,7$ $r_{\text{corr}} \leq 0,1$	$r_{\text{corr}} \leq 0,9$ $r_{\text{corr}} \leq 0,1$	zanedbatelná –
C2	g/(m ² ·a) μm/a	$10 < r_{\text{corr}} \leq 200$ $1,3 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$0,7 < r_{\text{corr}} \leq 5$ $0,1 < r_{\text{corr}} \leq 0,7$	$0,9 < r_{\text{corr}} \leq 5$ $0,1 < r_{\text{corr}} \leq 0,6$	$r_{\text{corr}} \leq 0,6$ –
C3	g/(m ² ·a) μm/a	$200 < r_{\text{corr}} \leq 400$ $25 < r_{\text{corr}} \leq 50$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 15$ $0,7 < r_{\text{corr}} \leq 2,1$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 12$ $0,6 < r_{\text{corr}} \leq 1,3$	$0,6 < r_{\text{corr}} \leq 2$ –
C4	g/(m ² ·a) μm/a	$400 < r_{\text{corr}} \leq 650$ $50 < r_{\text{corr}} \leq 80$	$15 < r_{\text{corr}} \leq 30$ $2,1 < r_{\text{corr}} \leq 4,2$	$12 < r_{\text{corr}} \leq 25$ $1,3 < r_{\text{corr}} \leq 2,8$	$2 < r_{\text{corr}} \leq 5$ –
C5	g/(m ² ·a) μm/a	$650 < r_{\text{corr}} \leq 1\,500$ $80 < r_{\text{corr}} \leq 200$	$30 < r_{\text{corr}} \leq 60$ $4,2 < r_{\text{corr}} \leq 8,4$	$25 < r_{\text{corr}} \leq 50$ $2,8 < r_{\text{corr}} \leq 5,6$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 10$ –
CX	g/(m ² ·a) μm/a	$1\,500 < r_{\text{corr}} \leq 5\,500$ $200 < r_{\text{corr}} \leq 700$	$60 < r_{\text{corr}} \leq 180$ $8,4 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$50 < r_{\text{corr}} \leq 90$ $5,6 < r_{\text{corr}} \leq 10$	$r_{\text{corr}} > 10$ –



2. Atmosférická koroze

• ČSN EN ISO 9223 – kap. 8 – *dose-response function*

Pro uhlíkovou ocel se použije rovnice (1):

$$r_{\text{corr}} = 1,77 \cdot P_d^{0,52} \cdot \exp(0,020 \cdot \text{RH} + f_{\text{St}}) + 0,102 \cdot S_d^{0,62} \cdot \exp(0,033 \cdot \text{RH} + 0,040 \cdot T)$$

$$f_{\text{St}} = 0,150 \cdot (T - 10) \text{ pro } T \leq 10^\circ\text{C}, \text{ jinak } -0,054 \cdot (T - 10)$$

$$N = 128, R^2 = 0,85$$

Pro zinek se použije rovnice (2):

$$r_{\text{corr}} = 0,0129 \cdot P_d^{0,44} \cdot \exp(0,046 \cdot \text{RH} + f_{\text{Zn}}) + 0,0175 \cdot S_d^{0,57} \cdot \exp(0,008 \cdot \text{RH} + 0,085 \cdot T)$$

$$f_{\text{Zn}} = 0,038 \cdot (T - 10) \text{ pro } T \leq 10^\circ\text{C}, \text{ jinak } -0,071 \cdot (T - 10)$$

$$N = 114, R^2 = 0,78$$

Pro měď se použije rovnice (3):

$$r_{\text{corr}} = 0,0053 \cdot P_d^{0,26} \cdot \exp(0,059 \cdot \text{RH} + f_{\text{Cu}}) + 0,01025 \cdot S_d^{0,27} \cdot \exp(0,036 \cdot \text{RH} + 0,049 \cdot T)$$

$$f_{\text{Cu}} = 0,126 \cdot (T - 10) \text{ pro } T \leq 10^\circ\text{C}, \text{ jinak } -0,080 \cdot (T - 10)$$

$$N = 121, R^2 = 0,88$$

Pro hliník se použije rovnice (4):

$$r_{\text{corr}} = 0,0042 \cdot P_d^{0,73} \cdot \exp(0,025 \cdot \text{RH} + f_{\text{Al}}) + 0,0018 \cdot S_d^{0,60} \cdot \exp(0,020 \cdot \text{RH} + 0,094 \cdot T)$$

$$f_{\text{Al}} = 0,009 \cdot (T - 10) \text{ pro } T \leq 10^\circ\text{C}, \text{ jinak } -0,043 \cdot (T - 10)$$

$$N = 113, R^2 = 0,65$$

kde je

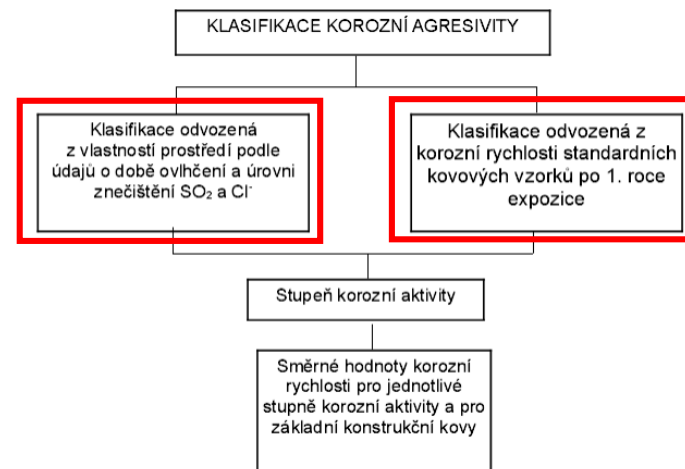
r_{corr} rychlost koroze kovu po prvním roce expozice v mikrometrech za rok ($\mu\text{m/a}$);

T roční průměrná teplota ve stupních Celsia ($^\circ\text{C}$);

RH roční průměrná relativní vlhkost vzduchu v procentech (%);

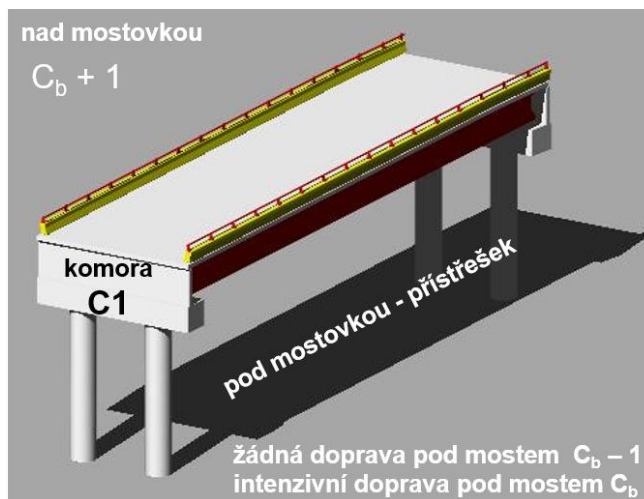
P_d roční průměrná depoziční rychlost SO_2 v miligramech na čtverečný metr a den [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$];

S_d roční průměrná depoziční rychlost Cl^- v miligramech na čtverečný metr a den [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$].



2. Atmosférická korozie

- specifické prostredí – **mikroklima mostních konstrukcí**
- rozdílné korozní chování v různých částech, polohách konstrukce (některé plochy částečně chráněné)
- rozdíly v orientaci povrchu (vertikální x horizontální)
- významný korozní stimulátor – chloridy
- stupeň korozní agresivity = $C_{\text{pozadí lokality}} + 1$



Zdroj: http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Obečné zásady a požadavky

Na konstrukci se nesmí **zachycovat a zdržovat** stékající nebo zkondenzovaná voda ani shromažďovat prach, různé nečistoty nebo spad rzi. Vhodným řešením detailů je nutné zabránit vzniku kapes a částečně uzavřených koutů.

Je nutné zajistit **odtok vody a nečistot** z konstrukce pomocí odvodňovacích otvorů a potrubí, náklonem jednotlivých částí konstrukce nebo vložením vhodných zářezek, které zamezí koroznímu poškození důležitých částí konstrukce.

Konstrukce se musí navrhnout tak, aby ji bylo **možno řádně kontrolovat a udržovat**.

Konstrukce má mít **jednoduchý tvar** a pravidelné plošné členění. Části s komplikovaným vyztužením nebo složitými spoji nejsou vhodné.

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Obecné zásady a požadavky

Neuzavřené vnitřní prostory mají mít možnost účinného větrání.

Pásky a podélné prvky mají mít takový tvar, aby se na nich nezachycovala voda a jiné nečistoty. Je dobré, když konstrukce má dostatečný podélný sklon.

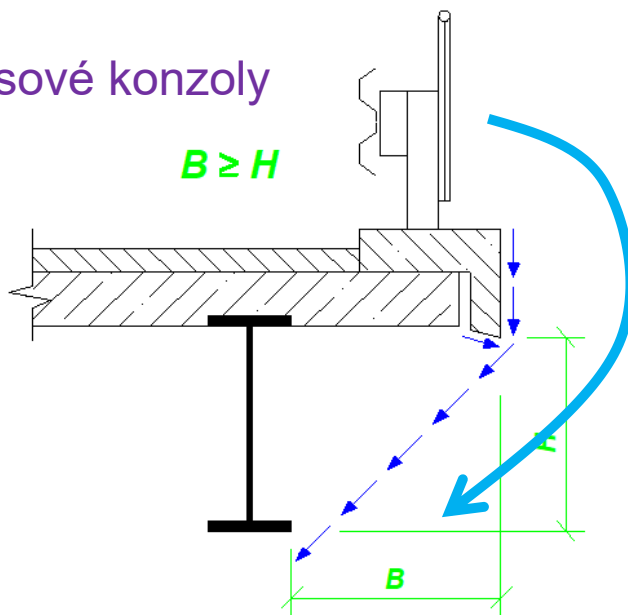
Eliminovat riziko vzniku **spárové koroze**. Musí být zajištěna maximální těsnost všech spojů a případně provedena další protikorozní opatření.

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Šíření chloridů

Při **vhodném návrhu** (např. trémové mosty s horní mostovkou) nejsou významně ovlivněny usazováním chloridů a nečistot zvířených provozem na mostě.

Přesah římsové konzoly



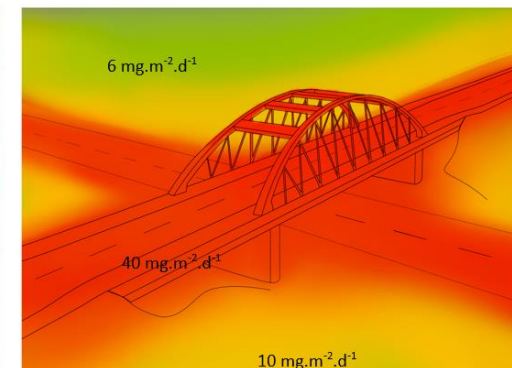
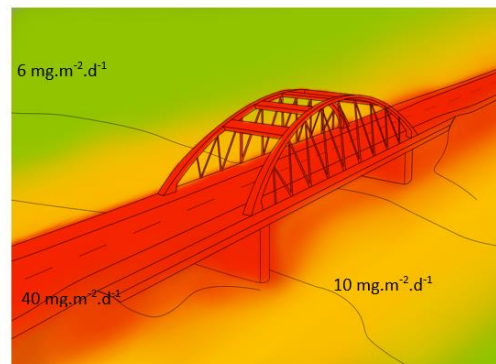
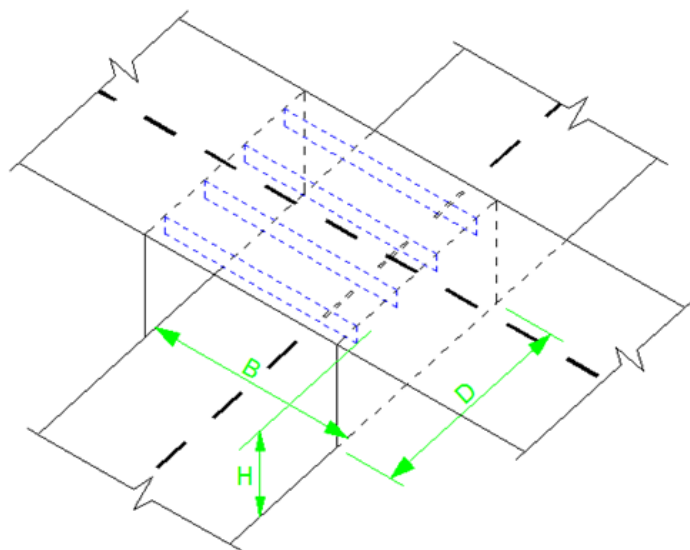
Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Šíření chloridů

Intenzivní doprava pod mostní konstrukcí může způsobit významné lokální zvýšení korozní agresivity.



Podmínky podobné tunelu

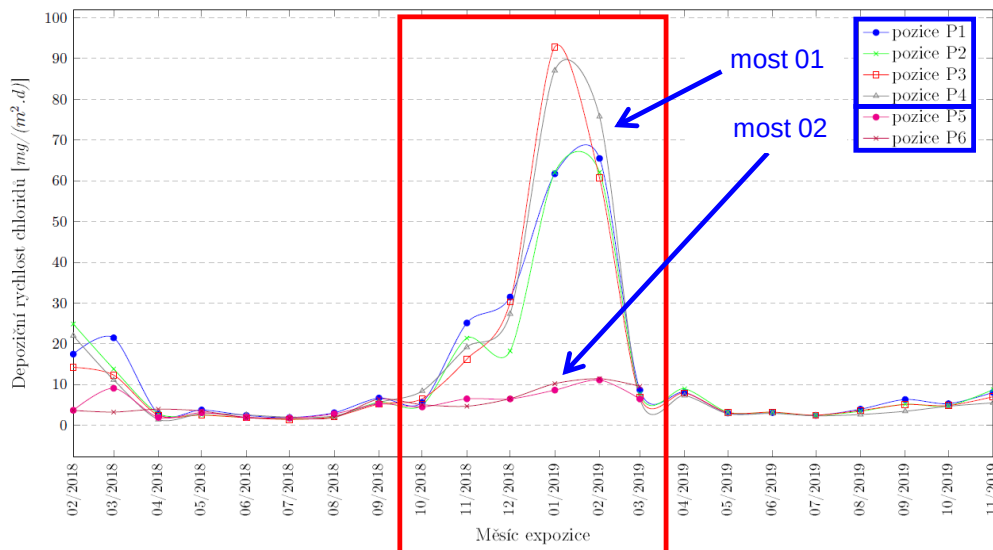


autor: Ing. Kateřina Kreislová, Ph.D.

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Šíření chloridů

Depoziční rychlost chloridů - metoda suché desky (horizontální poloha)

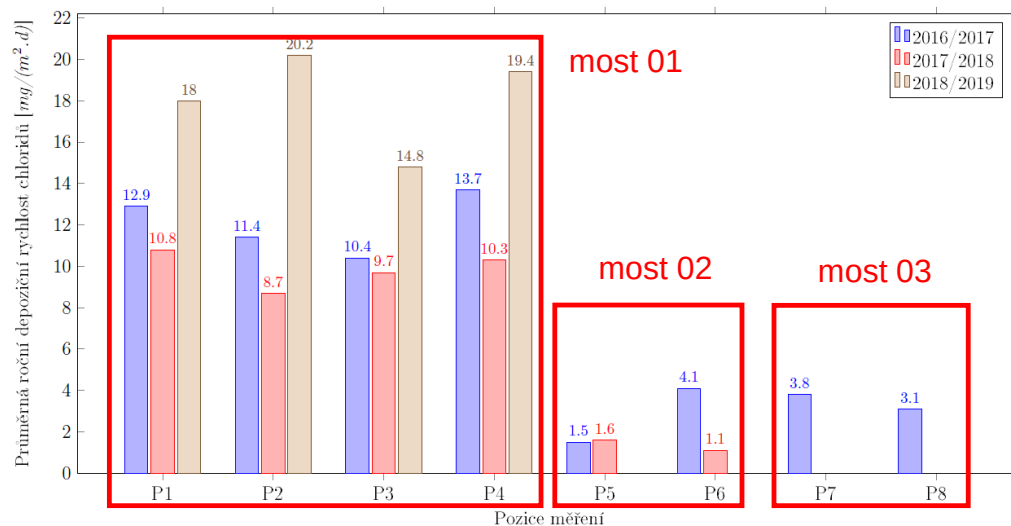


Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Šíření chloridů

Roční průměrná depoziční rychlost chloridů - metoda suché desky (horizontální poloha)



most 01



most 02



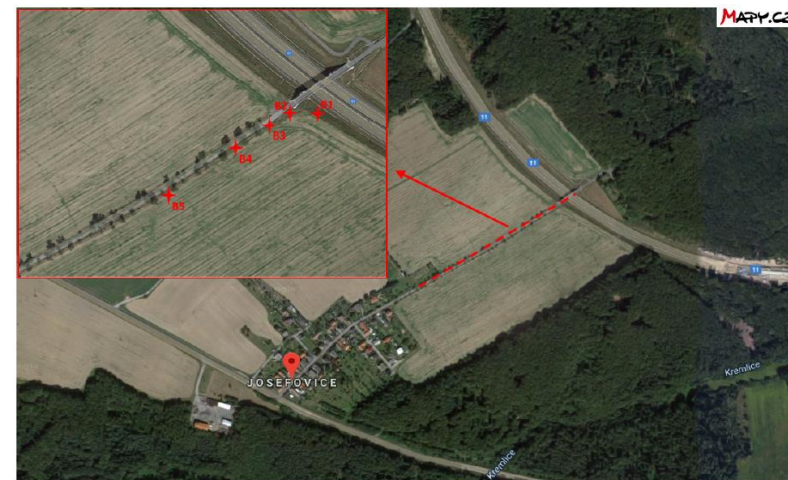
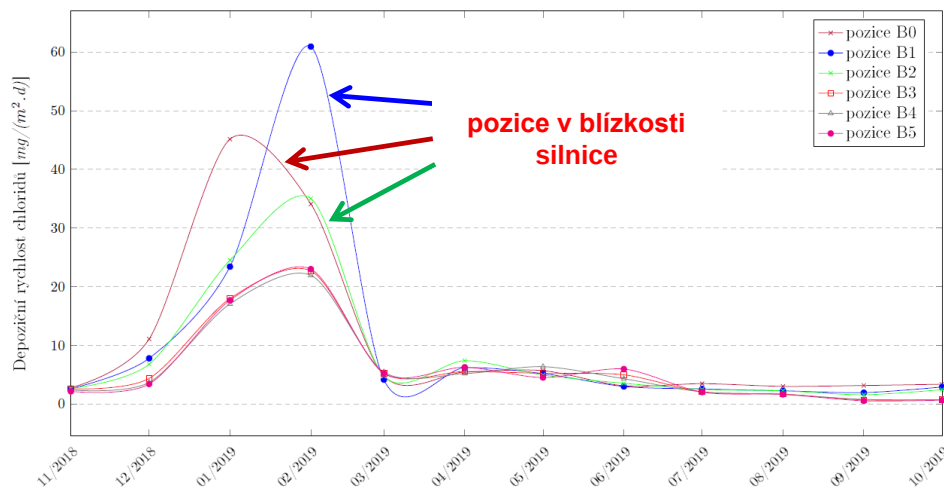
most 03

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Šíření chloridů

Depoziční rychlost chloridů - metoda suché desky (horizontální poloha)



pozice	t_{corr} [μm]
B1 - vertikální	71,1
B1 - horizontální	86,4
B3 - vertikální	55,7
B3 - horizontální	58,7
B5 - vertikální	41,2
B5 - horizontální	43,6



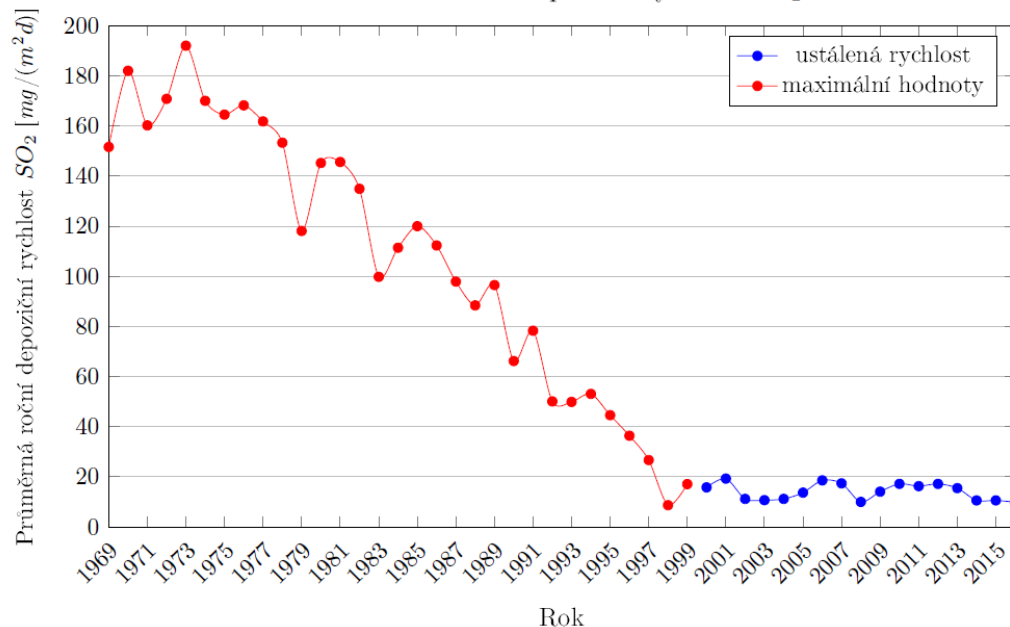
Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

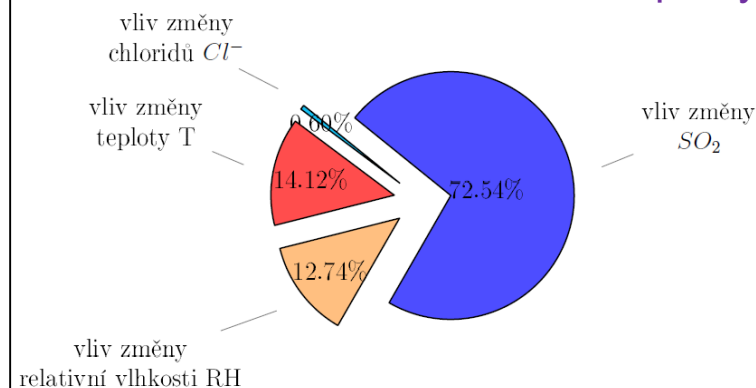
Šíření chloridů

Vliv korozních stimulátorů

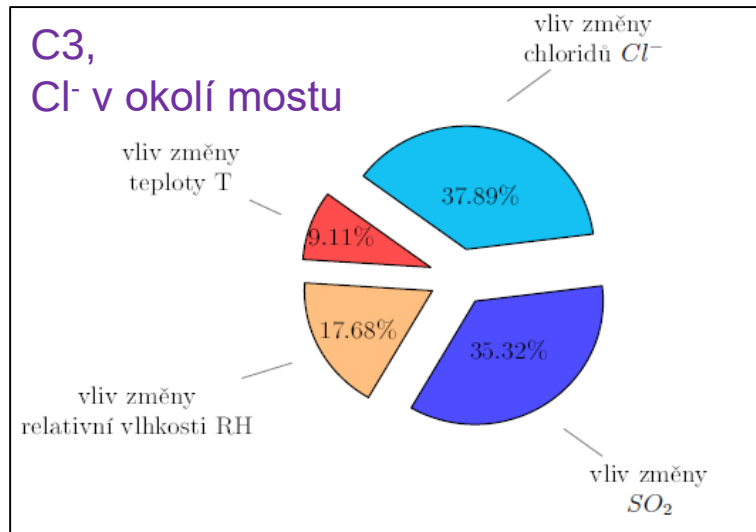
Průměrná roční depoziční rychlost SO_2



C3, bez vlivu silniční dopravy



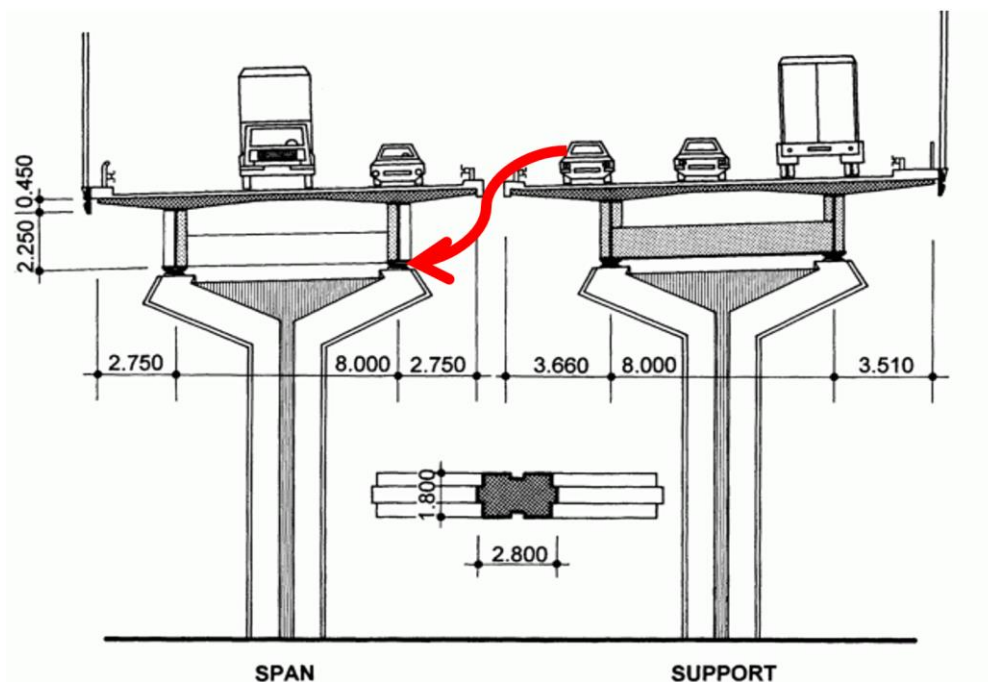
C3, Cl^- v okolí mostu



Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Šíření chloridů

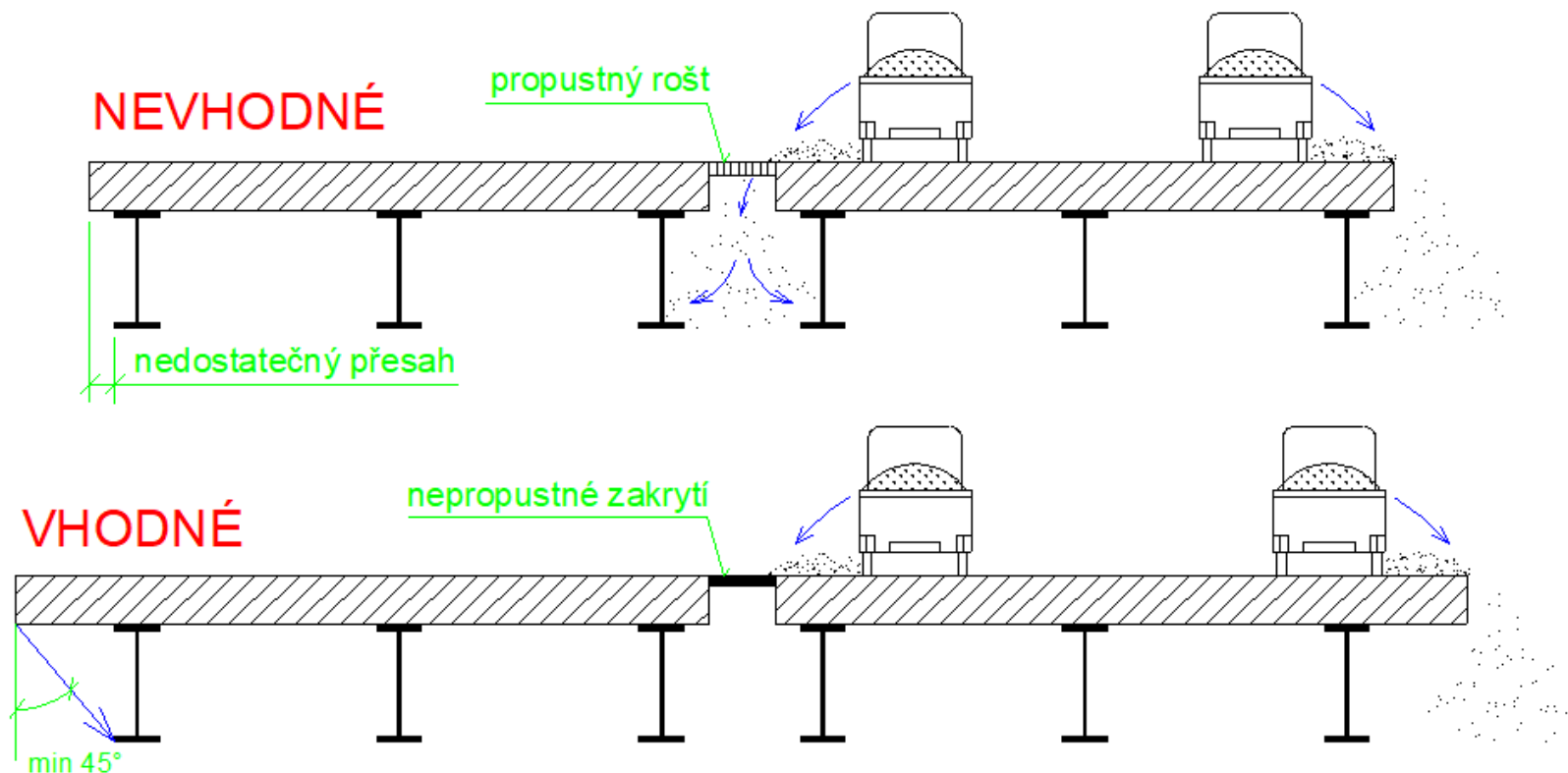
Zrcadlo mezi souběžnými mosty



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

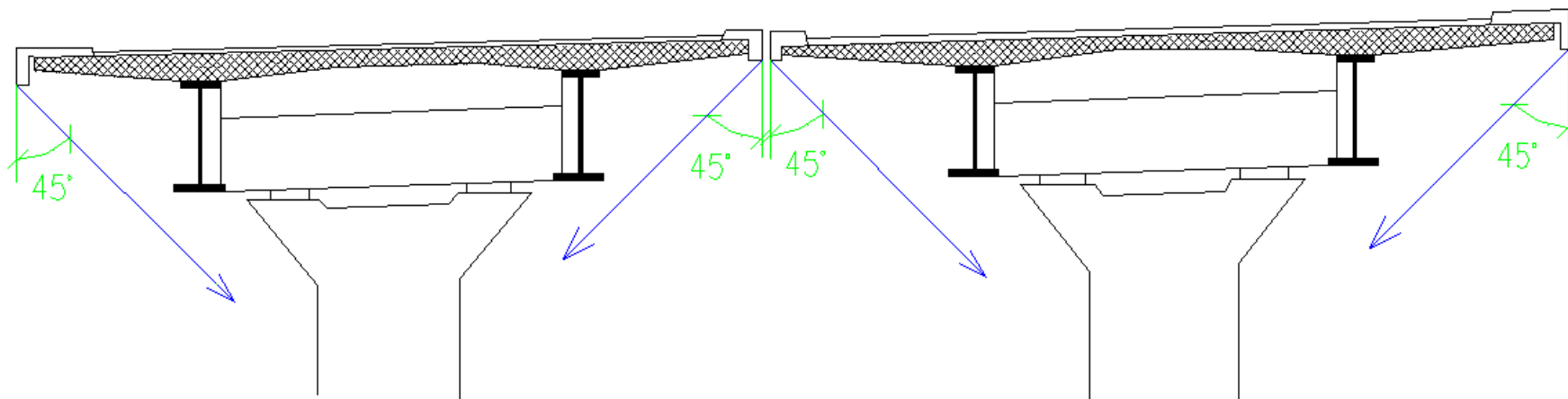
Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Šíření chloridů (+ nečistoty)



Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

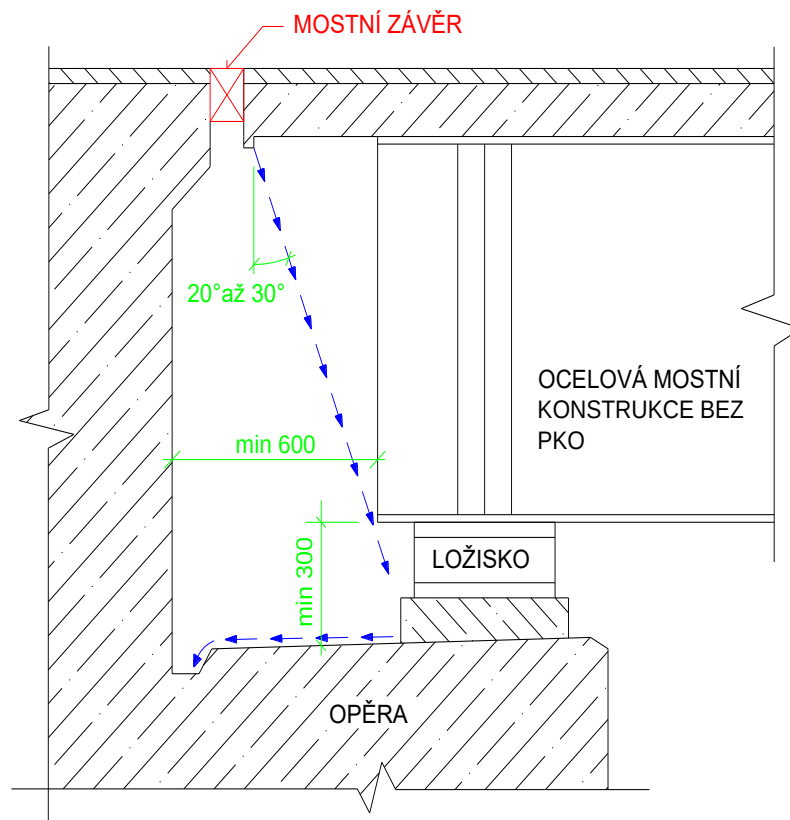
Šíření chloridů (+ nečistoty)



Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Zatékání

Poruchy mostních závěrů



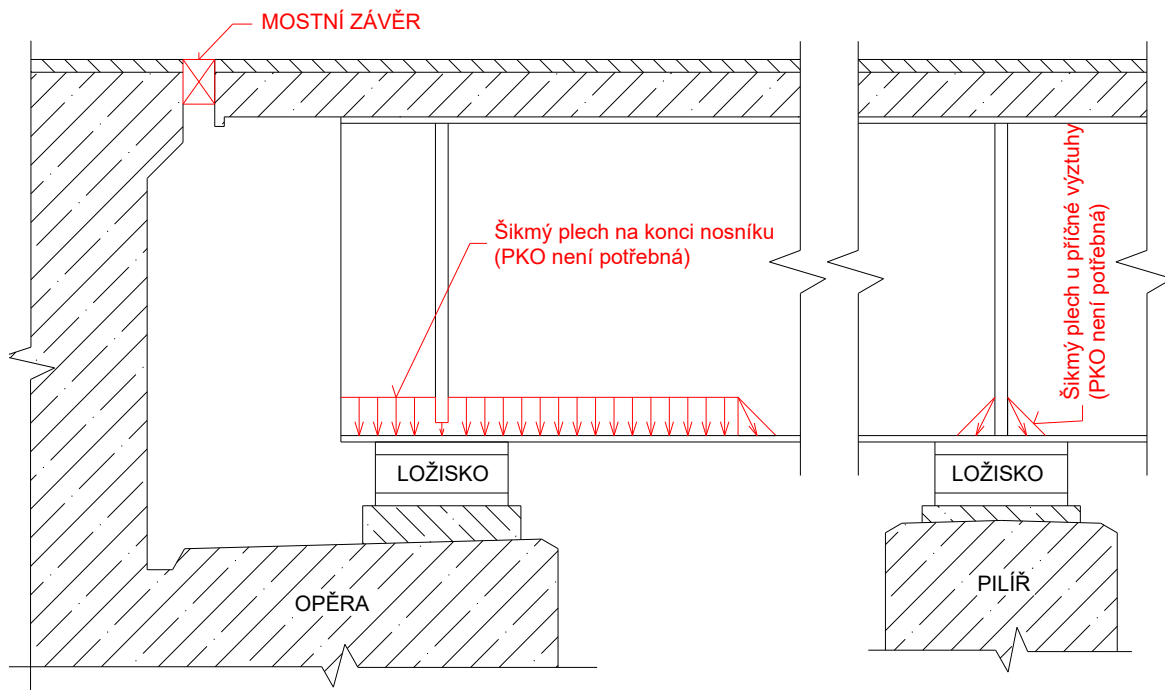
Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Zatékání

Použití šikmých plechů

(omezuje i vzdušnou depozici chloridů na DP)



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Zatékání

Odvodňovače izolace mostovky



Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Zatékání

Odvodňovací potrubí

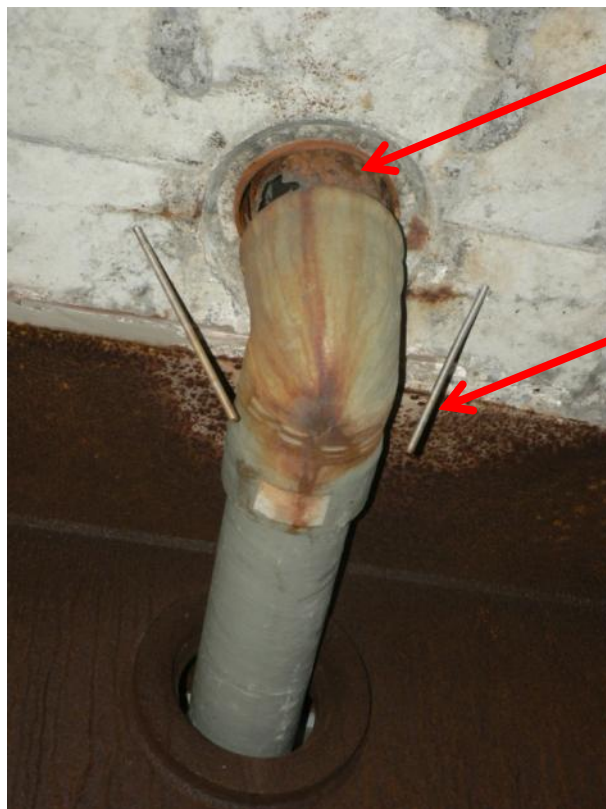


Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Zatékání

Nevhodné komponenty, vandalizmus



prokorodování litiny

ukradený závěs

korozní poškození



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Zatékání

Parkovací pozice revizních lávek

Minimalizovat zatékání přes otevřené zrcadlo mezi mosty.
Vyřešit odvodnění lávek

zakrytí zrcadla



nedostatečné zakrytí zrcadla



Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Nevhodné konstrukční detaily

Kumulace vlhkosti a nečistot



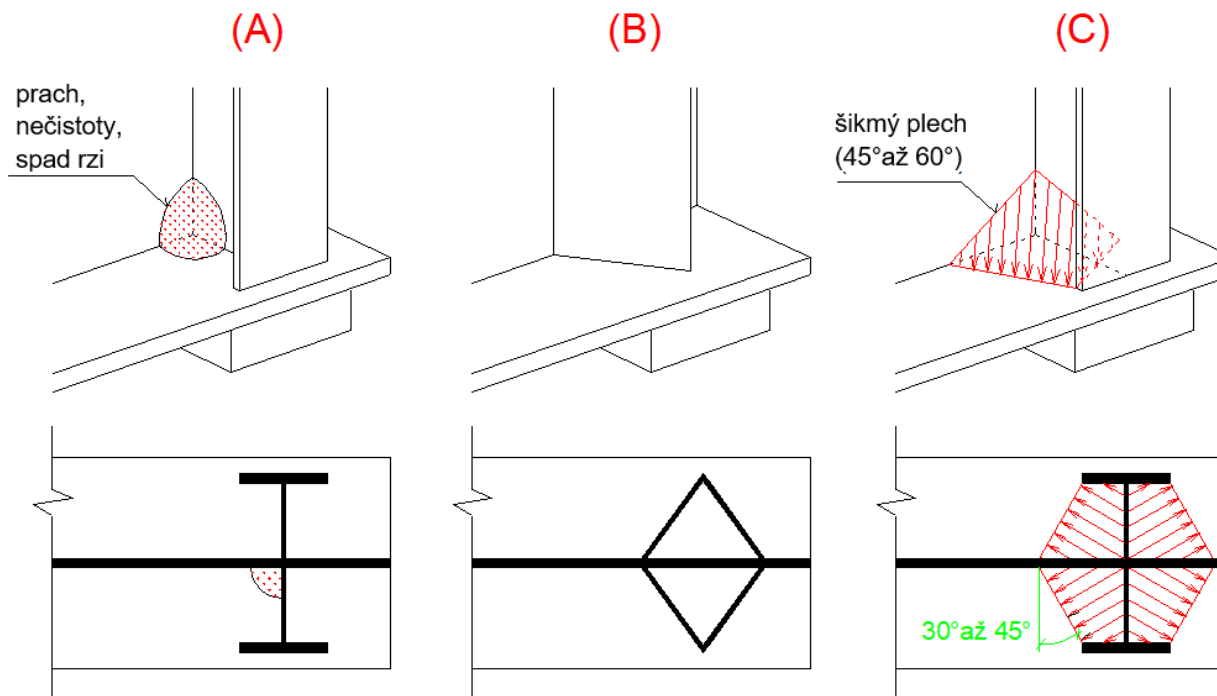
Porovnání dvou příhradových
železničních mostů



Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Nevhodné konstrukční detaily

Příčné výztuhy



Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

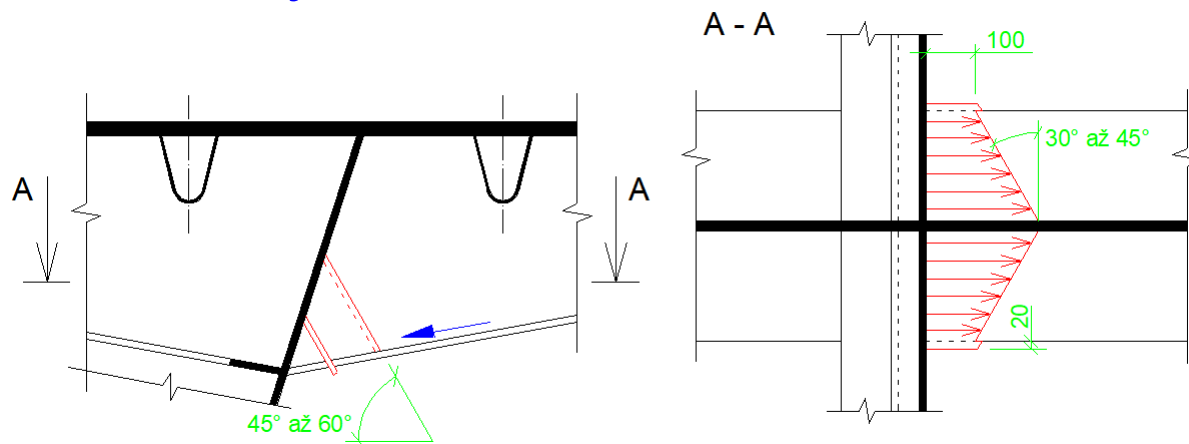
Nevhodné konstrukční detaily

Příčné výztuhy



Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Nevhodné konstrukční detaily



Příčné konzoly

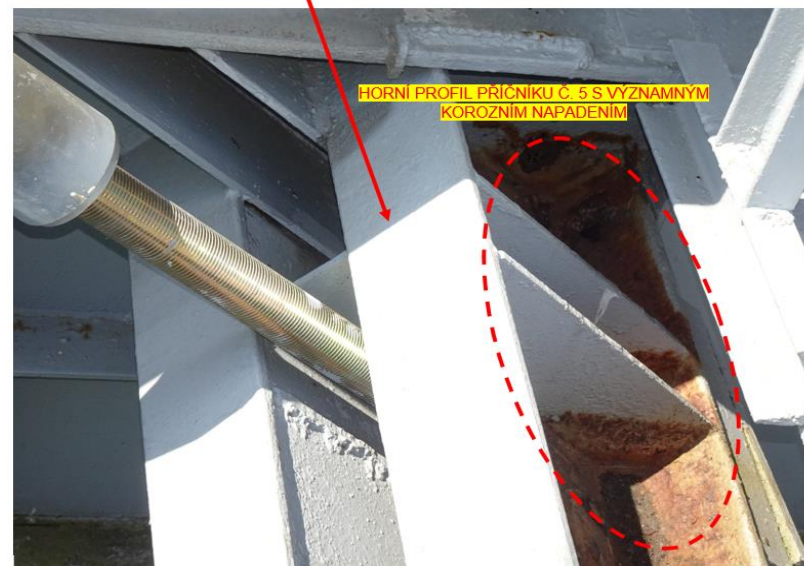
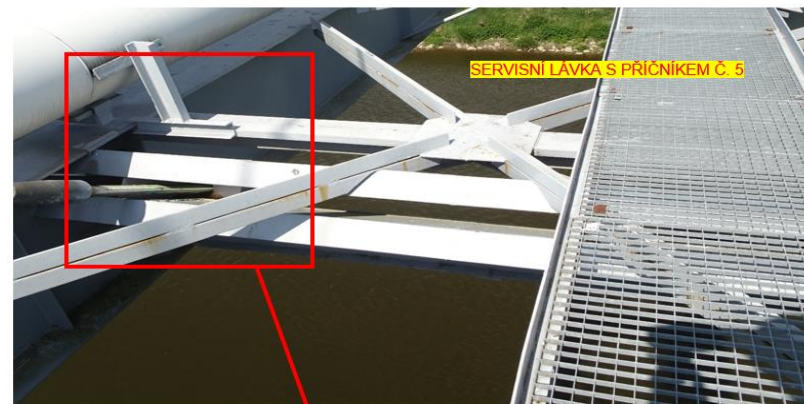


Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Nevhodné konstrukční detaily

Příčnice lanového mostu



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Nevhodný systém odvodnění mostu



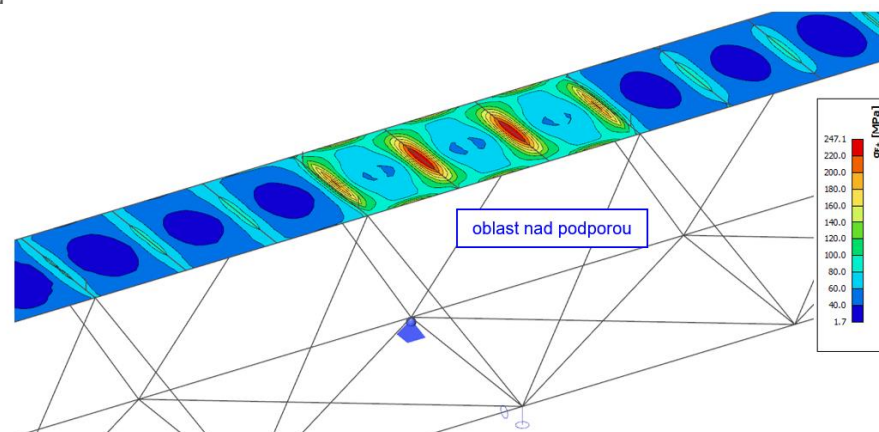
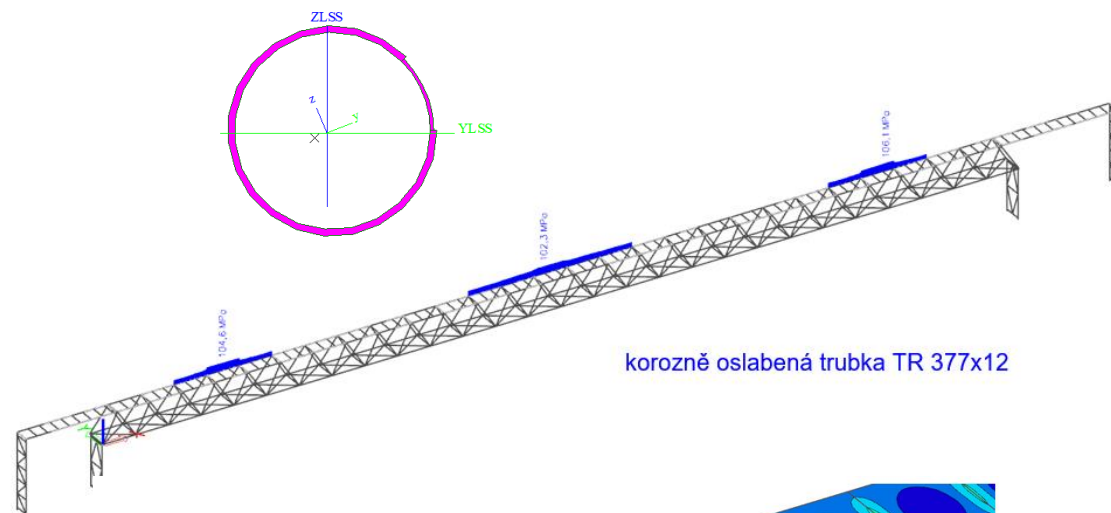
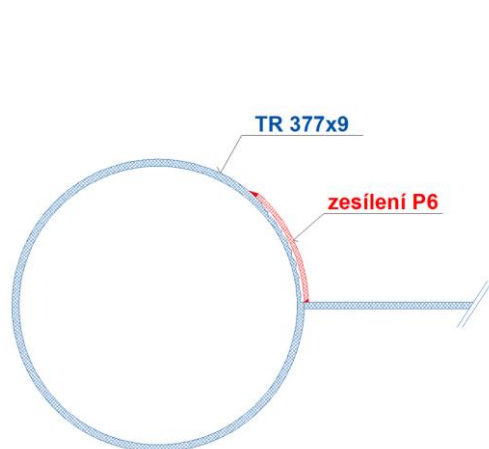
Nedostatečný podélný sklon

dlouhodobá zadrž
vody a nečistot



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Statické posouzení



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

Vnitřní prostory komorových mostů

nízký stupeň
korozní agresivity



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Koncepční uspořádání a konstrukční řešení

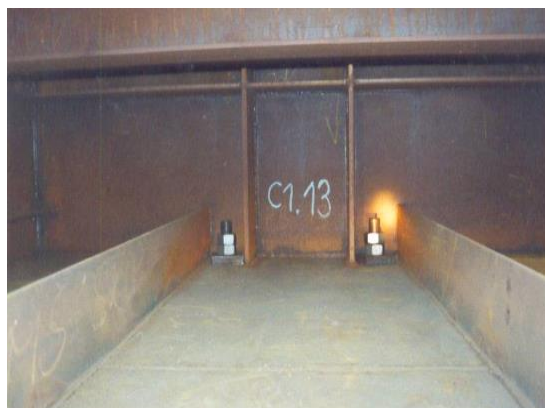
Vnitřní prostory komorových mostů

Zatékání do vnitřních prostor

Ostrava - Svinov



Brno



Korozně agresivní prostředí

Dopravníkový most, Ostrava - Kunčice



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Technologické mosty – typické poruchy

Popílkovod, Ostrava - Vítkovice

Oblasti kotvení



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Technologické mosty – typické poruchy

Popílkovod, Ostrava - Vítkovice



pochůzné plochy !!!



Technologické mosty – typické poruchy

Popílkovod, Ostrava - Vítkovice

LANA



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Technologické mosty – typické poruchy

Technologické mosty, EDĚ



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Technologické mosty – typické poruchy

Technologické mosty, EDĚ



lokální opravy



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Technologické mosty – typické poruchy

Zauhlovací most, EGT



oblast kotvení podpěr

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Blízkost vodní překážky či terénu

lávka Slušovice

část lávky nad terénem - biologické napadení



zvýšenou pozornost věnovat při návrhu lávek s dřevěnou nosnou konstrukcí...

Biologičtí činitelé - zvířata

Nejčastěji - Holub





Vysoká zvěř



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja